

**EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA INTEGRAL Y SISTÉMICA DE LA  
CUENCA HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA EL PERRO, DEL  
MUNICIPIO DE MANIZALES (CALDAS –COLOMBIA)**

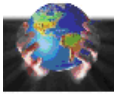
**ANCIZAR DE JESUS BEDOYA LEDESMA**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES**

**MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

**MANIZALES CALDAS**

**2013**



**EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA INTEGRAL Y SISTÉMICA DE LA CUENCA  
HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA EL PERRO, DEL MUNICIPIO DE  
MANIZALES (CALDAS –COLOMBIA)**

**ANCIZAR DE JESUS BEDOYA LEDESMA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO**

**MAGISTER EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

**DIRECTOR**

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

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES**

**MANIZALES CALDAS**

**2013**

**NOTAS DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

**DEDICATORIA**

**Dedico el presente trabajo a toda mi familia,  
Especialmente a mi esposa, Gloria Zulay Sarmiento  
Estrada y a mi hijo Alexander Bedoya Moreno, por su gran  
apoyo sincero.**

**ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA**

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa su agradecimiento a:

La Universidad de Caldas, programa de Geología y Minas, especialmente al Dr. Fernando Sánchez, por su apoyo con los estudios geológicos y zonificación de la quebrada el perro y el aporte de la Cartografía elaborada por la Facultad de Ciencias exactas y Naturales; Programa de Geología y Minas.

AL I.A., Ph.D. José Horacio Rivera Posada, por su apoyo y orientación científica y técnica sobre el presente trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

|   |              |
|---|--------------|
| <b>RESUMEN.....</b>   | <b>19-22</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>22-24</b> |
| <b>JUSTIFICACIÓN.....</b>   | <b>26-28</b> |
| <b>OBJETIVOS.....</b>   | <b>29</b>    |
| Objetivo General .....  | 29           |
| Objetivos específicos.....  | 29           |
| Hipótesis.....  | 29           |
| Supuestos y categorías de análisis.....   | 30           |
| <b>CAPÍTULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>   | <b>32</b>    |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA.....  | 32           |
| 1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....   | 39           |
| <b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>  | <b>43</b>    |
| 2.1 CAMBIO CLIMÁTICO EN EL GLOBO TERRESTRE.....   | 43           |
| 2.1.1 Aproximación Histórica.....   | 43           |
| 2.1.2 Efectos del Cambio Climático a nivel mundial.....                                   | 44           |
| 2.1.2.1 Hielo y Permafrost.....   | 44-45        |
| 2.1.2.2 Temperaturas y Fenómenos Climáticos.....  | 46-48        |
| 2.1.2.3 Agua Dulce.....   | 49           |
| 2.1.2.4 Afectación Económica y Efectos Sanitarios.....                                    | 50-52        |
| 2.1.3 Desajustes Atmosféricos en Colombia.....  | 53           |
| 2.1.4 La Tecnología de Bioingeniería y<br>el Control Natural de Erosión en Colombia ..... | 56-57        |

|  |              |
|--|--------------|
| <b>2.2 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA EROSIÓN A NIVEL GLOBAL.....</b>  | <b>60</b>    |
| <b>2.2.1 Erosión del Suelo.....</b>  | <b>62</b>    |
| <b>2.2.1.1 Ecuación universal de erosión.....</b>  | <b>62</b>    |
| <b>2.2.1.2 Descripción de Factores de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo por Erosión (EUPS).....</b> | <b>63</b>    |
| <b>2.2.2 La Erosión en Colombia.....</b>   | <b>65</b>    |
| <b>2.3 MOVIMEINTOS EN MASA.....</b>  | <b>68</b>    |
| <b>2.3.1 Aspectos Fundamentales.....</b>   | <b>68</b>    |
| <b>2.3.1.1 Conceptualización.....</b>  | <b>68</b>    |
| <b>2.3.1.2 Partes de un Movimiento en Masa.....</b>  | <b>71</b>    |
| <b>2.3.1.3 Clasificación de los movimientos masales.....</b>   | <b>72</b>    |
| <b>2.3.2 Movimiento en Masa en el Ámbito Internacional.....</b>  | <b>80</b>    |
| <b>2.3.3 Movimientos Masales en Colombia.....</b>  | <b>84</b>    |
| <b>2.3.4 Amenazas Naturales en el Departamento De Caldas.....</b>  | <b>87</b>    |
| <b>2.3.4.1 Terremotos.....</b>   | <b>88</b>    |
| <b>2.3.4.2 Volcanes.....</b>   | <b>89</b>    |
| <b>2.3.4.3 Deslizamientos.....</b>   | <b>90</b>    |
| <b>2.3.4.4 Inundaciones.....</b>   | <b>90</b>    |
| <b>2.3.5 Amenazas Naturales en el Municipio de Manizales.....</b>  | <b>92</b>    |
| <b>2.3.5.1 Amenaza preliminar por Inundación.....</b>  | <b>92</b>    |
| <b>2.3.5.2 Amenaza preliminar por incendio.....</b>  | <b>93</b>    |
| <b>2.3.5.3 Amenaza sísmica y volcánica.....</b>  | <b>93</b>    |
| <b>2.3.5.4 Amenaza preliminar por deslizamientos.....</b>  | <b>94-95</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>2.4 BIOINGENIERÍA.....</b>   | <b>99</b>  |
| <b>2.4.1Clasificación de los tratamientos de bio-ingeniería.....</b>  | <b>102</b> |
| <b>2.4.1.1 Estructuras de contención y disipación de energía potencial<br/>del suelo y cinética del agua.....</b> | <b>101</b> |
| <b>2.4.1.2 Estructuras para la evacuación de aguas.....</b>   | <b>102</b> |
| <b>2.4.1.3 Revegetalización de las áreas degradadas.....</b>  | <b>102</b> |
| <b>CAPÍTULO III. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....</b>   | <b>105</b> |
| <b>3.1UNIDAD DE ANALISIS.....</b>   | <b>105</b> |
| <b>3.2 UNIDAD DE TRABAJO.....</b>   | <b>105</b> |
| <b>3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....</b>   | <b>106</b> |
| <b>3.4 DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>   | <b>106</b> |
| <b>3.5TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....</b>  | <b>107</b> |
| <b>3.6</b>  |            |
| <b>MATERIALES.....</b>  | <b>111</b> |
| <b>CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>   | <b>112</b> |
| <b>4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO.....</b>  | <b>112</b> |
| <b>4.1.1 Macro-localización del Municipio de Manizales.....</b>   | <b>112</b> |
| <b>4.1.2 Micro-localización de la Cuenca Quebrada El Perro.....</b>   | <b>113</b> |
| <b>4.1.2.1 Localización y Vías de Acceso de la Micro-cuenca El Perro.....</b>                                     | <b>114</b> |
| <b>CAPÍTULO V. INVENTARIO DIAGNÓSTICO DE LA</b>   |            |
| <b>MICRO CUENCA EL PERRO.....</b>   | <b>117</b> |



|   |            |
|---|------------|
| <b>5.1</b>  |            |
| <b>ROCA.....</b>  | <b>117</b> |
| <b>5.2 SUELO.....</b>   | <b>118</b> |
| <b>5.2.1 Estudio Geotécnico de los suelos de la Microcuenca El Perro.....</b>                   | <b>120</b> |
| <b>5.2.1.1 Geomorfología.....</b>   | <b>120</b> |
| <b>5.2.1.2 Tipo de materiales encontrados en los suelos de la Micro-cuenca El Perro.....</b>    | <b>122</b> |
| <b>5.3 TOPOGRAFÍA: GRADO Y LONGITUD DE LA PENDIENTE.....</b>                                    | <b>127</b> |
| <b>5.4 CLIMA.....</b>   | <b>129</b> |
| <b>5.4.1 Hidrología de la Micro-cuenca El Perro.....</b>  | <b>129</b> |
| <b>5.4.2 Hidroclimatología de la Quebrada El Perro .....</b>                                    | <b>133</b> |
| <b>5.4.2.1 Análisis de los datos de precipitación.....</b>                                      | <b>134</b> |
| <b>5.4.2.2 Estimación de hidrogramas de caudal en la cuenca: Consideraciones Generales.....</b> | <b>148</b> |
| <b>5.5 VEGETACIÓN EN LA MICRO - CUENCA EL PERRO.....</b>  | <b>157</b> |
| <b>4.5.1 Pastos instalados.....</b>   | <b>157</b> |
| <b>5.5.2 Árboles (relicto de Bosque secundario).....</b>  | <b>158</b> |
| <b>5.5.3 Agricultura en la zona.....</b>  | <b>162</b> |
| <b>5.6 ANIMAL.....</b>  | <b>164</b> |
| <b>5.6.1 Especies animales en la zona.....</b>  | <b>164</b> |
| <b>5.7 INFRAESTRUCTURA.....</b>   | <b>165</b> |
| <b>5.7.1 Obras Civiles De Estabilización de Ladera.....</b>                                     | <b>165</b> |
| <b>5.7.2 Vías peatonales.....</b>   | <b>166</b> |

|   |            |
|---|------------|
| 5.7.3 Urbanismo en la Micro-cuenca.....   | 167        |
| 5.8 FACTOR HUMANO.....  | 170        |
| 5.8.1 Aspectos organizacionales y comunitarios.....   | 170        |
| <b>CAPITULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>   | <b>172</b> |
| 6.1 ROCA.....   | 172        |
| 6.1.1 Macro-geotecnia.....  | 172        |
| 6.1.2 Geo-localización del Municipio de Manizales.....  | 176        |
| 6.1.3 Caracterización de los materiales encontrados en el estudio<br>geotécnico de la Microcuenca el Perro..... | 179        |
| 6.2 SUELO.....  | 179        |
| 6.2.1 Procesos Erosivos.....  | 179        |
| 6.3 TOPOGRAFÍA (GRADO Y LONGITUD DE LA PENDIENTE).....  | 190        |
| 6.4 CLIMA.....  | 190        |
| 6.5 PLANTA.....   | 193        |
| 6.6 ANIMAL.....   | 198        |
| 6.7 INFRAESTRUCTURA.....  | 202        |
| 6.8 FACTOR HUMANO.....  | 205        |
| 6.8.1 Aplicabilidad de la Matriz de Vester.....   | 205        |
| 6.8.1.1 Problemas Activos.....  | 208        |
| 6.8.1.2 Problemas Pasivos.....  | 211        |
| 6.8.1.3 Problema Crítico.....   | 214        |

|   |     |
|---|-----|
| 6.8.1.4 problemas indiferentes.....   | 214 |
| 6.8.2 Jerarquización de Problemas: Árbol de Problemas.....  | 214 |
| 6.8.3 Jerarquización de Objetivos: Árbol de Objetivos.....  | 216 |
| 6.8.4 Análisis de la Problemática.....  | 218 |
| 6.8.5 Cronología de la intervención antrópica y los acontecimientos<br>asociados a las obras e inversiones desarrolladas en<br>el área de estudio.....    | 220 |
| 6.8.6 Análisis Multitemporal, Sobre Erosión, Uso del Suelo, Vías y<br>Viviendas en la Zona.....   | 221 |
| 6.8.7 Eventos Cronológicos, Estados, Agentes Detonantes,<br>Amenazas y Estado Actual de la Microcuenca<br>de la Quebrada el Perro.....                    | 225 |
| 6.9 PRÁCTICAS PREVENTIVAS Y/O DE CONTROL<br>DE LOS PROCESOS DEGRADATIVOS.....   | 230 |
| 6.10 RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO, CONSERVACIÓN<br>Y RESTAURACIÓN MÁS ADECUADOS DE LOS SUELOS<br>Y AGUAS DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA EL PERRO..... | 233 |
| CAPITULO VII.CONCLUSIONES.....  | 245 |
| CAPITULO VIII. RECOMENDACIONES.....   | 248 |
| CAPITULO IX BIBLIOGRAFÍA.....   | 253 |
| CAPITULO X. ANEXOS.....   | 261 |

## LISTA DE TABLAS

|  |       |
|--|-------|
| TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA RADICAL DE ALGUNAS ESPECIES VEGETALES DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA.....               | 34    |
| TABLA 2. RESISTENCIA AL CORTANTE TANGENCIAL PROMEDIO (KPA) DE ALGUNAS ESPECIES VEGETALES DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA..... | 35    |
| TABLA 3. SISTEMAS DE VEGETALIZACIÓN DE TALUDES DE ALTA PENDIENTE UTILIZADOS EN COLOMBIA.....                                 | 59    |
| TABLA 4. PARTES DE LOS MOVIMIENTOS MASALES.....  | 74    |
| TABLA 5. SÍNTESIS DE MOVIMIENTOS EN MASA Y SUS AGENTES.....  | 81-83 |
| TABLA 6. AMENAZAS NATURALES MÁS IMPORTANTES EN CALDAS.....   | 91    |
| TABLA 7. PARÁMETROS PARA LA DETERMINACIÓN DE AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS.....  | 95    |
| TABLA 8. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE FORMACIONES SUPERFICIALES.....  | 96    |
| TABLA 9. CURVA IDF ESTACIÓN AEROPUERTO LA NUBIA (INTENSIDADES EN MM/H).....  | 134   |
| TABLA 10 EVENTOS DE LA QUEBRADA EL PERRO SEGÚN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....  | 133   |
| TABLA 11. CURVA IDF ESTACIÓN AEROPUERTO LA NUBIA (2615511) EN MM/H.....  | 137   |
| TABLA 12. PRECIPITACIÓN ACUMULADA PARA TRES NIVELES DE CONDICIÓN DE HUMEDAD.....   | 145   |
| TABLA 13. INFORMACIÓN DE LAS SUBCUENCAS (PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS).....  | 151   |

|  |         |
|--|---------|
| TABLA 14. TIEMPOS DE CONTRACION Y RETARDO DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA EL PERRO.....  | 152     |
| TABLA 15. DATOS DE TORMENTAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO.....  | 154     |
| TABLA 16. ESPECIES DE PASTOS INSTALADOS EN LA CUENCA QUEBRADA EL PERRO.....  | 158     |
| TABLA 17. TIPOS DE ESPECIES (RELICTO DE BOSQUE SECUNDARIO) MÁS COMUNES EN LA CUENCA QUEBRADA EL PERRO.....   | 159-160 |
| TABLA 18. CULTIVOS MÁS COMUNES EN LA CUENCA QUEBRADA EL PERRO.....   | 152     |
| TABLA 19. ESPECIES DE PASTOS COMUNES EN LA ZONA. ANALISIS Y PREDOMINANCIA Y CALIFICACIÓN EN LA ZONA, MICRO CUENCA EL PERRO.....  | 193     |
| TABLA 20. TIPOS DE ESPECIES, ARBOLES Y ARBUSTOS (RELICTO DE BOSQUE SECUNDARIO) MÁS COMUNES EN LA CUENCA QUEBRADA EL PERRO. ANALISIS DE PREDOMINANCIA Y CALIFICACIÓN..... | 194     |
| TABLA 21. CULTIVOS MÁS COMUNES, EN LA CUENCA QUEBRADA EL PERRO, ANALISIS DE PREDOMINANCIA Y CALIFICACIÓN.....  | 196     |
| TABLA 22. INFRAESTRUCTURA EXISTENTE EN LA MICRO-CUENCA EL PERRO.....   | 203-205 |
| TABLA 23. MATRIZ DE VESTER. PROBLEMAS IDENTIFICADOS.....   | 206     |
| TABLA 24. MATRIZ DE VESTER. CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS SEGÚN GRADO DE CAUSALIDAD.....  | 207     |
| TABLA 25. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL PERRO.....  | 223-224 |
| TABLA 26. RESUMEN DE EVENTOS CRONOLÓGICOS, ESTADOS, AGENTES Y AMENAZAS DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL PERRO.....  | 226-230 |



## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 1. CAMBIO DE TEMPERATURA GLOBAL<br>(RELATIVA A PRE-INDUSTRIAL.....)  | 48  |
| FIGURA 2. DIAGRAMA: RELACIÓN ENTRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y<br>EFECTOS SANITARIOS.....   | 52  |
| FIGURA 3. ÍNDICE DEL NIÑO OCEÁNICO 1.970 - 2.008.....   | 55  |
| FIGURA 4. VARIACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS<br>EN SISTEMAS FLUVIALES EN FUNCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA<br>ANUAL.....                          | 60  |
| FIGURA 5. RELACIÓN ENTRE LAS PÉRDIDAS DE SUELO Y LA<br>PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL.....   | 61  |
| FIGURA 6. ECUACIÓN UNIVERSAL DE EROSIÓN.....  | 64  |
| FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA INTENSIDAD DE<br>DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS Y TIERRAS DEBECOLOMBIA<br>POR EROSIÓN, REMOCIÓN O SEDIMENTACIÓN..... | 66  |
| FIGURA 8. MORFOLOGÍA DE UN MOVIMIENTO EN MASA.....  | 73  |
| FIGURA 9. CLASIFICACION DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.....   | 75  |
| FIGURA 10. ÁREAS PROTEGIDAS EN COLOMBIA.....  | 84  |
| FIGURA 11. MACRO- LOCALIZACIÓN DE LA CIUDAD DE<br>MANIZALES.....  | 112 |
| FIGURA 12. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA QUEBRADA EL<br>PERRO.....  | 109 |
| FIGURA 13. MICRO LOCALIZACIÓN DE LA MICRO CUENCA EL PERRO....   | 115 |
| FIGURA 14. TIPOS DE ROCAS EN LECHO Y PAREDES DE LA MICRO<br>CUENCA EL PERRO.....  | 118 |
| FIGURA 15. SUELOS DE LA MICRO CUENCA EL PERRO SECTOR<br>CERRO DE ORO.....   | 119 |
| FIGURA 16. GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA EN ESTUDIO.....   | 122 |
| FIGURA 17. SECUENCIA PIROCLÁSTICA, UNIDAD I. L: LAPILLI A:<br>ARENA.....  | 124 |

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 18. LONGITUD DE LA PENDIENTE MICROCUENCA EL PERRO...  | 128 |
| FIGURA 19. AFLUENTE DE LA MICROCUENCA EL PERRO.<br>SE OBSERVA EL ARRASTRE ABUNDANTE DE SEDIMENTOS.<br>ESECILAMENTE ESQUISTES METAMORFICOS FRACTURADOS..... | 130 |
| FIGURA 20. HIDRÓGRAFAS SEGÚN LA CUENCA Y EL<br>PERFIL ALTIMÉTRICO DEL CAUSE PRINCIPAL.....   | 130 |
| FIGURA 21. CURVA IDF ESTACIÓN LA NUBIA (2615511).....  | 134 |
| FIGURA 22. MÉTODO DE ABSTRACCIONES<br>(MÉTODO DE SOIL CONSERVATION SERVICE SCS).....   | 139 |
| FIGURA 23. HIDROGRAMA UNITARIO SCS.....  | 143 |
| FIGURA 24. TORMENTA PARA $T_r = 10$ AÑOS.....  | 153 |
| FIGURA 25. TORMENTA PARA $TR = 50$ AÑOS.....   | 153 |
| FIGURA 26. TORMENTA PARA $TR = 100$ AÑOS.....  | 154 |
| FIGURA 27. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA UN PERIODO DE<br>RETORNO DE 10 AÑOS.....  | 156 |
| FIGURA 28. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA UN PERIODO DE<br>RETORNO DE 50 AÑOS.....  | 156 |
| FIGURA 29. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA UN PERIODO DE<br>RETORNO DE 100 AÑOS.....   | 156 |
| FIGURA 30. PASTOS INSTALADOS.....  | 157 |
| FIGURA 31. REFORESTACIÓN PARTE ALTA - PROCUENCA.....   | 161 |
| FIGURA 32. FINCA DE ARTURO GALLEGO. SECTOR BAJO<br>DE LA CUENCA EL PERRO.....  | 163 |
| FIGURA 33. OBRAS CIVILES DE ESTABILIZACIÓN EN EL CERRO DE ORO Y<br>SECTOR LA ESMERALDA.....  | 164 |
| FIGURA 34. ZONAS PEATONALES CON DRENAJES A LA MICRO<br>CUENCA.....   | 166 |
| FIGURA 35. TUBO DE AGUAS DE MANIZALES PARTE ALTA DE LAMICRO<br>CUENCA.....   | 167 |
| FIGURA 36: CASAS DE BAHAREQUE, CON TECHO DE TEJA, SIN CANALES,<br>SECTOR CERRO DE ORO.....   | 169 |
| FIGURA 37. CORTE GEOLÓGICO DE<br>MANIZALES.....  | 177 |



|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 38. MAPA GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.....   | 178 |
| FIGURA 39. EROSIÓN EN SURCOS Y CÁRCAVAS PARTE MEDIA DE LA MICROCUENCA EL PERRO.....  | 181 |
| FIGURA 40. DESLIZAMIENTO A LA ORILLA DE LA QUEBRADA DE LA MICROCUENCA EL PERRO, DEBIDO A LA DEFORESTACIÓN Y SIEMBRA DE HORTALIZAS..... | 183 |
| FIGURA 41. MOVIMIENTO EN MASA, SECTOR MEDIO DE LA MICROCUENCA EL PERRO.....  | 184 |
| FIGURA 42. DESLIZAMIENTO EN LA PATA DE LA ESTRUCTURA DE LA PANTALLA DE CONCRETO DESESTABILIZANDO LA MISMA.....                         | 186 |
| FIGURA 43. REPTACIÓN IDENTIFICADA EN LA MICROCUENCA EL PERRO.....  | 188 |
| FIGURA 44. PROCESOS EROSIVOS EN EL ÁREA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA EL PERRO.....   | 188 |
| FIGURA 45. EVENTO EROSIVO SOBRE EL LECHO DE LA MICRO CUENCA EL PERRO.....  | 192 |
| FIGURA 46. CULTIVOS DE HORTALIZAS, LLEVADOS HASTA LA ORILLAS DEL CAUCE PRINCIPAL DE LA MICROCUENCA.....                                | 197 |
| FIGURA 47. FAMILIA THRAUPIDAE: THRAUPIS CIANOCEPHALA OAZULEJO MONTAÑERO Y THRAUPIDAE. TÁNGARA CYANICOLLIS.....                         | 199 |
| FIGURA 48. FIGURA 44. FAMILIA TYRANNIDAE MYIOZETETES CAYANENSIS .....  | 199 |
| FIGURA 49. FAMILIA TROCHILIDAE: AMAZILIA SAUCERATEI.....   | 199 |
| FIGURA 50. FAMILIA FRINGILLIDAE: ZONOTRICHIA CAPENSIS.....   | 200 |

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 51. CÁRCAVA DE TIPO REMONTANTE. SE OBSERVA EL EFECTO CAUSADO POR LA CONCENTRACIÓN DE AGUAS DE ESCORRENTÍA PROVENIENTES DEL POTRERO..... | 201 |
| FIGURA 52: TERRACETAS OCASIONADAS POR SOBREPASTOREO, SIN MANEJO APROPIADO DE LA GANADERÍA.....   | 202 |
| FIGURA 53. OBRA POR TERMINAR, SECTOR CERRO DE ORO.....   | 209 |
| FIGURA 54. OBRA DE CANALIZACIÓN INADECUADA EN LA BASE DE LA PLAQUETA, CERRO DE ORO.....  | 209 |
| FIGURA 55. REFORESTACIÓN CON CONÍFERAS, ESPECIES NO APTAS EN EL CERRO DE ORO.....  | 210 |
| FIGURA 56. FALTA DE CANALIZACIÓN EN TECHOS DE VIVIENAS, SECTOR CERRO DE ORO.....   | 210 |
| FIGURA 57. COMUNIDAD DE LA VEREDA EL CHACHAFRUTO, EDUCACIÓN EN PREVENCIÓN DE EROSIÓN.....  | 211 |
| FIGURA 58. PROBLEMAS EROSIVOS ACTIVOS SECTOR MEDIO, SIN OBRAS DE BIO INGENIERIA.....   | 212 |
| FIGURA 59. CANALIZACIÓN INADECUADA EN LA OBRAS DE CONCRETO EN EL CERRO DE ORO.....   | 212 |
| FIGURA 60. MANEJO NO ADECUADO DE SUELOS EN ZONAS DE PASTOREO SECTOR ALTO.....  | 213 |
| FIGURA 61. ZONA DE LA MICRO CUENCA DESPROTEGIDA DE ESPECIES DE LA REGIÓN.....  | 214 |
| FIGURA 62. ARBOL DE PROBLEMAS.....   | 217 |
| FIGURA 63. ARBOL DE OBJETIVOS.....   | 217 |
| FIGURA 64. OBRAS INCONCLUSAS SECTOR CERRO DE ORO, BASE DE CONSTRUCCION PLAQUETAS DE CONCRETO.....  | 236 |
| FIGURA 65. OBRAS SECTOR CERRO DE ORO,  |     |

|   |     |
|---|-----|
| CANALIZACIÓN DE AGUAS.....  | 236 |
| FIGURA 66. OBRAS COLAPSADAS, SECTOR CERRO DE ORO, GAVIONERIA Y SACOS EN EL LECHO DE LA MICRO CUENCA.....                          | 237 |
| FIGURA 67. OBRAS, SECTOR LA ESMERALDA, PROCESOS ACTIVOS CERCA A LA ESTABILIDAD.....   | 237 |
| FIGURA 68. OBRAS, SECTOR CURVA DEL MICO, PROCESO ACTIVO AFECTANDO OBRA, TRINCHOS PROTEGIENDO DESAGUES MAL CONSTRUIDOS.....        | 238 |
| FIGURA 69. PROCESOS EROSIVOS ACTIVOS AFECTANDO OBRAS Y LADERA, CERRO DE ORO.....  | 238 |
| FIGURA 70. PROCESOS EROSIVOS ACTIVOS, CERRO DE ORO.....   | 239 |
| FIGURA 71. PROCESOS EROSIVOS ACTIVOS LECHO DE LA MICRO CUENCA Y OBRAS EN MAL ESTADO- SECTOR CERRO DE ORO.....                     | 239 |
| FIGURA 72. DIQUE SOBRE EL LECHO DE LA MICRO CUENCA INSUFICIENTE PARA DISIPAR UNA AVALANCHA – SECTOR BAJO ANTES DE EXPOFERIAS..... | 240 |
| FIGURA 73. OBRAS DE ESTABILIDAD EN CORRECCIÓN, SECTOR LA CURVA DEL MICO.....  | 240 |
| FIGURA 74. OBRAS DE GAVIONES Y DISIPADORES DE ENERGÍA EN EL LECHO DEL CERRO DE ORO.....   | 241 |
| FIGURA 75. GAVIONERÍA SOBRE EL LECHO DE LA MICROCUENCA: SECTOR LA CURVA DEL MICO.....   | 241 |
| FIGURA 76. DIQUE CONSTRUIDO ANTES DE EXPO FERIAS Y DIQUE EN CONSTRUCCIÓN, CANALIZACIÓN EN EXPO FERIAS.....                        | 242 |
| FIGURA 77. PROCESO DEGRADATIVO AFECTADO LA BASE DE LAS OBRAS SECTOR CERRO DE ORO.....   | 242 |
| FIGURA 78. OBRAS DE ESTABILIDAD EN CORRECCIÓN, SECTOR LA CURVA DEL MICO.....  | 243 |

FIGURA 79. PASTOREO DE BOVINOS Y EQUINOS AFECTANDO EL SUELO,  
FAUNA Y FLORA ESCASA EN LA  
REGIÓN.....243

FIGURA 80. OBRAS INCONCLUSAS EN LA MICRO CUENCA SECTORES  
CERRO DE ORO Y  
EXPOFERIAS.....244

FIGURA 81. CARACTERÍSTICAS DEL DIQUE CONSTRUIDO EN LA MICRO  
CUENCA EL PERY ANTECEDENTES DEL SECTOR EXPO  
FERIAS.....244

## RESUMEN

En el municipio de Manizales, se vienen presentando problemas graves de erosión y de deslizamientos, donde las lluvias por su gran intensidad, duración y frecuencia son el agente causal principal de los procesos degradativos, los cuales están favorecidos por pendientes fuertes del terreno superiores a 50%, de longitudes medias (150 a 250 metros) y por el uso y manejo inadecuado de los suelos.

Uno de los sectores más afectados es la cuenca de la quebrada El Perro, la cual está localizada al oriente de la ciudad, su ladera Noroccidental se encuentra enmarcada como componente urbano y es descrita en el POT (Plan de Ordenamiento Territorial) de Manizales, como zona de regeneración y mejoramiento, debido a que exhibe procesos erosivos activos, con presencia de algunas obras civiles de estabilización de taludes y control de erosión.

En consecuencia, el trabajo investigativo de tipo cualitativo, se centró en encontrar la Relación Causa - Efecto de los procesos degradativos, a la luz de las interrelaciones: Roca – suelo – grado y longitud de la pendiente - clima – planta – animal - infraestructura – factor humano.

Para lograr dicho objetivo, se realizó la exploración cartográfica de los mapas del IGAC, CORPOCALDAS, FEDERACAFÉ Y UNIVERSIDAD DE CALDAS, en la

identificación de las tres primeras categorías, y de GPS, para la geo-referenciación del área en estudio. En lo relacionado con el clima, se utilizó la información de la Estación Climática de Agronomía de la Universidad de Caldas.

Igualmente, se aplicó la Matriz de Vester como herramienta o instrumento de planificación, que permitió la identificación y clasificación de los problemas según su grado de causalidad o consecuencia (activos, pasivos, críticos o indiferentes), a partir de los cuales se determinaron las estrategias de intervención que se consideraron más eficientes, eficaces y económicas para aportar a la solución de los diferentes procesos degradativos encontrados.

También, se utilizó el árbol de problemas en la priorización de los procesos degradativos más importantes y el árbol de objetivos en el establecimiento de las prácticas preventivas y/o de control, más convenientes para el logro de la eficiencia en el uso, manejo y preservación de suelos y aguas de la micro cuenca en estudio, con el propósito de contribuir al proceso de restauración efectiva de la misma.

A partir del análisis de los resultados de la evaluación diagnóstica, se pudo determinar que el área de estudio, presenta singularidad en sus recursos bióticos y puede tener hitos y mojones naturales a preservar; Por tanto, en el POT se hace claridad que esta zona debe ser preservada intacta, sin ejercer sobre ella ninguna acción que la deteriore.

Sin embargo, la afectación antrópica en la zona, está muy marcada por los propietarios de las fincas ganaderas los cuales poseen áreas muy representativas en pastos, especialmente kikuyo, puntero y jaragua. No poseen un programa de rotación de potreros, ni de manejo adecuado de aguas de escorrentía, provenientes de las vías, viviendas, alcantarillas, entre otras.

Hay desprotección total de los drenajes naturales, con ausencia de los bosques riparios que podrían influir en el amarre de los taludes bajos de las laderas, y regular los caudales torrenciales y el arrastre de sedimentos en los periodos lluviosos.

Debido a lo anterior, se hace necesario restablecer esos bosques riparios; lo cual, implica el establecimiento de obras de bio ingeniería, especialmente trinchos escalonados que permitan transportar los caudales en forma discipada y evitar el socavamiento de fondo del cauce y de los taludes laterales.

Igualmente, se considera de gran importancia, aislar inicialmente los drenajes naturales, para evitar el ingreso de la ganadería a estos sitios susceptibles, y favorecer el crecimiento de la vegetación nativa. Estos programas, deben ser liderados por las autoridades ambientales y municipales con participación de la comunidad, en todas las etapas de planificación de la cuenca.

Se deduce por tanto, que la prioridad, es la educación ambiental como estrategia ideal para la integración del factor humano a los procesos orientados a lograr la estabilidad ambiental de la zona y de sus suelos, en tanto es el principal agente detonante de las causas de eventos presentes y futuros que sucedan en el área de estudio, para que las grandes inversiones de estabilización realizadas por las entidades del estado, arrojen los resultados esperados.

**Palabras Clave:** Degradación de suelos, conservación de suelos, tipos de erosión, roca, clima, plantas, animales, infraestructura.



## **ABSTRACT**

In the city of Manizales, there are presenting serious problems of erosion and landslides, where rains due to their great intensity, duration and frequency are the main causative agent of degradative processes, which are favored by steep terrain above 25 °, long lengths and inappropriate use and management of soils.

One of the most affected is the watershed of the Quebrada El Perro, which is located in the east of Manizales, and its north-western side is framed as urban component and it is described in the POT (Land Use Plan) of Manizales as a zone of regeneration and improvement, because it has an active erosion, with the presence of some civil structures for slope stabilization and erosion control.

The purpose of this study was to inventory and comprehensive diagnosis and systemic watershed of the Quebrada El Perro, in order to find the cause - effect relationship of degradative processes with base in the relationships: rock - soil - grade and slope length - climate - plant - animal - infrastructure - man.

Based on the cause-effect, recommended the use, management and conservation best soils and waters of the basin of the Dog creek, and solutions that enable the effective restoration of the watershed of the Dog.

Keywords: Land degradation, soil conservation, erosion rates, rock, climate, plants, animals, and infrastructure.

## INTRODUCCIÓN

La erosión y los deslizamientos, son problemas degradativos que afectan no sólo el hábitat de las personas, los animales, las plantas, sino también el equilibrio natural; siendo las zonas montañosas tropicales las más susceptibles a la ocurrencia de esta problemática.

Manizales, debido a su ubicación en la parte montañosa del departamento de Caldas y más precisamente en la cordillera central, presenta este tipo de procesos geológicos que han originado los diferentes problemas de inestabilidad de laderas.

El área problemática del presente estudio está ubicada al Este de la ciudad de Manizales, y corresponde a la ladera noroccidental de la quebrada El Perro; la cual, al igual que la ciudad, presenta diferentes problemas de tipo geológico-ambiental, representados por movimientos de masa, reptación, erosión superficial etc. Estos problemas, se ven agravados principalmente por el mal uso y manejo del suelo, la ausencia de prácticas preventivas contra la erosión, los deslizamientos, y la intervención antrópica irracional (vías, urbanizaciones, manejo de aguas, cortes y rellenos). Lo anterior, conlleva a que se incremente el riesgo por inestabilidad de taludes provocando movimientos en masa que represan la quebrada y producen avenidas.

De acuerdo al planteamiento anterior, se efectuó la “Evaluación Diagnostica integral y Sistémica de la Micro cuenca de la quebrada El Perro del Municipio de Manizales (Caldas – Colombia)”, con el fin de encontrar la Relación Causa - Efecto

de los procesos degradativos a la luz de las interrelaciones: Roca – suelo – grado y longitud de la pendiente - clima – planta – animal - infraestructura – factor humano y, con base en sus resultados, se emitieron las recomendaciones pertinentes como aporte al proceso de planificación holística y sistémica de soluciones integrales, que hoy constituyen una necesidad sentida para el mejoramiento de la problemática ambiental en este sector de la ciudad.

Se espera por tanto, que los resultados de la presente investigación, generen reflexión colectiva sobre la importancia que podría tener la aplicación de prácticas naturales, como estrategia ambiental idónea para la prevención y control de movimientos masales, en las laderas de la Micro-cuenca “El Perro” del Municipio de Manizales; Lo cual, puede conducir a la restauración ambiental de esta zona que en la actualidad sigue representando un riesgo potencial de nuevos deslizamientos, obviamente con sus posibles consecuencias.

## **EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA INTEGRAL Y SISTÉMICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA EL PERRO, DEL MUNICIPIO DE MANIZALES (CALDAS –COLOMBIA)**

### **JUSTIFICACIÓN**

Los movimientos masales, ocurren anualmente en el contexto mundial; no obstante, de acuerdo con Alcántara (2.002), su nivel de impacto varía significativamente dependiendo de las condiciones geológicas particulares de cada localidad, al igual que de su vulnerabilidad socio-económica; lo que justifica, que la evaluación de la amenaza de estos fenómenos y la capacidad de predecir dichos movimientos, se haya convertido en una de las temáticas de mayor interés para la comunidad científica, como lo aseguran Aleotti & Chowdhry (1999).

Además, según Aristizábal, Martínez y Vélez (2007), gran parte de los investigadores de esta temática han centrado su atención en la comprensión de la lluvia como factor detonante de la ocurrencia de los movimientos masales, sobre todo en ambientes tropicales, caracterizados por perfiles de meteorización profundos y alta pluviosidad.

Igualmente, los avances más importantes en esta materia a nivel mundial, *“han sido aplicados en los últimos años en la determinación de umbrales críticos, definidos a partir de modelos físicos o estadísticos, combinados con pronósticos de lluvias y monitoreo en tiempo real como parte integral y fundamental, de sistemas de alerta temprana”* Aristizabal, Martínez y Vélez, (2.007). Lo que sugiere, que también se ha ido avanzando en estudios que conduzcan a procesos preventivos de dichos fenómenos.

Dentro de este contexto, y considerando que el primer paso para el desarrollo de procesos preventivos de los movimientos masales, es el diagnóstico integral y sistémico de áreas problemáticas específicas identificadas, se infiere que la construcción de conocimiento sobre esta temática, debe ser liderado desde la academia y aún desde las aulas universitarias, con el fin de contribuir a la búsqueda de soluciones efectivas a los problemas que hoy enfrenta la nación y en especial el municipio de Manizales.

El estudio diagnóstico, responde a una necesidad sentida en el ámbito local, dado que los movimientos masales en este sector han alcanzado grades dimensiones y en la actualidad representan una amenaza de nuevos deslizamientos de tierra, a causa de procesos degradativos en sus laderas.

La utilidad del estudio entonces, radica fundamentalmente en que a través del inventario y diagnóstico integral y sistémico de la Micro cuenca en mención, se logró encontrar la relación Causa – Efecto de los procesos degradativos a la luz de las interrelaciones: Roca – suelo – grado y longitud de la pendiente – clima – planta – animal – infraestructura – factor humano, y a partir de sus resultados, el planteamiento de las recomendaciones pertinentes para el adecuado uso, manejo y conservación de los suelos y aguas de la quebrada.

La evaluación diagnóstica no sólo aporta al enriquecimiento, del Marco Conceptual y Teórico de dicha temática sino al proceso de búsqueda de soluciones integrales para su restauración efectiva, las cuales constituyen un aspecto de gran relevancia en la agenda de prioridades a nivel local, en lo que respecta a la quebrada El Perro.

En síntesis, el presente trabajo, contribuye con la planificación holística y sistémica de la problemática ambiental que está afectando a esta zona de la ciudad de Manizales, en tanto está orientado hacia aspectos diferentes de prevención y control de erosión y movimientos en masa de las laderas de la Micro cuenca el Perro, trascendiendo así, las técnicas mono disciplinarias tradicionales de ensayo y error con obras civiles de concreto.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar el inventario y diagnóstico integral y sistémico de la Micro cuenca hidrográfica, determinando la relación causa – efecto, de la quebrada El Perro del Municipio de Manizales.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- ❖ Establecer la relación Causa – Efecto de los procesos degradativos en la cuenca hidrográfica El Perro.
- ❖ Determinar las prácticas preventivas y/o de control que conduzcan a soluciones más eficientes, eficaces y económicas de los diferentes procesos degradativos.
- ❖ Recomendar el uso, manejo, conservación y restauración más adecuados de los suelos y aguas de la Micro cuenca de la quebrada el Perro.

## SUPUESTOS Y CATEGORÍAS DE ANÁLISIS

**Supuestos:** La evaluación diagnóstica, se sustenta básicamente en la relación Causa – Efecto de los procesos degradativos de la Micro cuenca Hidrográfica El Perro del Municipio de Manizales.

**Categorías de análisis:** Para determinar dicha relación Causa - Efecto, se plantearon las siguientes categorías de análisis:

**ROCA:** Permite analizar el conjunto y tipo de materiales parentales que son característicos en las diferentes áreas que hacen parte de la Micro-cuenca El Perro del Municipio de Manizales y que inciden en sus procesos degradativos.

**SUELO:** Mediante esta Categoría, se analiza el origen, la composición susceptibilidad y resistencia a los procesos degradativos de los suelos de la microcuenca y los diferentes tipos de erosión presentes en la zona de estudio.

**GRADO Y LONGITUD DE LA PENDIENTE:** Permite el análisis de la topografía de la cuenca, y prever el Uso, Manejo y Conservacion de los suelos.



**CLIMA:** En esta categoría, se evalúan los aspectos más importantes de la hidroclimatología predominante y su incidencia en los procesos degradativos.

**PLANTA:** A través de esta categoría, se analizan las especies y el papel de la vegetación en la prevención de los suelos a los procesos de degradación que se dan en la Microcuenca en estudio.

**ANIMAL:** Se analizan las especies típicas del área en estudio.

**INFRAESTRUCTURA:** Facilita el análisis de las obras existentes en la microcuenca, tales, como redes de acueducto, alcantarillado, viviendas, puentes, canales de agua sobre la zona peatonal, plaquetas de cemento sobre la ladera, gavionería en el lecho de la microcuenca y vías entre otras y la efectividad de las estructuras mecánicas de estabilización en los distintos sectores de la Microcuenca El Perro.

**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 la región de la Micro-

cuenca, 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 PROBLEMÁTICA

A través de la historia de la humanidad, los movimientos en masa han sido una de las causas más relevantes de desastres naturales. Generalmente, dichos movimientos implican modificaciones de terreno en el ciclo geomorfológico natural y continuo; sin embargo, en los últimos decenios su ocurrencia se ha asociado al desmesurado crecimiento de la población en el mundo, y por tanto, a la expansión de las urbes sobre laderas susceptibles a este tipo de procesos degradativos, en especial en los países en vía de desarrollo en los cuales la población urbana, durante las últimas cuatro décadas se ha incrementado cinco veces y según Aristizábal y Martínez (2.007), en la actualidad se conserva la tendencia a dicho crecimiento.

Los procesos de remoción en masa tienen múltiples causas, tales como: *“Condiciones geológicas, geomorfológicas y la intervención antrópica; no obstante, un solo factor como la precipitación, es considerado el estímulo externo que puede generar una respuesta casi inmediata de movilizar los materiales que conforman la*

*vertiente, sea por el rápido incremento de los esfuerzos o por la reducción de la Resistencia". (Aristizábal y Martínez, 1.999).*

Colombia, no es ajena a las problemáticas anteriormente referenciadas; más si se considera que se encuentra ubicada en un área geográfica caracterizada por ambientes tropicales, en los que priman los movimientos en masa detonados por lluvias.

La zona tropical andina, presenta características relevantes entre las que se pueden destacar, la inestabilidad de suelos y gran actividad tectónica y volcánica, y según Duque (2.010), los deslizamientos de tierra constituyen una de las amenazas más importantes en dicho medio.

En las Zonas de ladera del país, se presentan según Rivera (2.002), gran número de rocas diferentes, las cuales *"por su constitución física, química y mineralógica originan suelos con propiedades físicas y químicas distintas, que los hacen en mayor o menor grado resistentes o susceptibles a la degradación por erosión y movimientos masales"*.

Así mismo, factores como *"el grado de la pendiente desde planas (0 -12%) hasta muy escarpadas (mayores del 75%) y su longitud desde largas (300 a 500 m) a*

*muy largas (500 a 800 m), influyen igualmente en las pérdidas de suelos por erosión y en la formación de cárcavas profundas y presencia de movimientos masales” (Rivera 2.002). Además, estas regiones se caracterizan por la presencia de lluvias intensas (intensidades máximas en treinta minutos de 66 a 86 mm/h) de alta duración y frecuencia.*

Por otra parte, el uso y el manejo de los suelos de estas regiones del país, no han sido los más adecuados. Por tanto, se han estudiado algunos de los parámetros físicos químicos y biológicos de los suelos, relacionados con los procesos degradativos más frecuentes en estas Zonas de Ladera como son la formación de cárcavas y los movimientos masales.

También, se ha abordado el estudio de Rivera 2.006, que se refiere a la resistencia al cortante tangencial que ofrecen diferentes especies forestales (Café, *Coffea arabica*; Nogal cafetero, *Cordia alliodora*, Guamo, *Inga codonantha* y nacedero, *Trichanthera gigantea*) a los suelos de ladera en la prevención y control de los movimientos masales (Tablas 1 y 2).

**TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA RADICAL DE ALGUNAS ESPECIES VEGETALES DE LA ZONA**

**CAFETERA COLOMBIANA**

| Especie                      | Profundidad (cm) |       |        |
|------------------------------|------------------|-------|--------|
|                              | 0-20             | 20-80 | 80-120 |
|                              | kPa              |       |        |
| <i>Cordia alliodora</i>      | 55,65            | 64,97 | 76,00  |
| <i>Inga codonantha</i>       | 40,28            | 60,31 | 76,33  |
| <i>Trichanthera gigantea</i> | 52,63            | 70,52 | 57,53  |
| <i>Coffea arabica</i>        | 36,36            | 44,21 | 55,50  |
| Testigo                      | 34,16            | 43,39 | 53,61  |

FUENTE: BARRERA Y RIVERA (2002), (SIN PUBLICAR).

**TABLA 2. RESISTENCIA AL CORTANTE TANGENCIAL PROMEDIO (KPA) DE ALGUNAS ESPECIES VEGETALES DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA**

| Especie                      | Longitud Promedio raíces laterales (m) | Profundidad promedio sistema radical (m) | Relación suelo/raíces (%) |
|------------------------------|--|--|---------------------------|
| <i>Cordia alliodora</i>      | 11,7                                   | 2,8                                      | 0,01                      |
| <i>Inga codonantha</i>       | 5,5                                    | 2,2                                      | 0,10                      |
| <i>Trichanthera gigantea</i> | 5,0                                    | 1,6                                      | 0,11                      |
| <i>Coffea arabica</i>        | 1,2                                    | 0,60                                     | 0,036                     |

FUENTE: BARRERA Y RIVERA, (2.006)

Para solucionar estos problemas, Rivera, (2002), sugiere la aplicación de una serie de prácticas de tipo biológico y bio-ingenieril, utilizando los recursos y materiales disponibles en las fincas de los agricultores tales como especies vegetales de fácil propagación vegetativa o por semilla. De esta forma, se ha logrado la recuperación de procesos avanzados de degradación en corto tiempo (3 meses a tres años), con obras sencillas acordes con el medio ambiente y a un costo bajo, 2 al 15%, en relación con los costos de las obras mecánicas convencionales. Se pretende entonces *“que los tratamientos bio-ingenieriles, se conviertan a través del tiempo en obras vivas no perecederas y que estén acordes con el ambiente natural, sin causar impacto ambiental negativo”* (Rivera, 2002).

Al respecto y apoyado en estudios de campo en laderas forestadas (Loughlin, 1984), citado por Morgan y Rickson (1995), concluyó *“que las raíces más finas (1 – 20 mm de diámetro), son las que más contribuyen al refuerzo del suelo y que las raíces de diámetro mayor juegan un papel no significativo. Las gramíneas, leguminosas y arbustos pueden tener un efecto de refuerzo a profundidades de 0,75 – 1,5 m”*.

Así mismo, Loughlin (1984), afirma que los árboles tienen mayores efectos y más posibilidades de mejorar la resistencia del suelo, a profundidades de tres metros o más dependiendo de la morfología de las raíces, pues los sistemas de raíces, conducen a incrementar la resistencia en el suelo mediante un aumento

importante en la cohesión, por el enlace de fibras de raíces con éste y la adhesión de las partículas del mismo a las raíces de las plantas.

Sin embargo, en términos generales, se ha entendido que las raíces no tienen efecto sobre el ángulo de fricción del suelo, pero Tengbeh (1988) citado por Morgan y Rickson (1995), *“sostiene que las raíces de gramíneas incrementan el ángulo de fricción interna de suelos arenosos, pero no tienen tal efecto sobre suelos franco arcillosos”*.

Los movimientos masales entonces, son las amenazas de mayor relevancia en las zonas andinas y según Duque (2.003), *“los daños a bienes y pérdida de vidas en estos casos, se asocian especialmente con la inestabilidad de las vertientes intervenidas: Deslizamientos, derrumbes y flujos”*, debido a la primacía de mecanismos de tratamiento de suelos ajenos a la realidad de las regiones montañosas, que más bien responden a las necesidades de áreas con altas latitudes, sin considerar que los suelos de montaña por la condición tropical de nuestra nación, tienen un carácter residual que implica un tratamiento particular.

Dentro de este contexto, se enmarca el Municipio de Manizales, el cual en la última década ha sido impactado por múltiples desastres generados especialmente por las fuertes lluvias, que han desestabilizado los terrenos provocando a su vez procesos erosivos y grandes deslizamientos de tierra, afectando la calidad de vida de las comunidades localizadas en las áreas más vulnerables de la ciudad y cobrando vidas humanas.



Uno de los sectores más álgidos, es la Micro cuenca el Perro, en la cual se ha podido apreciar un régimen pluviométrico inusual que en la última década, ha ocasionado flujos y avenidas torrenciales, que afectaron viviendas, vías, líneas vitales y modificaron cauces en varias cuencas hidrográficas que recorren y limitan la ciudad.

Prueba de ello, son los sucesos reportados por la Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres (OMPAD, 2.010), que llevaron a la misma entidad a tomar la decisión de levantar la alerta amarilla en la que permaneció la ciudad de Manizales desde Marzo de 2.010, excluyendo precisamente toda la cuenca de la quebrada El Perro, debido a que allí se *“adelantaban procesos de instrumentación permanente para su monitoreo, y trabajos de estabilidad de taludes y manejo de aguas de emergencia, para contrarrestar los problemas de inestabilidad que se seguían presentando”*.

Efectivamente, los grandes flujos provenientes de la Micro cuenca de la quebrada El Perro, afectaron zonas altamente expuestas por estar a lo largo de la trayectoria de flujos e inundaciones; por ejemplo, en el sector Expo - ferias se registró la acumulación de sedimentos y escombros que taponaron por completo la vía en dos oportunidades, comprometiendo la estabilidad de un relleno que servía como parqueadero ubicado encima de un box colvert mal diseñado, que ocasionó el taponamiento de la quebrada en dos ocasiones, ya que con dicho

parqueadero, se le quitó la tirante natural a la quebrada, con las consecuencias relatadas.

Igualmente, en la parte alta de la cuenca, se observaron afectaciones severas por deslizamientos que bloquearon el cauce natural y en algunos puntos dejaron completamente sin banca las vías. Adicionalmente se observó que la tubería del acueducto de Manizales, estaba siendo afectada por procesos severos de erosión concentrada en cárcavas de tipo remontante, las cuales amenazan con comprometer la estabilidad de toda la ladera.

En respuesta a estos problemas, las autoridades ambientales apoyadas en el Informe de Gestión de CORPOCALDAS, (2.009), sobre las obras civiles de estabilidad que se debían construir en esta área de la micro cuenca, especialmente para disipar la energía y mitigar la problemática, aprobaron una inversión de \$ 302.601.835, (US.170.576) contrato 024-09, en obras civiles las cuales colapsaron en octubre de 2.010 en un evento de proporción mayor que el anterior.

De acuerdo a las observaciones en recorrido preliminar a mediados del mes de Enero a Diciembre de 2.011, se observó deforestación alta de la zona y mal manejo de plantaciones forestales, obras de estabilidad no concertadas con la comunidad de la zona, indicando una inestabilidad representativa de la región.

A partir de estos planteamientos, surge el siguiente interrogante:

¿Cuál es la relación Causa – Efecto de los procesos degradativos que se vienen desarrollando en la Micro cuenca de la quebrada El Perro del municipio de Manizales?

## **1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

En lo relacionado con los antecedentes de la presente investigación, la revisión bibliográfica no identificó durante los últimos tres años, ningún estudio específico orientado al análisis de la relación Causa – Efecto de los fenómenos degradativos a la luz de las interrelaciones: roca – suelo – grado y longitud de la pendiente - clima – planta – animal - infraestructura – hombre, en la Micro-cuenca “El Perro del Municipio de Manizales”; aunque no se pueden desconocer, algunos trabajos académicos que han abordado la problemática de este sector desde otras perspectivas; entre ellas se pueden destacar las siguientes:

El estudio realizado por Cortés, (2.010), “ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN UNA CIUDAD DE MEDIA MONTAÑA ANDINA. CASO: MANIZALES”, el cual se centró en la identificación de *zonas de variabilidad homogénea*”.

En dicha investigación, se referencian los hechos ocurridos en Noviembre de 2.008, a causa de las Fuertes lluvias que generaron problemas de flujo de lodos, hacia las laderas orientales, en el sector que cruza la quebrada El Perro, ocasionando además deslizamientos desde la parte superior de la ladera, y estos,

junto con la gran cantidad de lluvias bajaron por la misma quebrada, represándose a la altura del sector de Expoferias; lugar en el cual se había contraído el cauce mediante la construcción de un dique para ampliar los parqueaderos del Centro de exposiciones de la ciudad. Lo que generó, una gran inundación de flujo de lodos que a su paso afectó varias viviendas, vehículos, y por último obstruyó una de las vías más importantes de la ciudad.

Al respecto, Cortés (2.010), afirma que: *“La ocurrencia de dicho desastre puso de manifiesto las dificultades que afronta la ciudad, en cuanto a la ocupación del territorio. La ladera oriental de la ciudad, que históricamente había sido una ladera inestable, ahora era ocupada con gran cantidad de proyectos urbanísticos para los estratos altos, siendo precisamente una urbanización de estas características la más afectada durante esta ola invernal”*.

Agrega además la autora, que es precisamente en este sector llamado Alto del Perro, donde se ha desarrollado un acelerado proceso de urbanización, y por tanto los esfuerzos regionales se deben centrar en el conocimiento de *“los procesos de lluvia que se dan, aunados a los cambios en la cobertura de los suelos producidos por la deforestación, las fuertes pendientes, y las nuevas cargas sobre el terreno producto de la urbanización. Se requiere definir para esta ladera oriental de la ciudad, unas curvas propias de IDF (Intensidad –Duración-Frecuencia) en estimación de caudales, que den paso a una más adecuada planeación y ocupación de este sector”*.

Se concluye entonces, que esta zona debería ser especialmente considerada en los procesos de planeación de proyectos de prevención y adaptación, teniendo en cuenta que las condiciones de urbanización en el sector, han avanzado considerablemente.

Otro estudio relevante, es el realizado por Salazar e Hincapié (2.006) “CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS MASALES Y EROSIÓN AVANZADA EN LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA”; en esta investigación los autores argumentan que la mayoría de los casos de movimientos masales y erosión avanzada constituyen evidencias de las consecuencias del inadecuado uso y manejo de los suelos, siendo la prevención la mejor medida para contrarrestar dichos eventos; lo cual, implica el conocimiento de la vulnerabilidad de las laderas, buscando las causas y efectos de tales eventualidades y las formas adecuadas para prevenirlos y controlarlos.

Una de las conclusiones relevantes del estudio, revela que el 45% de los casos de los problemas analizados, se asoció al inapropiado manejo del suelo; en efecto se recomienda en dicha investigación, que en suelos susceptibles a movimientos masales, se deben establecer sistemas agroforestales (cultivos acompañados de árboles), en tanto la arborización brinda mayor cohesión al suelo, que los cultivos. Finalmente, concluyen los autores, que las buenas prácticas y, el adecuado manejo del suelo, previenen los movimientos masales y la erosión avanzada; y

que sus causas, generan pérdidas ambientales y económicas difíciles de recuperar.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 CAMBIO CLIMÁTICO EN EL GLOBO TERRESTRE**

El abordaje de esta temática, permite una aproximación a los efectos del cambio climático que se han presentado tanto a nivel mundial, como en el contexto nacional, regional y local durante las últimas décadas. Los aspectos fundamentales expuestos en el Informe publicado por el Grupo de Expertos sobre Cambio Climático en 2.007, se pueden sintetizar de la siguiente manera:

##### **2.1.1 Aproximación Histórica**

Desde 1.850, se han registrado cambios climáticos en el globo terrestre, y en el siglo XX según reportes de la Organización Meteorológica Mundial, la temperatura aumentó en más de  $0.6^{\circ}\text{C}$  (Aquiles, 2.010); en los años 70, la superficie terrestre comenzó a mostrar un ritmo mayor de calentamiento global, aproximadamente del doble de la tasa correspondiente a la plataforma oceánica. Sin embargo, según Neuenchwander (2.010), la década de los 90 fue la más cálida del milenio con once de los doce años más cálidos que se han reportado a partir de 1.850.

Estas evidencias, cada vez más sólidas, observadas en todos los continentes y en la mayoría de los océanos, demuestran que en el planeta se está desarrollando un cambio climático, que se refleja especialmente en el aumento de la temperatura,

afectando a muchos sistemas naturales. De mantenerse esta tendencia, algunos científicos consideran la posibilidad de que los ecosistemas se enfrenten a temperaturas más altas de las que se han presentado naturalmente en los últimos 650 mil años.

Lo cual, afirma Neuenschwander (2010), ocasionaría *“innumerables consecuencias en diversas dimensiones de la vida sobre la Tierra, desde cambios en la producción de alimentos; reducción en la disponibilidad y suministro de agua para bebida, riego y uso industrial; medicaciones en el aspecto, características y localización de muchos ecosistemas del mundo y reducción de la biodiversidad en muchas regiones, hasta aumento en el nivel del mar, cambio de los climas actuales a otros más extremos; nuevas amenazas para la salud humana y aumento progresivo de refugiados medioambientales”*, entre muchos otros efectos.

### **2.1.2 Efectos del Cambio Climático a nivel mundial**

El cambio climático, se ha ido acelerando en el globo terrestre durante las últimas décadas y tiene efectos de gran relevancia que se evidencian en diversos aspectos a saber:



### 2.1.2.1 Hielo y Permafrost

En los últimos años según Gutiérrez, (2.006), *“grandes trozos de hielo se han desprendido de los continentes ártico y antártico, y existen registros sobre el aumento de la temperatura del permafrost ártico, que es el suelo permanentemente congelado, cuyo grosor ha disminuido del orden de un 40%”*.

Además, han disminuido los glaciares, principalmente en las cordilleras de los Andes, los Alpes e Himalaya.

De hecho, la comunidad científica, ha reportado un incremento importante el aumento de temperatura en distintas *“zonas cercanas a los cascos polares. Por ejemplo, en algunas regiones de Groenlandia desde el 2.000 ha disminuido el volumen de su Inlandsis (masa glaciaria de los casquetes polares) en unos 150 kilómetros cúbicos por año”* (Gutiérrez, 2.006) Por otra parte, en estos ecosistemas, se registran menores avistamientos de depredadores como osos polares y dificultades para las prácticas deportivas de montaña, especialmente en las zonas de menor altitud.

Afirma también Gutiérrez (2.006), que la información paleo climática, refuerza las interpretaciones *“de que el calor de la última mitad del siglo XX es poco común, al menos en los 1.300 años anteriores. La última vez que las regiones polares fueron proporcionalmente más cálidas que ahora, durante un largo período hace unos 125.000 años, la reducción en el volumen del hielo polar por derretimiento provocó la elevación del nivel del mar entre 4 y 6 metros”*.

Además, durante el último siglo, las temperaturas de la región Ártica se incrementaron casi el doble de la media mundial establecida, con una alta variabilidad por decenio. Entre 1.925 y 1.945 por ejemplo, *“se registró un intenso calor y en gran parte de las regiones con permafrost, se prevé una generalización de su incremento sobre todo en la profundidad del deshielo de de sus suelos”* (Gutiérrez, 2.006).

Otro dato importante aportado por dicho autor, es que *“desde 1.978, ha decrecido la extensión media anual del hielo marino del Ártico, alcanzando su mínima extensión durante el verano. Los datos satelitales muestran que la extensión media anual del hielo marino ártico ha disminuido un 2,7% por decenio, con las mayores disminuciones de 7,4% durante la época estival (verano)”*.

Las regiones del Norte, han sido las más afectadas por el intenso calentamiento, ya que con el derretimiento del suelo, se han expuesto la tierra y las rocas oscuras permitiendo una mayor absorción del calor solar, lo cual, agudiza el fenómeno. Algunos científicos aseguran que, en los próximos años, el Ártico podría dejar de tener hielo en verano, situación que ya se ha podido verificar en los años 2.008 y 2.009, como lo afirma Gutiérrez (2.006).

### 2.1.2.2 Temperaturas y Fenómenos Climáticos

En este aspecto, el informe de síntesis del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, (2.007), plantea aspectos fundamentales sobre las temperaturas y fenómenos climáticos, que se pueden sintetizar de la siguiente forma:

Durante las últimas cinco décadas, las temperaturas extremas del planeta han experimentado un proceso de cambio generalizado, haciendo que las noches calurosas incluyendo ondas de calor, sean más frecuentes y que los días con noches frías o heladas, sean menos comunes; los fenómenos propios de la primavera, también muestran cambios generalizados inusuales en tanto se adelanta esta estación y por tanto, el brote de las hojas, la migración de las aves y el desove de los peces como señales características de dicha época se manifiestan antes de tiempo.

Se presume entonces, que en las próximas cinco décadas, las temperaturas medias de algunos continentes y de muchas regiones terrestres sub-continetales, aumentarán *“a una tasa mucho mayor que la media mundial y en una proporción superior a la variabilidad natural del clima”* (Cambio Climático, 2.007).

En este aspecto, los *“Modelos climáticos recientes, que acoplan los componentes climáticos oceánicos y atmosféricos, calculan que el calentamiento global podría llegar a un promedio de 0,3 ° Celsius por decenio”*, si no se adoptan políticas y mecanismos para la reducción de Gases de Efecto invernadero (GEI), los cuales

en este siglo han aumentado el efecto de invernadero, como se asegura en (Cambio Climático 2.007).

Por consiguiente, de mantenerse el ritmo actual de emisión de estos gases, sus niveles en la atmósfera se podrían duplicar o triplicar antes del 2.100, en relación a las concentraciones alcanzadas en la época pre-industrial; lo que se agravaría, si se considera que la tasa de cambio climático en la actualidad, se ha acelerado más que en cualquier otro momento histórico del planeta.

Al respecto, los investigadores del cambio climático, han estimado que si *“el incremento de las temperaturas es mayor a 3 °C, los depósitos naturales de carbono terrestres podrían comenzar a liberar a la atmósfera el carbono que mantienen absorbido, comenzando una reacción en cadena que aumentaría aún más la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera, empeorando el efecto invernadero”* (PICC, 2.007). (Figura 1).

La preocupación para la humanidad entonces, es que de no implementarse mecanismos para mejorar dicho proceso, los cambios climáticos generados por la acción del hombre, continuarán por mucho tiempo después del (2.100), debido a sus efectos residuales; es decir, que aunque el clima se estabilice, el nivel del mar seguirá aumentando.

FIGURA 1. CAMBIO DE TEMPERATURA GLOBAL (RELATIVA A PRE-INDUSTRIAL)



FUENTE: PANEL INTERGUBERNAMENTAL DE CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC), 2007

No obstante, aún no se ha podido establecer una relación concreta entre acontecimientos particulares y el calentamiento global, pero en términos generales, se prevé que en la medida que el planeta se caliente, algunos fenómenos climáticos extremos se reproducirán con mayor frecuencia como las olas de calor, las sequías, las fuertes precipitaciones y las ventiscas entre otros. *“Los estudios geográficos, indican que el calentamiento registrará mayores aumentos de temperatura en latitudes altas septentrionales y en la tierra más que en el mar, con un menor incremento de la temperatura en los océanos meridionales y el Atlántico Norte”* (IPCC, 2.007).

### 2.1.2.3 Agua Dulce

En lo relacionado con el agua dulce, Neuenschwander (2.010), asegura que su demanda aumentará a nivel mundial durante las próximas décadas a causa del incremento de la población y de su poder adquisitivo, especialmente en los países en vía de desarrollo; en el ámbito regional, el agua para regadío será la prioridad derivada del cambio climático; más, si se considera la posibilidad de que la gestión hídrica en la actualidad, no sea suficiente para reducir sus impactos negativos de este fenómeno en lo que respecta a la disponibilidad de este recurso. De hecho, todas las regiones evaluadas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, (2.007), *“muestran un impacto negativo neto general debido al cambio climático en cuanto a recursos hídricos y ecosistemas de agua dulce”*, obviamente, sin desconocer los esfuerzos en este sentido de muchas naciones, entre ellas Canadá, el Caribe, Holanda, Reino Unido, Estados Unidos y Alemania, que actualmente están implementando procesos de adaptación y prácticas de gestión de riesgos para el sector hídrico.

Al respecto, Neuenschwander, (2.002), sostiene que para mediados de este milenio, se calcula un aumento *“entre el 10% y el 40% del promedio de la escorrentía fluvial anual y de la disponibilidad de agua en latitudes altas y en algunas zonas tropicales húmedas, y un descenso de entre el 10% y el 30% en algunas regiones secas en latitudes medias y en las zonas tropicales secas, algunas de las cuales son en la actualidad zonas con estrés hídrico”*.

En consecuencia, la sequía y la escasez de agua dulce, más intensos cada vez en el Oeste africano, el Este de EEUU, América Central y países del Sur de Europa como España, serían los problemas económicos emergentes para estas naciones, que asociados actualmente al cambio climático, reclaman soluciones urgentes, en tanto se calculan grandes pérdidas de tipo económico que afectarían particularmente a las naciones más pobres.

#### **2.1.2.4 Afectación Económica y Efectos Sanitarios.**

Otro aspecto que genera preocupación en el ámbito internacional, es el impacto del calentamiento global en el equilibrio económico humano, debido a que se podrían agudizar los procesos de desertificación en los países andinos áridos y semiáridos o un clima más benigno en las naciones de clima frío de los hemisferios norte y sur. Pues según el informe (STERN, 2.005), aunque los efectos económicos en esta primera etapa del cambio climático son reducidos, se proyecta un incremento progresivo en todas las regiones del planeta. Por ejemplo, se *“pronosticó una reducción del 20% del PIB mundial, si no se toman una serie de medidas preventivas de mitigación que, en conjunto, costarían del orden del 1% del PIB”*.

Así mismo, existe la posibilidad de que el cambio climático incida negativamente en la salud de millones de personas, lo cual se reflejaría en el aumento de los índices de desnutrición sobre todo en aquellas que presentan problemas de

adaptación y menores posibilidades de acceso al agua dulce, agravando su situación.

También, se podría presentar un incremento no sólo en los índices de morbilidad o de lesiones a causa de las olas de calor, terremotos, inundaciones, incendios tormentas y sequías, sino de *“las enfermedades cardiorespiratorias ocasionadas por mayores concentraciones de ozono a nivel del suelo, y la modificación de la distribución espacial de algunos vectores transmisores de enfermedades infecciosas”* (STERN, 2.005).

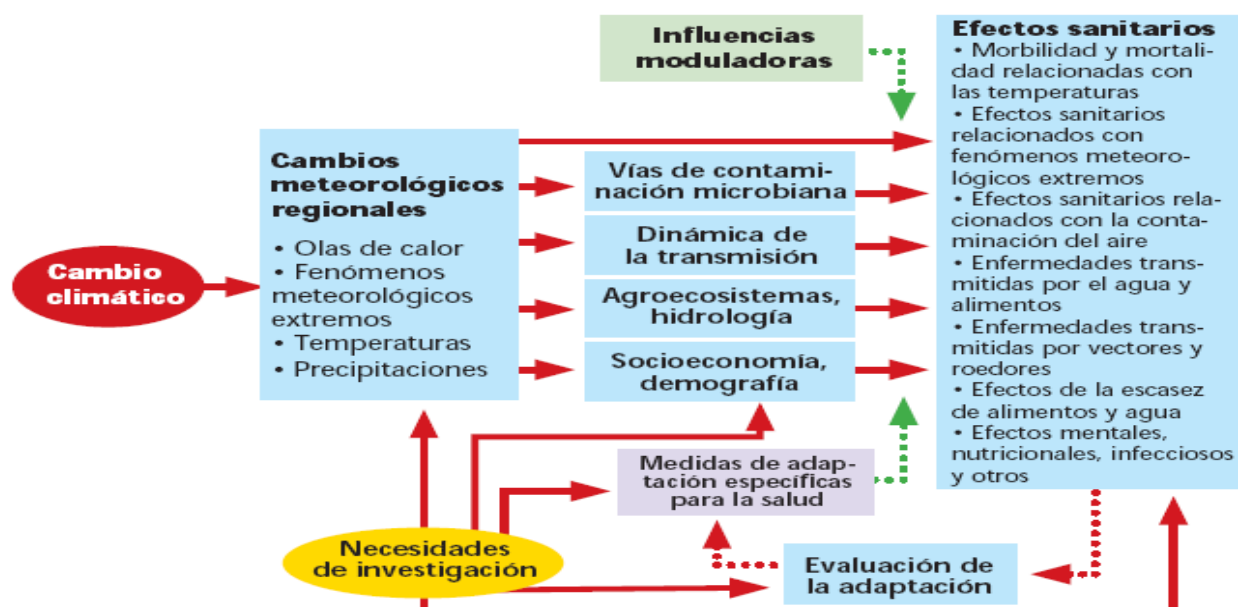
Un aspecto importante de relevar, es que *“el equilibrio entre efectos positivos y negativos del cambio climático en la salud, variará de un lugar a otro y se modificará en el tiempo, a medida que continúe el aumento de las temperaturas”* (STERN), 2.005. La población urbana más vulnerable en todas las regiones, serán las personas de más bajos recursos y en especial las de la tercera edad, los niños, los pobladores de las zonas costeras, las sociedades tradicionales y los agricultores de subsistencia. Por otro lado, al cambiar los patrones de lluvia, el mapa agrícola también presentaría grandes cambios y *“las zonas de mayor producción agrícola, se desplazarían hacia latitudes más altas, en dirección a los polos”*.

Dentro de este contexto, uno de los organismos que más se ha interesado en el tema del cambio climático por sus evidentes consecuencias para la vida humana,



es la Organización Mundial de la Salud, la cual asume que *“incluso con un pequeño cambio de temperatura, se puede causar un aumento dramático de muertes debido a eventos de temperaturas extremas, tales como el esparcimiento de enfermedades como la malaria, el dengue y el cólera; o la irrupción de sequías, falta de agua para consumo humano y escasez de alimentos”*. En este sentido, el PICC asegura que el cambio climático con certeza conllevará una significativa pérdida de vidas humanas. En la figura 2, se pueden apreciar las influencias moduladoras y los efectos sanitarios:

FIGURA 2. DIAGRAMA: RELACIÓN ENTRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EFECTOS SANITARIOS



FUENTE: INFORME (STERN. 2.005).

### 2.1.3 Desajustes Atmosféricos en Colombia

*Desde la perspectiva de Gómez (2.007), “Colombia se localiza en la zona tórrida y no posee estaciones; de no existir montañas su clima sería ardiente durante todo el año, pero gracias a las tres cordilleras y a la posición intertropical existe variedad de climas, abundante biodiversidad y desarrollos pluri-culturales, dado que dichos factores determinan múltiples actividades humanas desde las zonas templadas y frías, pasando por laderas escarpadas y amplias mesetas, hasta los valles intra-montañosos de las selvas ardientes generalmente húmedas y ocasionalmente desérticas”.*

Como se puede analizar, nuestro país posee grandes riquezas naturales, sin embargo, las zonas de cordillera presentan bastantes dificultades para el avance de tecnologías agrícolas y de comunicaciones que permitan el intercambio cultural regional; por tanto, se conservan aún muchas tradiciones (hábitos, lenguajes, costumbres e intereses) propios de algunas comunidades.

Por su posición geográfica, Colombia se favorece del recurso solar y según el IDEAM, (2.007), las temperaturas más altas se presentan en el departamento de La Guajira, Norte y Sur del Magdalena, Norte de Cesar y sectores Reducidos del Atlántico, Bolívar, Sucre y Arauca. Le siguen la región Caribe, nororiente de la Orinoquía, amplios sectores de Meta y Casanare y sectores pequeños de los departamentos de Cauca, Huila, Valle, Tolima, Cundinamarca, Boyacá, Santander y Norte de Santander, Antioquia y las Islas de San Andrés y Providencia. Las

zonas con menor intensidad de radiación solar global se presentan en sectores de Chocó, Valle, Cauca, Nariño, Putumayo, Tolima, Eje Cafetero y Santander.

Por consiguiente, el cambio climático, puede generar una reducción importante en la extensión de los ecosistemas, y afectar aquellos más frágiles y menos extendidos, incluso hasta hacerlos desaparecer, pues ya representa una amenaza para los glaciares, y se anuncian períodos de intensas lluvias y sequías prolongadas.

Otros aspectos de gran relevancia que pueden incidir a nivel nacional son los fenómenos El Niño y La Niña que según el Atlas 13, 2.010, *“están asociados con el aumento o disminución anómalo de la temperatura superficial del mar”*

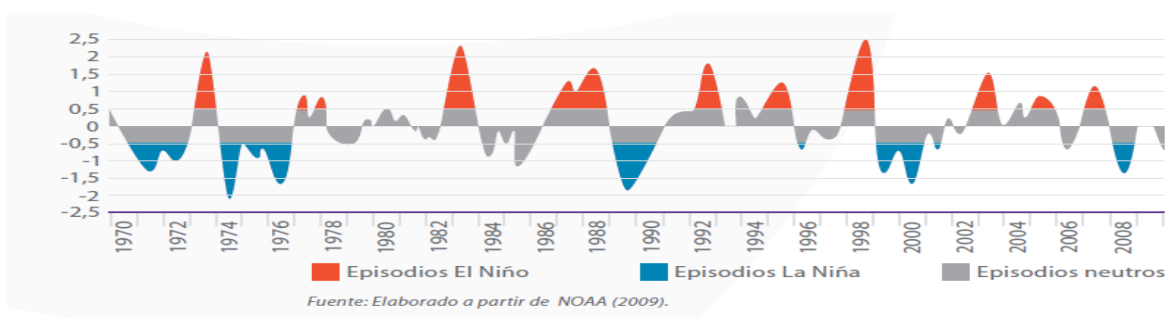
*Uno de los indicadores más utilizados para hacer seguimiento a estos fenómenos es el Índice del Niño Oceánico (ONI, por sus siglas en inglés), desarrollado por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), el cual, es calculado a partir de mediciones de la temperatura superficial del mar en el sector central del Pacífico tropical frente a las costas de Suramérica”.*

Así, según la información referenciada en el Atlas 13, 2.010, *“en condiciones El Niño, el ONI debe ser igual o superior a +0,5 grados Celsius de anomalía, mientras que en condiciones La Niña, el ONI debe ser igual o inferior a -0,5 grados Celsius”.*

En la Figura 3, se presenta el comportamiento del índice durante el periodo 1.970 – 2.008 ilustrando en rojo los episodios cálidos y en azul los episodios fríos; en

dicha figura, se puede visualizar que los episodios con temperaturas superficiales del mar más cálidas se registraron durante los años 1.972-1.973, 1.982-1.983 y 1.998. En el caso de las temperaturas frías se pueden observar mayores incrementos en 1.974, 1.976 y 1.989 y periodos prolongados de temperaturas anormalmente frías entre 1.973-1.976 y 1.998 - 2.000.

**FIGURA 3. NIÑO OCEÁNICO 1.970 - 2.008**



**FUENTE: ELABORADO A PARTIR DE NOAA (2.009), CITADO EN: (ATLAS 13, 2.010).**

Otro aspecto importante en el ámbito nacional, es el análisis de las evidencias que según Gómez, (2.007), demuestran *“el deshielo en un 50% del Parque Nacional Natural de los Nevados en 25 años, y el inminente riesgo de pérdida de éste y otros ecosistemas cuando la temperatura se incremente en varios grados más”*.

Lo que sugiere como la prioridad, la búsqueda estrategias efectivas para responder adecuadamente a esta amenaza y mitigar sus posibles efectos a través de mecanismos asociados a la preservación del Medio Ambiente, especialmente, los expuestos por Gómez (2.007), que se describen a continuación:

- Analizar las políticas y planes forestales más convenientes que se deben implementar para prevenir o mitigar los impactos sobre los recursos hídricos y los procesos erosivos, derivados de las sequías prolongadas y las intensas lluvias que se avecinan.
  
- Aunar esfuerzos que permitan el desarrollo de la hidroelectricidad para la mitigación del uso de plantas térmicas soportadas en combustibles fósiles y de bio-combustibles, como estrategia ideal para reestructurar a futuro, el marco energético, sin comprometer la seguridad alimentaria de las generaciones futuras.
  
- En el sector de transporte, se recomienda la implementación de medios y modos más eficaces, orientados a la estimulación de medios masivos de transporte público en las áreas urbanas y del transporte fluvial y ferroviario en lo que se relaciona con la movilización de cargas.
  
- La estrategia más contundente para la atención de las amenazas anteriormente expuestas, es la Educación Ambiental, en la medida en que ésta permite desarrollar procesos de concientización y sensibilización de toda la población colombiana frente a la importancia que puede tener el uso racional y eficiente de los recursos naturales (agua y energía) y los cambios drásticos en sus hábitos de consumo, a través de la utilización del mayor número de productos ecológicos y bio-degradables, en la prevención de la

contaminación, la preservación del medio ambiente y el despilfarro de dichos recursos.

#### **2.1.4 La Tecnología de Bioingeniería y el Control Natural de Erosión en Colombia.**

En Colombia, se viene desarrollando una tecnología de bioingeniería tratando de integrar las experiencias nacionales en este campo con las tecnologías que se han implementado en el contexto mundial.

En este aspecto y considerando que *“el sistema vegetal actúa como un controlador natural de la erosión”* Suárez, 1.987, los ingenieros colombianos han aplicado durante muchos decenios, los conocimientos adquiridos a través de experiencias con especies vegetales propias de la industria ganadera.

Los pastos por ejemplo, constituyen según Suárez, (1.987), *“una especie de mono sistema de control de erosión”* y en la última década se han utilizado las especies nativas de los andes, cuyas especies ya están adaptadas a las características de la región entre ellas: Pendiente, clima, altitud, tipo de suelo, nutrientes, etc.; lo cual, representa una gran ventaja para estos procesos.

De hecho, las especies nativas, son exigidas por algunas entidades ambientales cuando se trata de procesos de revegetalización, ante todo por la función

primordial que desempeñan como elemento fundamental que contribuye al mantenimiento ecológico de un área.

*No obstante, en algunos sectores, el establecimiento de estas especies, no es viable, debido a los cambios que se han efectuado en sus terrenos; por ejemplo, los taludes en corte para carreteras de gran pendiente, en los cuales funcionan mejor las especies exóticas por su capacidad de sostenerse en zonas pendientes.* (Suarez 1.992).

Sin embargo, la gran biodiversidad que tiene Colombia, *“dificulta la colección de semillas para el restablecimiento de las especies, debido a que los árboles de la misma especie están muy dispersos y generalmente sus semillas caen al suelo a distancias relativamente considerables con respecto al sitio donde éstos se encuentran”* (Suarez, 1.987).

Por su lado, las especies que se establecen por estaca muy abundantes por cierto, representan otra ventaja en el país, en especial las estacas vivas y los enramados, en la medida en que son muy efectivos para controlar los procesos erosivos.

Preferiblemente, según Suárez, (1.987), *“se deben utilizar especies que no requieran sombrero y que crezcan en zonas abiertas; aunque las especies que*

*menos problemas presentan, son algunas hierbas y juncos considerados por los forestales como hierbas malas”.*

Razón por la cual, estas especies han sido las menos utilizadas en el pasado para la revegetalización. La tabla 3, permite observar los sistemas de vegetalización de taludes de alta pendiente más utilizados en Colombia.

**TABLA 3. SISTEMAS DE VEGETALIZACIÓN DE TALUDES DE ALTA PENDIENTE UTILIZADOS EN COLOMBIA**

| Sistema de vegetalización             | Descripción  | Observaciones   |
|---------------------------------------|--|---|
| Plantas trepadoras                    | Se siembran hileras de plantas trepadoras en el pie del talud.   | Muchas de estas plantas requieren de roca para ascender. La mayoría de ellas no ascienden sobre suelo.  |
| Gradería tipo trincho                 | Se entierran hileras de estacas verticales para sostener ramas horizontales detrás de las cuales se coloca material de relleno.  | Se requiere que el suelo sea lo suficientemente blando para permitir que las estacas se puedan profundizar suficientemente.   |
| Biomantos de fique o cabuya           | Después de colocar la semilla y la fertilización se cubre el talud con una tela o biomanto de fibras orgánicas.  | En taludes secos se requiere riego continuo para permitir el establecimiento de la vegetación.  |
| Hidrosembrado                         | Se coloca a presión con una máquina de bombeo la mezcla de semillas, nutrientes y pegantes.  | No resisten grandes intensidades de lluvia y no se deben colocar sobre superficies rocosas.   |
| Mateado con hileras de bambú          | Se colocan horizontalmente ramas de bambú o guadua sostenidas por estaca y entre ellas se coloca suelo con nutrientes para el establecimiento de la vegetación.        | En taludes de muy alta pendiente es difícil sostener las estacas en forma estable. Se requiere que las ramas de bambú estén enterradas dentro del talud para evitar los flujos de agua por debajo de ellas. |
| Geomallas. Grama reforzada            | Las mallas sintéticas u orgánicas sirven de refuerzo para sostener el Mulching y las semillas.   | Son productos comerciales generalmente costosos.  |
| Capas de enramados con o sin refuerzo | Se colocan ramas de especies vivas entremezcladas con suelo y sostenidas en ocasiones por mallas de fibras sintéticas u orgánicas.                                     | Son difíciles de establecer en taludes muy altos y de muy alta pendiente.   |
| Cubiertas vivas                       | El talud se cubre con un sistema de elementos de madera o bambú colocados horizontal y verticalmente, formando cajones los cuales se rellenan con ramas vivas y suelo. | Requieren la construcción de bermas intermedias en los taludes de gran altura.  |
| Estructuras vegetalizadas             | Gaviones o muros criba con ramas o estacas vivas.  | No son estables en taludes de muy alta pendiente.   |

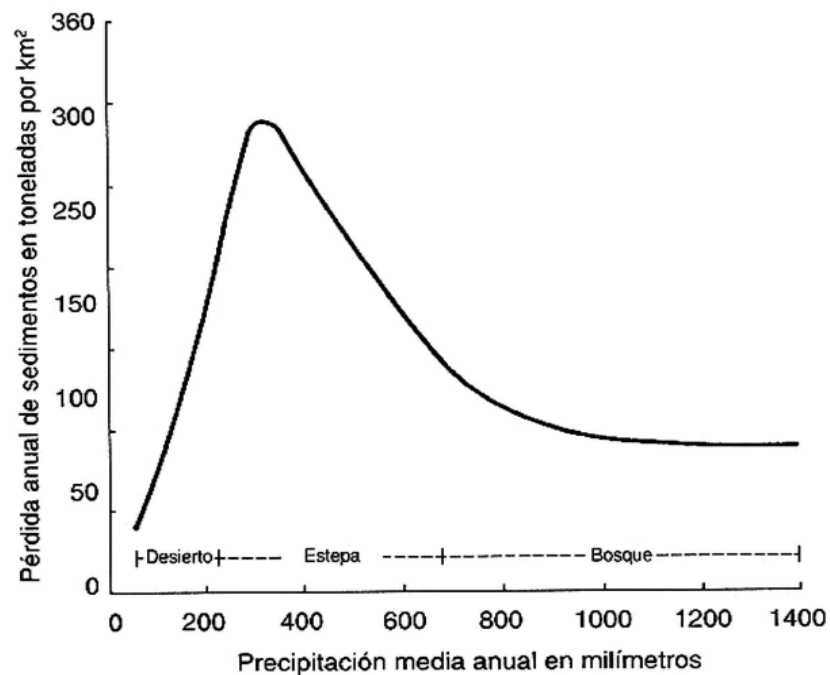
**FUENTE: SUAREZ (1987)**



## 2.2 El Cambio Climático y la Erosión a Nivel Global

Los trabajos a escala global sobre la relación entre precipitación y erosión de suelos (Langbein y Schumm, 1958), evidencian el reconocimiento de un máximo de erosión hídrica alrededor de unos 300 mm de precipitación media anual (Figura 4).

FIGURA 4. VARIACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN SISTEMAS FLUVIALES EN FUNCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

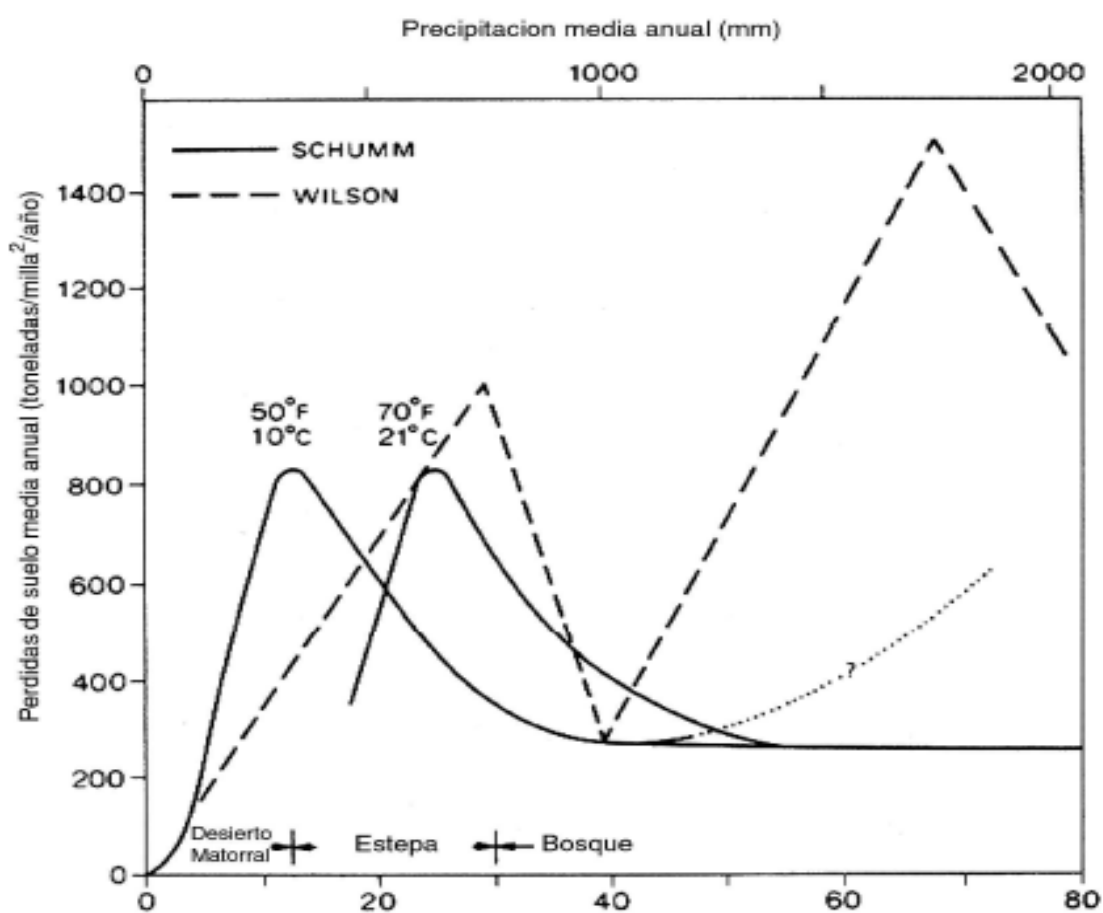


FUENTE: LANGBEIN Y SCHUMM (1958).

En las zonas de gran aridez, la erosión hídrica se manifiesta en menores proporciones. Según Oberlander (1.997), “en regiones hiperáridas que

corresponden con la parálisis erosiva, esta puede ser nula". Además, "estos máximos de erosión, varían en función de las temperaturas (Schumm, 1965). (Figura 5).

FIGURA 5. RELACIÓN ENTRE LAS PÉRDIDAS DE SUELO Y LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL



FUENTE: (SCHUMM, 1965; WILSON, 1973). EROSIÓN E INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO, REVISTA S&G.

Con el incremento de temperaturas aumenta la evapotranspiración y se necesita una precipitación mayor para un máximo de erosión hídrica. La rama descendente de las curvas de Langbein y Schumm (1958), se estabilizan a partir de 1000 mm de precipitación, lo que parece indicar una erosión.

No obstante, Schumm (1965), aproxima el máximo de erosión a unos 1.700 mm de precipitación, sobre todo en climas tropicales estacionales. Por su lado, en el estudio de Knox (1984) se determina *“un umbral crítico de cobertura de vegetación de un 70% que corresponde a una precipitación media anual de 300-500 mm. Para valores inferiores al umbral de 70%, aumenta considerablemente la cantidad de suelo erosionado”*.

### **2.2.1 Erosión del Suelo:**

La erosión, según Ellison (1.947, citado por Hudson 1.982), consiste en un *“proceso de separación, transporte y depósito de los materiales del suelo por los agentes causantes, tales como la lluvia, el viento y el hombre”*; pero según La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FEDERACAFÉ, 1.975), mediante procesos educativos y la adopción de tecnologías más adecuadas, los individuos pueden convertirse en agentes de conservación del suelo y del medio ambiente.

### **2.2.1.1 Ecuación universal de erosión.**

En este aspecto, (Meyer, 1984), afirma que *“el USLE, conocido como EUPS o Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos por Erosión, es la técnica integral disponible más comprensible para uso en el campo en la estimación de la erosión en terrenos cultivados”*, en tanto considera seis factores que afectan la erosión del suelo por el agua: *“Erosividad de las Lluvias, erodabilidad del Suelo, Grado y Longitud de la Pendiente, Cultivo y Técnicas de Manejo y Prácticas de Conservación de Suelos”*. Esta metodología, se desarrolló con base en los análisis estadísticos anuales de más de 10.000 parcelas de escorrentía, pertenecientes a 50 localidades en 24 Estados de los Estados Unidos.

Se infiere por tanto, que si la erosión es una función de factores Activos, Pasivos y Atemperantes, que se interrelacionan con el fin de contrarrestarla o acelerarla, entonces resulta lógico que el hombre deba trascender su papel activo para convertirse en un factor atemperante; lo cual, implica procesos de capacitación para su sensibilización y concientización frente a dicho fenómeno, generando a la vez sentido de pertenencia por la naturaleza.

### **2.2.1.2 Descripción de los Factores de la Ecuación Universal de Pérdidas de suelo por erosión (EUPS)**

La erosividad (R), ha sido definida por Amézquita y Forsythe (1975), como *“una propiedad específica de las lluvias, la cual puede ser evaluada cuantitativamente*

como la capacidad potencial de las lluvias para producir erosión en circunstancias dadas". En la figura 6, se puede apreciar la ecuación universal de erosión planteada por Wischmeier y Smith, (1.978):

FIGURA 6. ECUACIÓN UNIVERSAL DE EROSIÓN (WISCHMEIER Y SMITH, 1.978)



FUENTE: CITADA EN RIVERA (2006).

### 2.2.2 La Erosión en Colombia

A pesar de que en los Andes colombianos, existen varios tipos de erosión, predomina la erosión hídrica (pluvial y fluvial); y según el Ministerio del medio ambiente, se hace más intensa en zonas deforestadas especialmente en las temporadas altas cuando las lluvias se agudizan. En Colombia, la tala de cerca de 600 mil hectáreas de bosque sobre todo en la Amazonía y la región del Pacífico, con fines de mercado en la Zona Andina, ha generado el incremento de los procesos erosivos.

La tala de bosques, además de estar asociada a la producción de madera y la construcción de infraestructura también se relaciona con la expansión de la frontera agrícola, que se refleja en aspectos como colonización, cultivos ilícitos, alto consumo de leña e incendios forestales entre otros.

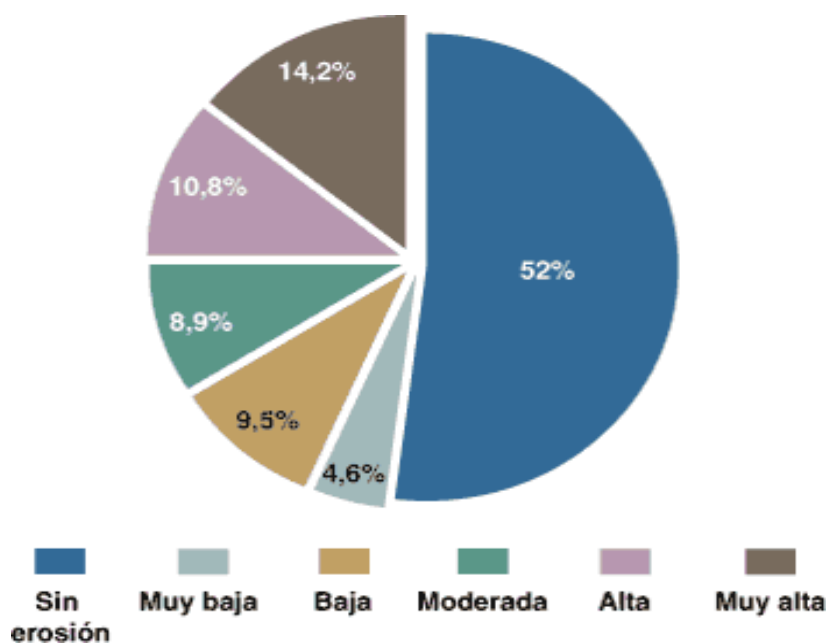
En este aspecto, el Ministerio del Medioambiente, reporta que el 19% de la superficie continental e insular de Colombia está cubierta por vegetación especial no boscosa, representada en sabanas, paramos, pantanos y zonas áridas. El 1% de su territorio comprende las aguas, los hielos, las urbes y regiones insulares.

Por su lado, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, (2.000), reporta que *“el 48% de la extensión continental de Colombia, presentó algún grado de degradación en las formaciones de las rocas*

superficiales, ya sea por erosión, remoción en masa o sedimentación, pues en el 14.2% de su territorio la degradación es muy alta, en el 10.8% alta, en otro 10.8% moderada, en el 8.9% baja y en el 4.6 muy baja”.

Afirma también el IDEAM, que el 48% de la extensión continental de Colombia en el año 2.000, presentó algún grado de degradación en las formaciones superficiales y de rocas, ya sea por erosión, remoción en masa o sedimentación. En el territorio colombiano entonces, el 14,2% presenta una degradación muy alta; el 10,8%, alta; el 10,8%, moderada; el 8,9%, baja y el 4,6%. La intensidad de degradación de los suelos colombianos, se puede observar en la figura 7.

**FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA INTENSIDAD DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS Y TIERRAS DE COLOMBIA POR EROSION, REMOCIÓN O SEDIMENTACIÓN (2.000)**



FUENTE: <http://www.ideam.gov.co/indicadores/suelos2htm> (CONSULTADO: ENERO. 2.012),

Igualmente, *“las tierras afectadas por el proceso de desertificación totalizan 4'828.875 hectáreas, correspondientes al 4,3% del territorio; y que el proceso alcanza niveles extremos de gravedad y de insostenibilidad, en tanto que en el 0,73% los niveles son moderados y en los 2,89% restantes son leves”*. (IDEAM, 2.000).

Las áreas más afectadas de la zona andina, según el reporte del IDEAM, (2.000), son: por degradación, la Sabana de Bogotá (91%) y por desertificación Bogotá. Para comparación, a nivel nacional las zonas más críticas son: por degradación la alta Guajira (99%) y alto Meta (91%), y por desertificación Atlántico y la Guajira. Ya los inviernos más húmedos y los veranos más secos, anuncian el descontrol hídrico y pluviométrico, resultante de la tala de bosques.

Desde esta perspectiva, se presume que asociada a la tala, subyace una gran problemática si se considera, que los bosques están relacionados con el clima en tanto cumplen una doble función: Retienen humedad y descargan las nubes.

La primera, según información del Ministerio del Medio Ambiente, genera aguas subterráneas contribuyendo al control hídrico, *“dado que el caudal de los ríos, en virtud de los manantiales, es casi el mismo en invierno y en verano”*. Por tanto, al talar los bosques se produce la muerte de las aguas subterráneas.

La segunda función, hace que las lluvias sean más moderadas y mejor distribuidas, debido a que la condensación del agua en la atmósfera que se establece en el ámbito del bosque, se evidencia en la humedad de los musgos y



en el aire fresco que se percibe cerca a los follajes. Infortunadamente, con la desaparición de los bosques, ya no propicia la descarga de las nubes, y las precipitaciones se presentan en aguaceros a chorro y no como lluvias a goteras.

De igual manera, al desaparecer los bosques, se tornan más breves los tiempos de concentración de las aguas, provocando la erosión de los cauces de montaña y la sequía e inundaciones en los valles de salida de los ríos.

Así, por el “efecto de pavimento” asociado a los potreros, las escorrentías van a las quebradas de inmediato. La agradación de las erupciones volcánicas y de los cauces en régimen de depósito, y la degradación por procesos erosivos asociados a fenómenos propios de ambientes de montaña y régimen torrencial, constituyen ejemplos claros de los fenómenos en construcción y destrucción del relieve.

## **2.3 MOVIMIENTOS EN MASA**

### **2.3.1 Aspectos fundamentales**

#### **2.3.1.1 Conceptualización**

Los movimientos en masa, según (FEDERACAFÉ, 1.975), se pueden describir como desplazamientos de bloques de suelo, causados por exceso de infiltración del agua en el terreno y por efecto de la fuerza de gravedad, que generalmente se

presentan cuando las capas superiores aumentan de peso debido a la saturación y la pendiente es favorable con movimientos de agua en las capas inferiores, formando planos de deslizamiento.

El exceso de lluvia, favorece la saturación, al igual que el vertimiento de aguas de escorrentía de áreas superiores en terrenos muy permeables o con poca estabilidad. Por consiguiente, en terrenos de pendiente abrupta y suelos poco estructurados e inestables, se deben mantener las coberturas vegetales más adecuadas, inducir la evacuación de aguas y prevenir la llegada de aguas sobrantes de beneficios, cunetas, alcantarillados o canales de escorrentía de áreas superiores y evitar las construcciones cerca de ellos y socavamientos en su base.

Los 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, también generan movimientos masales

Asimismo, el vertimiento de aguas concentradas sobre áreas inestables o cauces desprotegidos, las infiltraciones por falta de cunetas y las obras de drenaje, pueden desencadenar movimientos en masa en las bancas de las vías, los cuales son considerados como movimientos negativos; al igual que las construcciones que en ellas se hacen, sobre todo si existen áreas construidas sin previo decapote

antes de los rellenos o si éstos no se hicieron de forma adecuada o si se utilizaron materiales orgánicos (suelo orgánico, capote, basuras, residuos de cosechas etc.).

En general, los movimientos en masa, se conocen como volcanes y, según (FEDERACAFÉ, 1.975), toman diversas denominaciones (deslizamientos, derrumbes, coladas de barro, solifluxión, hundimientos desprendimientos y desplomes) que dependen del grado de saturación del terreno, velocidad del desplazamiento, profundidad de la masa desplazada y grado y longitud de la pendiente del terreno. 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.

Estos movimientos según Tragsa-Tragsatec, (1998), *“son procesos esencialmente gravitatorios por los cuales una parte de la masa del terreno se destaca del conjunto y se desplaza a una cota inferior a la original, sin contarse con la intervención de agente de transporte alguno, siendo tan sólo necesario que las fuerzas desestabilizadoras superen las estabilizadoras sin embargo, el agua es el agente desencadenante al afectar tales fuerzas”*.

Por su lado, la CORPORACION AUTONOMA REGIONAL RIONEGRO-NARE,1995 (CORNARE, 1.995), los define como *“desplazamientos del suelo por acción de la gravedad sin la ayuda de ningún medio de transporte como agua y viento”*; sin embargo, no se puede desconocer que el agua desempeña un papel importante en los movimientos masales, en tanto con la saturación del suelo,

disminuye la fricción entre las partículas de roca, facilitando su movimiento; lo que justifica su ocurrencia, especialmente después de lluvias largas e intensas.

Al respecto, Varnes (1978), afirma que *“el inicio de los movimientos está sujeto a aquellos factores que incrementan los esfuerzos de corte y los que reducen la resistencia del suelo a éste; estos factores pueden actuar simultáneamente como es el caso del agua que se infiltra en el terreno y llena los espacios porosos; el agua en los poros se encuentra bajo presión y tiende a separar las partículas individuales e incluso las unidades de roca, disminuyendo la fricción interna o la resistencia del material al desplazamiento”*.

Los movimientos en masa, están directamente relacionados con la fenomenología de cuencas torrenciales y por tanto, la fuerza torrencial, puede ser precursora de estos movimientos, a través de socavamientos basales y posteriores derrumbamientos; además, las masas de terreno desplazadas pueden arrastrar carga sólida hacia los cauces, incrementando los efectos negativos de la dinámica torrencial, los cuales van desde la reducción de la capacidad productiva del terreno afectado, hasta la generación de daños catastróficos de tipo económico o de pérdida de vidas humanas.

### **2.3.1.2 Partes de un Movimiento en Masa.**

La morfología de un movimiento en masa, permite obtener información valiosa tanto del tipo de movimiento como de su génesis. Hanves (1984) citado por Tragsa-Tragsatec (1998) propone su caracterización a partir de los elementos o partes que los componen. La presencia o ausencia de tales elementos y sus relaciones dimensionales y espaciales, permiten definir su tipología.

### **2.3.1.3 Clasificación de los movimientos masales.**

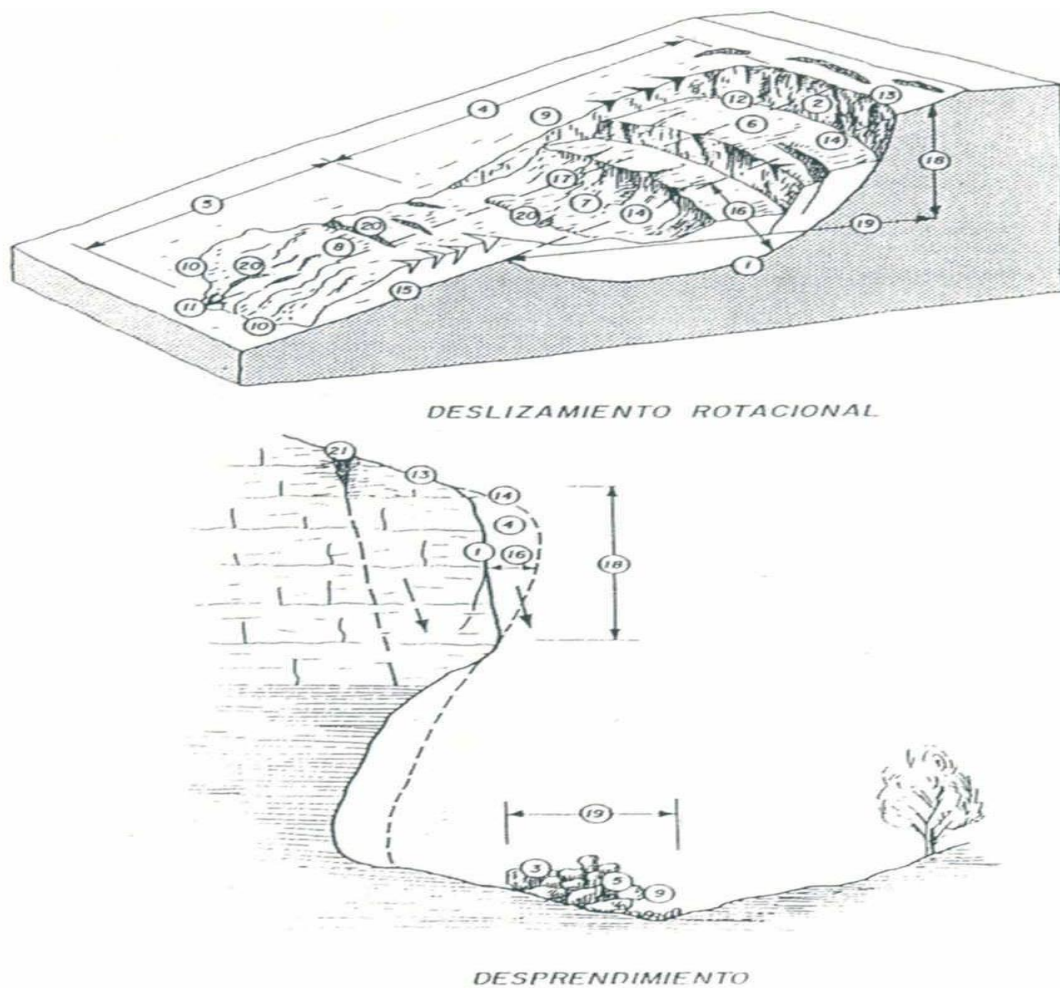
Tragsa-Tragsatec (1998) propone una clasificación acorde con la problemática de restauraciones hidrológico-forestales y de las ordenaciones hidro-agrológicas; en ella se identifican tres tipos de movimientos: Derrumbes, deslizamientos y flujos, los cuales a su vez agrupan genéricamente otros que responden en forma similar al principio de clasificación inicialmente planteado (figura 9).

En el caso de los derrumbes y deslizamientos, siempre se tienen superficies de rotura, sin presentar la masa desplazada deformación interna, hablándose de movimientos por bloques individualizados rígidos. A diferencia de los anteriores, los flujos se caracterizan en términos generales por movilizar un material plástico el cual presenta deformación interna, no dándose siempre superficies de rotura en forma manifiesta.

A manera de ilustración, se presenta la figura 8 que permite apreciar la morfología de un movimiento en masa, con la caracterización a partir de los elementos o

partes que lo componen, propuesta por Hanves (1984): Superficie de rotura, escarpe, material desplazado, zona de deflación, zona de acumulación, cabeza, cuerpo, principal, pie, flancos, borde, punta, coronación, cabecera, superficie original del terreno, superficie de separación, profundidad del movimiento, longitud máxima, altura del movimiento, longitud horizontal, grietas transversales y radiales, crestas transversales y longitudinales. Además, se puede observar un deslizamiento de tipo rotacional, y un derrumbe en su modalidad de desprendimiento.

**FIGURA 8. MORFOLOGÍA DE UN MOVIMIENTO EN MASA. (TRAGSA – TRAGSATEC (1.998).**



En la tabla 4, que aparece a continuación, se exponen los elementos que componen un movimiento en masa y la descripción de cada uno de ellos.

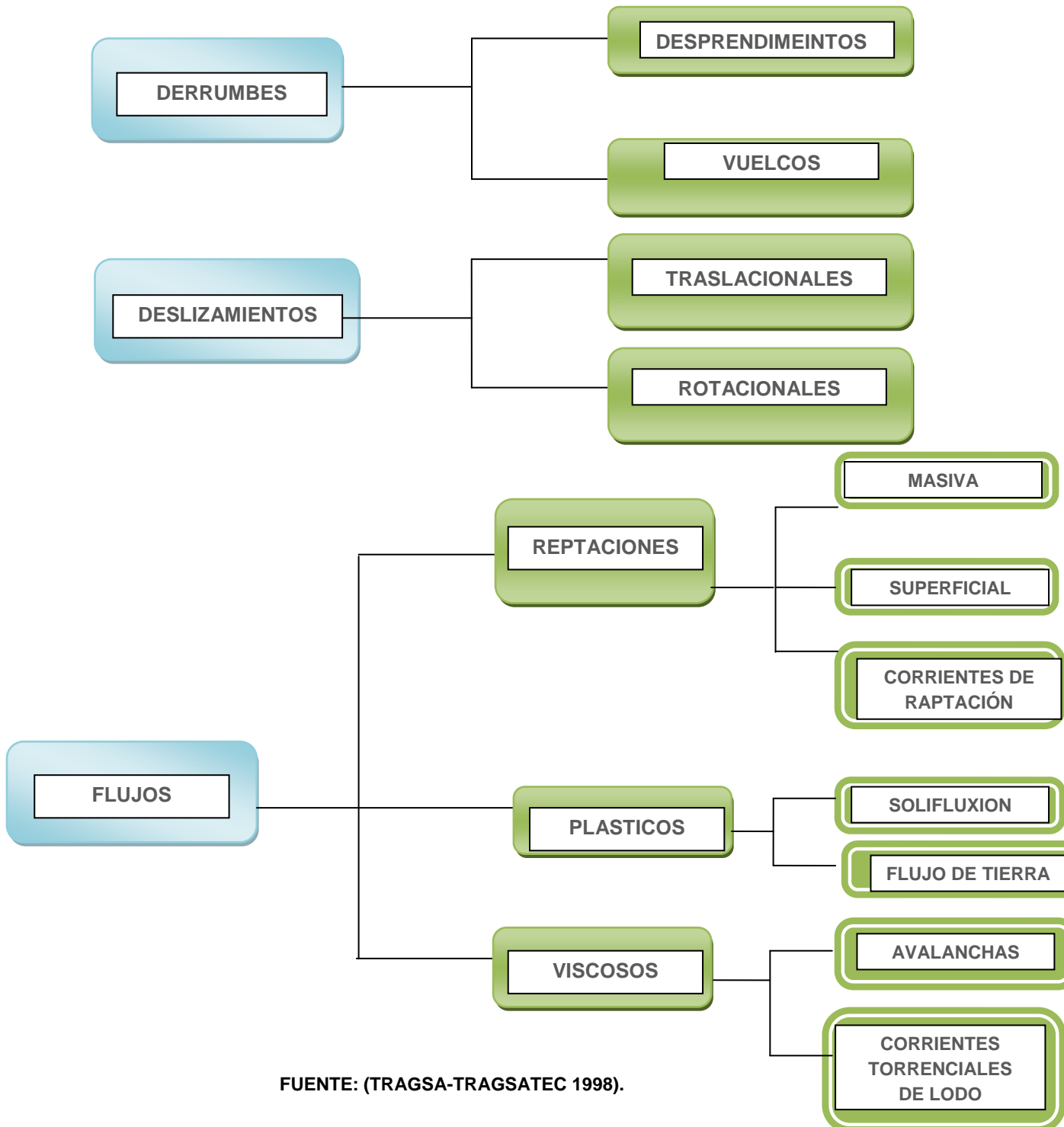
**TABLA 4. PARTES DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.**

| Número | Elemento                               | Descripción  |
|--------|--|--|
| 1      | Superficie de rotura                   | Superficie a través de la cual tiene lugar el movimiento   |
| 2      | Escarpe                                | Parte de la superficie de rotura que coincide con la superficie del terreno, constituyendo un resalte geomorfológico |
| 3      | Material desplazado                    | Masa de material movida hacia afuera de la ladera desde su posición original en la misma                             |
| 4      | Zona de deflación                      | Área dentro de la cual el material desplazado se encuentra por debajo de la superficie original del terreno          |
| 5      | Zona de acumulación                    | Área en la que el material desplazado se dispone por encima de la superficie original del terreno                    |
| 6      | Cabeza                                 | Parte superior del material desplazado   |
| 7      | Cuerpo principal                       | Porción del material desplazado apoyado sobre la superficie de rotura  |
| 8      | Pie                                    | Porción de material desplazado que se apoya sobre el terreno original  |
| 9      | Flancos                                | Límites laterales del desplazamiento   |
| 10     | Borde                                  | Límite del material desplazado que se apoya sobre el terreno original  |
| 11     | Punta                                  | Punto del Borde más alejado del Escarpe  |
| 12     | Coronación                             | Contacto entre el Material desplazado y el Escarpe   |
| 13     | Cabecera                               | Ladera no movilizada o escasamente movilizada, adyacente a la parte superior del Escarpe                             |
| 14     | Superficie original del terreno        | La existente antes del movimiento  |
| 15     | Superficie de separación               | La que limita el Material desplazado de la Superficie original   |
| 16     | Profundidad del movimiento             | Distancia entre la Superficie de rotura y la Superficie original, medida perpendicularmente                          |
| 17     | Longitud máxima del movimiento         | Distancia entre la Punta y la Cabecera, medida en el plano de la ladera  |
| 18     | Altura del movimiento                  | Distancia vertical entre la Cabecera y el pie de la Superficie de rotura, en una misma sección                       |
| 19     | Longitud horizontal                    | Distancia horizontal entre el pie de la Superficie de rotura y la Cabecera, medida en sección longitudinal           |
| 20     | Grietas transversales y radiales       | Aberturas del material desplazado, transversales o radiales a la dirección del desplazamiento                        |
| 21     | Crestas transversales y longitudinales | Abombamientos en la Superficie del terreno desplazado, por acumulación relativa del material movilizado              |

**FUENTE: TRAGSA-TRAGSATEC, (1998).**

En la figura 9, se sintetiza la clasificación de los movimientos en masa (derrumbes, deslizamientos y flujos).

FIGURA 9. CLASIFICACION DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA



FUENTE: (TRAGSA-TRAGSATEC 1998).



A continuación, se hace una breve descripción de las diferentes categorías de los movimientos en masa propuestas por Varnes (1.978), citado por Tragsa-Tragsatec, (1.998):

- **Derrumbes:** Se caracterizan por presentar discontinuidades sub-verticales bien desarrolladas -estratificación, esquistosidad, fracturación- y darse a velocidades altas; pueden ser de dos tipos: Desprendimientos y vuelcos.
- **Desprendimientos:** Estos movimientos, los describe Varnes (1.978), como *“caídas de masas de cualquier tamaño, provenientes de una pendiente muy escarpada o acantilado, a lo largo de una superficie sobre la cual poco o ningún desplazamiento cortante se lleva a cabo, y desciende principalmente a través del aire por caída libre, rebotando o rodando, siendo su velocidad de rápida a muy rápida”*.
- **Vuelcos:** Se presentan por descalce lateral y consisten en movimientos generados por *“fuerzas que producen un momento tensor alrededor de un punto de pivote, que se encuentra por debajo del centro de gravedad de la unidad; por la acción de la gravedad y fuerzas ejercidas por unidades adyacentes; o por fluidos en grietas; y, pueden o no culminar en caída o deslizamiento, dependiendo de la geometría de la masa en la falla y de la orientación y extensión de las discontinuidades”* (Tragsa Tragsatec, 1.998).

- **Deslizamientos:** Estos movimientos, se caracterizan por sus velocidades que van de lentas a rápidas; la masa desplazada siempre mantiene contacto con la superficie del terreno. Pueden ser de tipo rotacional y translacional, así:
  - **Rotacionales:** Se dan según (Varnes, 1.978), a lo largo de una superficie de rotura aproximadamente circular y cóncava, inexistente antes del desplazamiento. Ocurren principalmente en rocas blandas y suelos profundos, caso de suelos sedimentarios.
  - **Translacionales:** Se dan a lo largo de superficies de rotura planas o suavemente onduladas; se generan a favor de superficies preexistentes, al menos potencialmente. Si la superficie de rotura está constituida por la intersección de dos o más planos, se habla de un deslizamiento translacional de tipo cuña, en tanto que si éste es formado por un sólo plano, se tiene un deslizamiento translacional de tipo planar. Este tipo de deslizamientos ocurren principalmente sobre rocas y suelos someros, caso de la interfase coluvio -esquisto.
- **Flujos:** Se componen de rocas, tierra y agua bien mezcladas que fluyen pendiente debajo de la ladera; los flujos típicos, se originan en un pequeño cañón o quebrada de paredes abruptas, donde las laderas y el suelo, se

hallan cubiertos por material inestable sin consolidar. Según (Tragsa – Tragsatec, 1.998), existen tres tipos de flujos: Reptaciones, flujos plásticos y flujos viscosos, así:

- **Reptaciones:** Flujos lentos a muy lentos, sin superficie de rotura nítida y sin una deformación interna acusada; se pueden diferenciar tres tipos de reptaciones:
  - ✓ **Masivas:** Son movimientos profundos hacia el valle, de grandes laderas constituidas por formaciones geológicas amplias y profundas; son de muy difícil detección, permaneciendo durante décadas e incluso siglos.
  - ✓ **Superficiales:** Son movimientos de formaciones edáficas o de depósitos superficiales, cuyo límite en profundidad está marcado por un horizonte edáfico, la roca madre u otro horizonte más resistente. Su detección en ocasiones se facilita por la presencia de árboles encorvados con su parte cóncava mirando ladera arriba, así como por la morfología superficial o micro-relieve: pequeñas depresiones, protuberancias y ondulaciones. Ocurren, según (Tragsa-Tragsatec, 1.998), *“en pendientes empinadas y muy empinadas (55-80% y mayores), por el efecto combinado de la gravedad, agua del suelo y pisoteo del ganado, y afecta materiales homogéneos, poco plásticos, que yacen sobre sustratos arcillosos, plásticos.*

*En condiciones naturales el fenómeno poco marcado se caracteriza por unos rellenos transversales a la pendiente general del terreno, separados por pequeños taludes que no muestran ruptura entre los peldaños”; en este caso, reciben el nombre de ‘patas de vaca’.*

- ✓ **Corrientes de reptación:** Consisten en movimientos profundos delimitados por accidentes tecto-morfológicos subyacentes; la deformación plástica interna es mayor que en los anteriores tipos de reptación, presentando ahoyamientos cóncavos, receptáculos de agua, abultamientos y árboles encorvados.
  
- **Flujos plásticos:** El material acusa deformación interna intensa, sin alcanzar a producirse roturas dentro de la masa desplazada, aunque la superficie de deslizamiento es de rotura; alcanzan velocidades de lentas a moderadas.
  
- ✓ **Soliflucción:** Movimiento del suelo saturado en agua de fusión, produciéndose el movimiento aún a valores bajos de pendiente; la profundidad media del movimiento puede ser de 75 cm, y puede alcanzar velocidades hasta de 150 mm año.
  
- ✓ **Flujos de tierra:** movimiento de profundidad media, de suelos y coluvios saturados que se encauzan y adaptan a los cortes y hondonadas del

terreno; son flujos densos de velocidades moderadas que pueden transportar bloques de rocas y árboles.

- **Flujos viscosos:** Son movimientos de tierra en los cuales el material desplazado se encuentra sobresaturado y totalmente deformado; se desliza con el agua a grandes velocidades.

### 2.3.2 Movimiento en Masa en el Ámbito Internacional.

Los deslizamientos, según estudios realizados en España y referenciados por Ayala, (1.987, citado por Tragasa-Tragsatec, 1.998), constituyen la tercera causa más relevante de pérdidas económicas asociadas a fenómenos naturales, después de las inundaciones y la erosión hídrica. En Sudamérica, la situación es similar, pues según estadísticas de la Organización de los Estados Americanos (OEA, 1.993), los derrumbes están clasificados dentro de los cinco fenómenos naturales de mayor impacto destructivo, que generan mayores pérdidas de tipo económico y humano.

Prueba de ello, son las 6.084 víctimas humanas cobradas por movimientos masales, referenciadas por (Abe y Zeimer, 1.991), entre las décadas 1.960 – 1.990, y los 4.117 damnificados y los aproximadamente 7 millones de dólares en pérdidas económicas, reportados por la (OEA), 1.994. En 1.982, un aguacero intenso ( $127 \text{ mm.h}^{-1}$ ), ocurrido en Nagasaki (Japón), activó 4.300 derrumbes, que

causaron la muerte de 299 personas y destruyeron 2.200 casas (Abe y Ziemer, 1991b).

A estos movimientos, no se les ha otorgado la atención suficiente en los estudios relacionados con la erosión de los suelos, a pesar de que son factores relevantes dentro de los procesos de erosión, especialmente en los trópicos en los que bajo ciertas condiciones climáticas, éstos se asumen como precursores de otros procesos erosivos, considerando que los agentes erosivos se benefician de aquellas superficies de alta susceptibilidad a su intervención.

A continuación, se presenta una síntesis de los factores que tienen lugar en los movimientos en masa, en donde se separan entre otros la erosión y el transporte; los esfuerzos tectónicos y el agua. La descripción de cada uno de ellos, las formas de acción y características asociadas, se pueden observar en la tabla 5:

**TABLA 5. SÍNTESIS DE MOVIMIENTOS EN MASA Y SUS AGENTES**

| AGENTE               | PROCESO QUE PONE EL AGENTE EN ACCIÓN | MEDIO POR EL CUAL ACTUA EL AGENTE               | MATERIALES MAS SENCIBLES A LA ACCION DEL AGENTE             | NATURALEZA FISICA A LA ACCIÓN DEL AGENTE  | EFFECTOS SOBRE LA ESTABILIDAD                                    |
|----------------------|--------------------------------------|---|---|---|--|
| Erosión y transporte | Procesos constructivos o erosiones.  | 1-Aumenta la altura o inclinación del talud     | Todos los materiales. Arcillas rígidas o fisuradas. Lutitas | Cambios en el estado de esfuerzo.<br><br>Cambios en el estado de esfuerzo y abertura de fisura. | Aumento de los esfuerzos cortantes. Se desencadena el proceso 8. |
| Esfuerzos tectónicos | Movimientos tectónicos.              | 2-Deformaciones grandes de la corteza terrestre | Todos los materiales.                                       | Aumento en el ángulo del talud.   | Aumento de los esfuerzos cortantes.                              |

|  |   |   |   |  |  |
|--|---|---|---|--|--|
| Esfuerzos tectónicos o uso de explosivos | Temblores o explotación con explosivos                    | 3-Vibraciones con alta frecuencia.  | Todos los materiales. Arenas ligeramente segmentadas y gravas. Arenas finas y medias, sueltas y saturadas                                     | Cambios de esfuerzos transitorios. Alteración de los nexos interparticulares. Reacomodación de granos. Apertura de fisuras cerradas y aparición de nuevas fisuras. | Aumento de los esfuerzos cortantes. Disminución de la cohesión y aumento de los esfuerzos cortantes. Licuefacción. |
| Poros del material que forma el talud    | Construcción del taud.                                    | 4-Deslizamiento superficial.<br><br>5. Disminución en los estratos libres al pie del talud.   | Arcillas duras o fisuradas. Lutitas. Remanentes de viejos deslizamientos. Materiales duros sobre estratos blandos.                            | Apertura de fisuras cerradas y producción de nuevas fisuras  | Disminución de la cohesión se acelera el proceso 8.  |
| Agua                                     | Lluvia o fusión de nieve.<br><br>Congelación del terreno. | 6-desplazamiento de aire en los vacíos.<br><br>7-Desplazamiento de aire en la juntas abiertas<br><br>8-Reducción de presiones capilares asociada con expansión.<br><br>9-Descomposición<br><br>10-Expansión del agua por congelación. | Arena húmeda<br><br>Roca junteada. Lutitas. Arcillas duras y fisuradas, alguna lutitas.<br><br>Cualquier roca. Química.<br><br>Roca junteada. | Aumento de presión de poro por el agua.<br><br>Expansión.<br><br>Debilitamiento de los nexos interparticulares.<br><br>Apertura de fisuras cerradas y aparición de | Disminución de la resistencia.<br><br>Disminución de la cohesión.<br><br>Disminución de la                         |

|  |   |  |   |  |  |
|--|---|--|---|--|--|
|  |   | 11.Formación de lentes de hielo en el ruedo.                           | Limos y arenas limosas.   | nueva fisuras.<br>Aumento en el contenido de agua en el suelo congelado. | cohesión.<br><br>Disminución de la resistencia por fricción. |
|  | Periodo de sequia.                                    | 12-Contracción.  | Arcilla.  | Agrietamiento por contracción.   | Disminución de la cohesión.                                  |
|  | Vacio rápido.   | 13-Flujo hacia el pie del talud.                                       | Limos y arenas finas.   | Aumento de presión de poro en el agua.                                   | Disminución de la resistencia por fricción.                  |
|  | Flutuaciones en la elevación del nivel freático.      | 14- Reacomodo de granos.   | Arena media a fina, sueltas a saturadas.                        | Aumento de presión de poro en el agua.                                   | Licuaación.  |
|  | Ascenso en el nivel freático en un acuífero distante. | 15-Elevación del nivel piezométrico en el material que forma el talud. | Estratos de arena o limo entre o debajo de estratos de arcilla. | Aumento de presión de poro en el agua.                                   | Disminución de la resistencia por fricción.                  |
|  | Flujo interno de aguas.                               | 16-Flujo hacia el talud.   | Limo saturado.  | Aumento de presión de poro en el agua.                                   | Disminución de la resistencia por fricción.                  |
|  |   | 17-Desplazamiento de aire en los vacios.                               | Arena fina humeda   | Disposicion de la tensión superficial.                                   | Disminución de la cohesión.                                  |
|  |   | 18- Remoción de cementantes solubles.                                  | Loess   | Debilitamiento de los nexos interparticulares                            |  |
|  |   | 19-Erosión interna.  | Limo o arena fina   | Tubificación.  | Aumento de los esfuerzos cortantes.                          |

FUENTE: SUÁREZ (1.987).

De igual manera, en el contexto de los procesos erosivos, Morgan, (1.986), afirma que *“las masas de suelo desplazadas pierden usualmente la cubierta vegetal protectora así como su carácter cohesivo como masa unitaria, viéndose alteradas las condiciones que le permiten al suelo contrarrestar el impacto derivado de la energía cinética de las gotas de lluvia que alcanzan su superficie, y aquellas que*

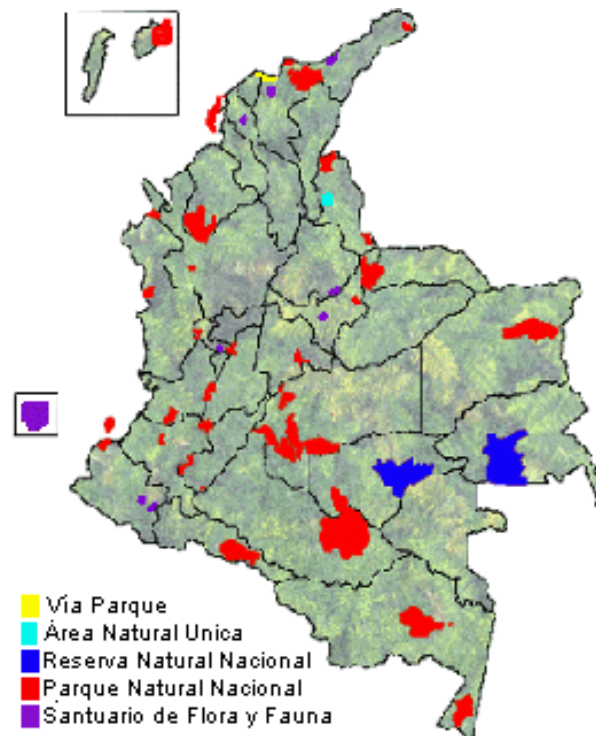


*favorecen el proceso de infiltración; de esta forma alcanzan plena expresión la separación-disgregación de partículas y el escurrimiento superficial, este último variable en función de las condiciones micro y macro topográficas”.*

### 2.3.3 Movimientos Masales en Colombia

Los suelos de los Andes en Colombianos, según el Ministerio del Medio Ambiente, “*son jóvenes y de morfología empinada; están asociados a rocas blandas, alteradas por un intenso ambiente tectónico y sometido a un clima de contrastes fuertes de temperatura y precipitación; por lo tanto, estos suelos andinos tropicales, son suelos altamente inestables”.* En la figura 10, se aprecian las áreas protegidas, así

FIGURA 10. ÁREAS PROTEGIDAS EN COLOMBIA (<http://weminambiente.gov.co>).



En Colombia entonces, predominan las rocas con alteración tectónica fuerte, rocas que son materiales intermedios entre suelo y roca, que están expuestas a agentes bioclimáticos intensos.

Razón por la cual, aparecen altamente fracturadas y descompuestas; sus macizos rocosos, también son de alta susceptibilidad a los factores detonantes de deslizamientos y fallas similares del medio eco sistémico, como son las lluvias y los sismos, especialmente en las laderas de fuerte pendiente donde según (Suárez, 1.992), *“se han intensificado los procesos de modelado y la deforestación, además de las actividades urbanas. Para la zona andina en el Oriente de Colombia predominan coluviones espesos y en el Occidente suelos residuales y volcánicos y está afectado por tectonismo y sismos”*.

Por otra parte, los suelos transportados son característicos de las zonas de altas latitudes, donde las discontinuidades por ser horizontales también son predecibles, en contraste con el ambiente andino tropical en el que los suelos residuales son predominantes y presentan discontinuidades y buzamientos impredecibles.

En cuanto a los espesores de las alteritas, afirma (Suárez, 1.992), que éstos *“son mayores en las zonas tropicales (vegetación y clima), como la cordillera Oriental de naturaleza sedimentaria. Los saprolitos son típicos de la zona andina (roca cristalina), como las zonas de batolitos a lo largo de la cordillera Central y Antioquia. Los andosoles se desarrollan en lugares con cenizas volcánicas donde*

*predomina la haloisitas y las alófanos (Cauca, Nariño y Eje Cafetero). Las lateritas son suelos típicos del Cauca y de los Llanos Orientales”.*

En lo que respecta a la precipitación, ésta es predominante en el departamento del chocó y en el margen llanero siendo moderada en la región cafetera y baja en las zonas de desierto como la Guagira, Alto Magdalena y Villa de LeivaLa precipitación es alta en el Chocó y el margen llanero, moderada en la zona cafetera y baja en las zonas desérticas de Colombia (Guajira, Alto Magdalena, Villa de Leiva).

La zona andina colombiana, presenta según (Suárez 1.992) muchas fallas activas, que se evidencian en las laderas inestables, como zonas con intenso fracturamiento donde los materiales presentan trituración y brechamiento. El Occidente por su lado, está afectado por las fallas de Romeral y Palestina (rumbo) y el Oriente por el sistema de las fallas frontales de los Llanos (inversa). Ambas son de alto riesgo sísmico.

La falla geológica condiciona el drenaje interno y tras todo ello se presenta una cronoestratigrafía en repetidas ocasiones desfavorable puesto que en los estratos de diferentes edades se presentan contrastes de permeabilidad, zonas débiles, etc.

En síntesis, presume Suárez, (1.992), que *“si se integran en una zona cualquiera de Colombia, aunque sea a nivel regional, un mapa geológico, un mapa tectónico*

*y un cuadro de movimientos masales clasificados, se pueden inferir algunos factores de inestabilidad (inherentes, detonantes, etc.). Si se superponen mapas de relieve y sobre-fracturamiento, se obtienen zonas más o menos propensas a deslizamientos”.*

Al respecto, Duque, (2.010), afirma que en Colombia las áreas de influencia del sistema Romeral y de las fallas del margen llanero, se pondrían en evidencia como zonas altamente inestables, varias provincias con amenaza alta de deslizamientos así: Entre la falla Romeral y el Cauca, con rocas metamórficas, rocas con cataclasis y arcillas alófanas remodeladas.

- **La Cordillera Oriental:** Con suelos espesos (alteritas) sobre lutitas que son químicamente alterables.
  
- **El Margen Llanero:** Muy afectado por el ambiente tectónico y la naturaleza sedimentaria de los suelos; zonas con flujos potentes alterados, como la Estampilla (Manizales), donde se encuentran depósitos fluvio-torrenciales alterados y en procesos de movimientos masales; zonas de coluviones, como los de Quebrada Blanca en la vía al Llano; y, Sapolitos, en zonas de debilidad tectónica.

### **2.3.4 Amenazas Naturales en el Departamento de Caldas**

En el Departamento de Caldas, confluyen amenazas naturales con diferentes características, magnitud e impactos sobre la población, las obras de infraestructura y el medio ambiente. Dichas amenazas, según las referencias consignadas en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT, 2010), son las que se exponen a continuación:

#### **2.3.4.1 Terremotos**

La corteza terrestre se divide en placas que se mueven en direcciones diferentes y chocan entre sí. *“En Colombia, se produce el encuentro de dos grandes placas, la de Nazca que se desplaza de occidente a oriente y de la Suramérica que se mueve en sentido contrario. El choque de las placas, lento pero continuo desde hace millones de años, provoca fuertes deformaciones en las rocas del interior de la tierra, las cuales, al romperse súbitamente, liberan la energía acumulada en forma de ondas que sacuden la superficie terrestre”* (Gómez, 2.007).

Por consiguiente, los sismos son movimientos de la superficie terrestre originados por la liberación súbita de energía acumulada en una región del interior de ésta. Los terremotos constituyen una seria amenaza debido a su imposibilidad de predicción e irregularidad en frecuencia. Los riesgos derivados de los terremotos se relacionan con:

- **Pérdida de vidas humanas:** El colapso de edificaciones, conlleva pérdidas de vidas humanas en zonas con alta densidad de población.
- **Destrucción de la infraestructura:** El temblor, es una amenaza directa para cualquier obra de infraestructura ubicada cerca al epicentro (edificaciones, carreteras, puentes, presas, acueducto, alcantarillado, redes de transmisión).
- **Incendios:** Algunas veces pueden ser más graves que el mismo terremoto. Se originan cuando durante el sismo se presentan cortocircuitos, escapes de gas, caída de instalaciones eléctricas o contacto de combustibles con artefactos eléctricos.
- **Deslizamientos:** Algunos deslizamientos ocurren por sismos en zonas de topografía empinada y escasa estabilidad.
- **Licuación del suelo:** Se produce en suelos arenosos, sueltos y poco compactos. El suelo pierde completamente su consistencia y modifica sus características temporalmente.
- **Inundaciones:** Según el (P.O.T), 2.011, a causa del terremoto se rompen presas o embalses; también se pueden generar deslizamientos de tierra sobre ríos y quebradas, provocando inundaciones.

### 2.3.4.2 Volcanes

Estos fenómenos, consisten en conductos a manera de grietas o aberturas en la corteza terrestre mediante los cuales, emergen a la superficie rocas fundidas y gases. Las erupciones, constituyen la mayor amenaza de tipo volcánico. Las dos partes fundamentales de un volcán, son: *“La cámara magmática, localizada a gran profundidad y comunicada con la superficie por la chimenea y el cráter que es el orificio de salida. La acumulación de los materiales arrojados por el mismo volcán forma el cono volcánico, aunque pueden existir otros cráteres secundarios o adventicios”* (Gómez, 2.007). Cuando un volcán hace erupción, pueden producirse varios eventos, a saber:

- **Lluvia de piroclastos:** La erupción volcánica arroja por el aire, en forma explosiva o por medio de una columna de gases, pedazos de lava o roca que de acuerdo con su tamaño pueden considerarse como cenizas, arenas, bloques o bombas. Estos pedazos se llaman PIROCLASTOS y pueden ser incandescentes.
- **Flujos piroclásticos:** Algunas erupciones explosivas, producen chorros de gas cargados de cenizas que se desplazan a altas velocidades, formando nubes ardientes.
- **Avalanchas o flujos de lodo y rocas:** La salida de materiales calientes y los temblores de tierra ocurrida en volcanes - nevados, hacen que parte de la nieve y

el hielo se derritan y bajen a lo largo de cañadas, quebradas y ríos que nacen de ellos.

- **Otros:** Gases, temblores y tormentas eléctricas (POT, Manizales), 2.010.

#### **2.3.4.3 Deslizamientos**

Corresponden a movimientos de masas de suelo o roca sobre superficies de desplazamiento, ocupando áreas relativamente pequeñas que se ven favorecidas por la acción de la fuerza de gravedad, presencia del agua, pendiente fuerte, movimientos sísmicos y sobrecargas. Incluyen las caídas de rocas, derrumbes, flujos y avalanchas.

Los deslizamientos son peligrosos debido a la frecuencia con que se presentan, en especial, durante temporadas de lluvias intensas. Su impacto depende de la naturaleza del deslizamiento (Gómez, 2.007).

#### **2.3.4.4 Inundaciones**

Son provocadas por el desbordamiento de ríos y quebradas, al ser superada la capacidad de conducción de los canales cuando circula gran cantidad de agua. Su ocurrencia es irregular y afecta principalmente a los pobladores de las planicies de



inundación. En la tabla 6, se resumen las amenazas naturales más relevantes en el departamento de Caldas:

**TABLA 6. AMENAZAS NATURALES MÁS IMPORTANTES EN CALDAS.**

| <b>TIPO DE FENOMENO</b>   | <b>EVENTO FISICO</b>   |
|---|--|
| <i>EROSIÓN SUPERFICIAL Y MOVIMIENTOS EN MASA: Por topografía abrupta, condiciones climáticas y complejidad geológico – geotécnica</i> | Erosión superficial<br>Movimientos lentos<br>Deslizamientos<br>Flujos y avalanchas   |
| <i>HIDROLOGICOS: Por elevada densidad de cauces y torrentes</i>   | Inundaciones y avalanchas<br>Erosión y sedimentación<br>Desbordamiento de ríos   |
| <i>SISMICOS: Por presencia de zonas de falla</i>  | Fallas<br>Temblores  |
| <i>VOLCANICOS: Por presencia de volcanes</i>  | Caída de piroclastos y gases<br>Flujos de lava y piroclásticos<br>Flujos de lodos y escombros<br>Proyectiles y explosiones laterales |
| <i>INCENDIOS: Por susceptibilidad de la vegetación durante veranos intensos</i>   | Bosques<br>Pastizales<br>Cultivos  |

**FUENTE: PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. (2.011).**

En síntesis, en el Departamento de Caldas, se presenta alta susceptibilidad a la ocurrencia de diversas amenazas naturales, que afectan considerablemente las comunidades asentadas en zonas de riesgo, las edificaciones, las obras de infraestructura y los recursos naturales renovables (agua, suelo, flora y fauna). En la tabla adjunta se señalan los fenómenos que pueden presentarse en las cuencas urbanas y rurales del departamento. En la tabla 6, se presentan las amenazas más importantes en el departamento de Caldas.

### **2.3.5 Amenazas Naturales en el Municipio de Manizales**

Según el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Manizales (2.011), las amenazas naturales y antrópica a las que se encuentra expuesta la ciudad de Manizales son: Deslizamientos, inundaciones, incendios, sismos y erupciones volcánicas.

#### **2.3.5.1 Amenaza preliminar por Inundación**

En la ciudad de Manizales, “se diferencian dos sistemas principales de drenajes, cuya divisoria de aguas es la avenida Santander, al Norte las quebrada Olivares - Minitas y al Sur el Río Chinchiná y la quebrada Manizales. En la determinación de las zonas de amenaza se tuvo en cuenta las siguientes temáticas: Formaciones Superficiales (depósitos aluviales y flujos de escombros), morfometría del terreno y antecedentes del fenómeno” (IGAC, 1.987).

Es de anotar, que la amenaza por inundación, está directamente ligada al volumen de agua y sedimentos que transportan los ríos, variando notablemente en espacio y tiempo.

En ocasiones, con los excesos de precipitación, los canales de escorrentía no bastan para transportar el volumen de agua y los sedimentos que el río transporta

y, estos, corren sobre las superficies adyacentes a los cauces permanentes; estas superficies son llamadas llanuras aluviales de inundación, las cuales son la prueba que dicho fenómeno ha ocurrido tiempo atrás. El casco urbano de Manizales está localizado en una zona de interfluvios, que la hace susceptible a este tipo de fenómenos naturales.

### **2.3.5.2 Amenaza preliminar por incendio**

Dada la escasez de información en el Municipio para determinar este tipo de amenaza (sistemas de cocción, estado de las redes eléctricas, capacidad calorífica de los materiales empleados para la construcción, entre otros), en el presente trabajo se utilizó como único insumo el Inventario de Tipologías Constructivas realizados por la Oficina Municipal para la Atención y Prevención de desastres -OMPAD-, dada la relación que poseen estas con la capacidad calorífica de los materiales, obteniéndose así las diferentes clases de amenaza de acuerdo con la Tabla Grados de Amenaza por tipologías de construcción. Igualmente, se tiene en cuenta un radio de influencia de 50 m de las estaciones de servicio, en caso de incendio.

### **2.3.5.3 Amenaza sísmica y volcánica**

Manizales, cuenta con estudios avanzados de amenaza sísmica, y puede ser afectada por productos volcánicos que están bien definidos en el mapa de amenaza del volcán Nevado del Ruiz.

Debido a que la amenaza sísmica no es restrictiva sino prescriptiva (uso para normativa sismo resistente), el POT (2.011), no define usos del suelo con base en este tipo de amenaza. Igualmente, no se incluyen restricciones por el tipo de productos volcánicos factibles, que básicamente son cenizas.

### **2.3.5.4. Amenaza preliminar por deslizamientos**

En el POT (2.010), para determinar las zonas de amenaza alta, moderada y baja se realizó el cruce de los mapas temáticos de formaciones superficiales, morfométrico y de procesos erosivos, teniendo en cuenta los procesos erosivos actuales y su área de influencia, los procesos antiguos y los antecedentes de las zonas, la cobertura actual del suelo que juega un papel muy importante en la determinación de esta amenaza, los cuales están correlacionados en la tabla 7, “Parámetros para la Determinación de Amenaza por deslizamiento para la Ciudad de Manizales”.

Cabe relevar, que específicamente para algunas formaciones superficiales, se posee información geotécnica (ángulo de corte y cohesión) indispensable para la determinación de los diferentes grados de amenaza.

La información incluida en la Tabla 8, "Parámetros Geotécnicos de Formaciones Superficiales", evidencia que los llenos poseen datos de cohesión bajos (1-2) que inducen a la inestabilidad de los terrenos, mientras que la formación Casabianca, presenta cohesiones altas (8-10) favoreciendo la estabilidad de los terrenos siempre y cuando las condiciones topográficas sean favorables (Pendientes entre  $0^{\circ}$  y  $15^{\circ}$ ).

**TABLA 7. PARÁMETROS PARA LA DETERMINACIÓN DE AMENAZAS POR DESLIZAMIENTO**

| FORMACIONES SUPERFICIALES   | PROCESOS EROSIVOS   | PENDIENTES    | COBERTURA   | AGENTES DETONANTES  | GRADOS DE AMENAZA |
|---|---|---------------|---|---|-------------------|
| Depósitos de Caída Piroclástica.<br><br>Formación Casabianca.<br><br>Formación Manizales.<br><br>Formación Quebradagrande | Deslizamientos Activos<br><br>Cárcavas<br><br>Reptación                   | Mayores a 25° | Cultivos  | Saturación del Terreno por lluvias<br><br>Uso inadecuado del Suelo<br><br>Angulo de la pendiente<br><br>Mal manejo de escorrentía | ALTA              |
| (Suelo Residual y Capas de la Roca a favor de la pendiente)<br><br>Depósitos Coluviales                                   | Deslizamientos durmientes y estables<br><br>Surcos<br><br>Erosión Laminar | 15° - 25°     | Asentamientos Subnormales   | Sismos<br><br>Daños en Acueducto y Alcantarillado   | MODERADA          |
| Depósitos Aluviales<br><br>Material de Lleno  | Erosión Laminar<br><br>Patas de Ganado                                    | 0° - 15°      | Pastos, Bosques Secundario, Plantado y Rastrojo<br><br>Obras de Estabilidad |   | BAJA              |

FUENTE: PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT, 2.011). MANIZALES.

**TABLA 8. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE FORMACIONES SUPERFICIALES**

| <b>FORMACIONES SUPERFICIALES</b> | <b>ANGULO DE CORTE</b> | <b>COHESIÓN</b> |
|----------------------------------|------------------------|-----------------|
| LLENOS                           | 30°                    | 1 - 2           |
| CENIZAS                          | 26° - 30°              | 4 - 8           |
| FORMACIÓN CASABIANCA             | 25° - 27°              | 8 - 10          |

**FUENTE: PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT, 2.011). MANIZALES**

En este aspecto, algunas inspecciones de campo en el municipio de Manizales, permitieron identificar viviendas afectadas que cobijaron los estratos del 1 al 6 con grados distintos de severidad. En todos los casos se pudo constatar que las construcciones fueron ubicadas sobre laderas altamente expuestas a procesos erosivos y de movimientos masales o con uso inadecuado del suelo. En varios sectores de la ciudad se observó sobre-pastoreo en las partes altas de las laderas y tratamiento inadecuado de las aguas de escorrentía y entregas al sistema de alcantarillado: barrios Sierra Bonita, Altos de la Alhambra, Minitas, Galán, Solferino, entre otras. P.O.T, (2.011).

En general, se aprecia que la erosión y un régimen pluviométrico inusual inestabilizaron laderas y generaron flujos que afectaron viviendas, vías, líneas vitales y modificaron cauces en varias cuencas hidrográficas que recorren y limitan la ciudad.

Una de las cuencas más afectadas en la ciudad de Manizales, es la de la Quebrada El Perro, (ya referenciada), cuyos flujos afectaron zonas altamente expuestas por estar a lo largo de la trayectoria de flujos e inundaciones, entre ellas el sector donde está actualmente el Centro de Convenciones “Expo – ferias, donde se registró la acumulación de sedimentos y escombros que taponaron por completo la vía, comprometiendo la estabilidad de un relleno y Box Couvert que por su diseño inadecuado impedía el paso normal de las aguas de la quebrada.

En la parte alta de esta cuenca, también se observaron afectaciones severas por deslizamientos que bloquearon y en algunos puntos dejaron completamente sin banca las vías. Adicionalmente se pudo observar que la tubería de acueducto fue comprometida y afectada por procesos severos de erosión concentrada en cárcavas, las cuales amenazan con comprometer su estabilidad, y la de las edificaciones de propiedad horizontal y vecinas del Cerro de Oro.

Al respecto, Cabrera (2.011), afirma que los costos de mantenimiento son muy altos y debe pensarse en un nuevo trazado, como lo recomendó un estudio que se hizo hace algunos años.

*"Ante todo deben existir normas de prevención y protección de las laderas, evitando la desprotección de la capa vegetal, de un lado y de otro, y su intervención mediante cortes en los taludes porque desestabilizan la misma. No es recomendable la construcción de viviendas a una distancia menor al doble de la*



*altura de la pendiente e igualmente el establecimiento de cultivos limpios en pendientes mayores del 35%" (Cabrera, 2.011).*

De paso, recomendaría que las laderas de la cuenca de la quebrada El Perro no sean intervenidas, sino que debe cambiarse el uso del suelo, inclusive con el no establecimiento de cultivos y el pastoreo. "No debieron canalizar la quebrada, pues a la naturaleza solo se la respeta obedeciéndola"(Cabrera, 2.011).

Por su lado, Sánchez (2.011), indicó *"que los problemas se deben al agua y su mal manejo, pues los ingenieros atacan el efecto y no la causa de los movimientos en masa. Además, agregó que la culpa no es de la ganadería ni de los cultivos. Las obras que hacen no son controladas"*.

Así mismo, según Sánchez (2.011), "en Sabinas, se hicieron dos tratamientos con falsa bioingeniería: uno con un producto llamado meseta, que es un sintético con semillas que germinan y se cayó. Posteriormente, unos trinchos con canales en concreto, que tampoco fueron útiles. Hace cuatro o cinco meses, los que ampliaban la vía hacia Letras realizaron cortes sobre la ladera y estos son los que se mueven actualmente".

De acuerdo a los eventos ocurridos en los dos últimos años, es importante realizar una planificación integral del uso, manejo y conservación del suelo de la cuenca hidrográfica de la quebrada el Perro, por ser un sector potencial de desastres por movimientos masales debido un manejo inadecuado del suelo y por un manejo optimizado de las obras civiles en construcción para la estabilización de la ladera.

## 2.4 BIOINGENIERÍA

La degradación de los recursos suelo y agua, y la contaminación ambiental, han sido considerados como los problemas más relevantes en las zonas tropicales. Grandes extensiones de tierra están expuestas a procesos degradativos como la erosión acelerada, la disminución de la biodiversidad genética y al agotamiento de la fertilidad natural del suelo entre otros.

En las Cordilleras Andinas Colombianas por ejemplo, la lluvia (Erosividad), es el agente activo natural principal de la erosión y movimientos masales, debido a la duración, frecuencia y a la energía cinética de los aguaceros por su intensidad alta (mayor de 75 mm /h). La erosión y los movimientos masales se ven favorecidos, 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 susceptibles a la erosión (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Federacafé, 1975).

Las altas pérdidas de productividad de los suelos por procesos degradativos como la erosión por el agua, han incidido para que investigadores de diversas naciones centren su atención en los estudios de aguas y suelos para *“cuantificarlas y predecir la erosión tolerable bajo determinadas condiciones (lluvia, suelos, pendiente, cultivos), con el fin de facilitar la selección de prácticas integrales de conservación (prácticas agronómicas, obras civiles, construcciones, conducción de aguas de escorrentía entre otras), para diferentes usos del suelo y su protección, a los niveles de finca y cuenca hidrográfica”*. Rivera, (2.006).

Sin embargo, muchos profesionales y entidades del Estado desconocedores del tema, han sido inoperantes en la toma de medidas preventivas y de control oportunas, permitiendo el avance acelerado de estos procesos degradativos, y con ello la pérdida de los recursos suelo, agua, vegetación, biodiversidad genética e infraestructura.

Este desconocimiento, permite hacer propuestas de control mediante obras civiles de concreto demasiado costosas e inalcanzables por los afectados.

Lo anterior, explica según Castaño y Rivera (2.006), por qué se requiere una nueva forma de ver las cosas en nuestros suelos tropicales, con relación a la restauración ecológica y los procesos de recuperación de los suelos con erosión severa. Esta nueva visión, es el resultado de experiencias generadas a partir de la exploración de otros modelos, conservando los principios eco-sistémicos subyacentes en la bioingeniería, y se fundamentan en los elementos disponibles en diferentes entornos, tratando de minimizar el posible impacto de la intervención antrópica, pero conservando el paisaje en lugar de transformarlo.

La diferencia entonces, radica en que la bioingeniería potencializa los recursos propios de la región (guadua, estacas, semillas, rizomas de plantas nativas) en tanto que las obras civiles invierten gran cantidad del presupuesto en piedras, gaviones y concreto. Es por esto, y también por el mínimo impacto que tiene en el paisaje, que la bioingeniería está ganando espacio y gran fuerza como alternativa ideal en la restauración de áreas degradadas.

En consecuencia, la bio-ingeniería según Castaño y Rivera, 2.006, se puede definir: “Como una rama de la ingeniería que está en expansión, debido al éxito logrado en situaciones en las cuales la ingeniería civil con sus metodos tradicionales ha fracasado.

Desde esta visión integral de la bio-ingeniería, la realidad se asume, desde el concepto de sistema, en el cual, la naturaleza cumple el papel primordial y fundamental en sus propios procesos de recuperación; es decir, que donde se evidencia un problema ambiental, existe también una solución.

Uno de los principios básicos de la bio-ingeniería, es minimizar la perturbación paisajística en el entorno natural tratando de que éste conserve, más o menos su estado original. Los tratamientos con base en ésta ciencia, cuidan el paisaje natural, usa elementos del entorno, y, potencializa la recuperación de la naturaleza usando su lógica en los procesos de recuperación, esa es la diferencia con las obras tradicionales de la ingeniería civil, que en principio contrastan con el paisaje.

Por tanto, los tratamientos de bioingeniería, se refieren al control de erosión, protección y estabilización de taludes, y problemas de movimientos masales (deslizamientos), mediante la construcción de estructuras totalmente vivas, usando diferentes partes de las plantas, tales como: raíces fustes y ramas 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. Estas estructuras, se convierten en refuerzo, drenaje hidráulico y barreras para contener la erosión y los movimientos masales” (Rivera, 2006).

**2.4.1 Clasificación de los tratamientos de bio-ingeniería:** En general, los tratamientos de bio-ingeniería, se clasifican en los expuestos por Castaño y Rivera (2006), los cuales se transcriben a continuación:

**2.4.1.1 Estructuras de contención y disipación de energía potencial del suelo y cinética del agua:** En este aspecto, se destacan los siguientes tratamientos:

- **Disipadores simples de energía:** Se utilizan para disipar la energía cinética de corrientes de agua superficiales, en sitios donde se ha dado el fenómeno de cárcavas remontantes. Se pueden construir con material vegetal nativo (guadua verde, estacas de nacedero, o arboloco.).
- **Trinchos vivos:** Son estructuras con base en guadua (*Angustifolia Kunt*) los cuales de acuerdo a la fórmula de Anaya, (1977) se emplean para reducir la inestabilidad del terreno que ha sido afectado por los procesos erosivos.

- **Terrazas de estabilización:** es un conjunto de estructuras en las cuales se intercalan trinchos más estacas de plantas nativas y tierra, que tiene como objetivo estabilizar el terreno en zonas aledañas a vías o carreteras.
- **Ventanas de evacuación:** Son estructuras que se construyen en las vías con fuertes pendientes cada 10 metros aproximadamente, para evacuar las aguas lluvias y así evitar grandes caudales que impactan en zonas bajas.

**2.4.1.2 Estructuras para la evacuación de aguas:** Los tratamientos más utilizados, son básicamente los que se exponen a continuación:

- **Filtros vivos:** son estructuras que sirven para extraer el agua en terrenos que presentan saturaciones bien sea superficiales o sub-superficiales, las cuales son generalmente responsables de la inestabilidad de las laderas y factor desencadenante de las remociones en masa. Se construyen con material vegetal vivo.
- **Filtros muertos:** Especialmente útiles para drenar vías. Se construyen con material vegetal y piedra. Sirven para mantener drenada el agua en las vías en las partes en donde se suele acumular formando saturaciones e inestabilidad de los taludes.

**2.4.1.3 Revegetalización de las áreas degradadas:** En general, todo tratamiento bioingenieril, debe ir acompañado por la revegetalización a través de siembra

masiva de estacas de árboles nativos cuya función es brindar estabilidad adicional a través del sistema radical, en tanto sirven para proteger los taludes a través de coberturas nobles, que minimizan el golpe de las gotas de agua contra el suelo. Cabe relevar, el cuidado especial cuando se seleccione el material, teniendo en cuenta que responda a la dinámica de la localidad, es decir se debe hacer con plantas nativas que se adecuan a las características del terreno, y en especial pioneras, para que se dé una adecuada sucesión vegetal.

## **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 la micro-cuenca El Perro del municipio de Manizales.

#### **3.2 Unidad de trabajo**

La unidad de trabajo, está constituida por diferentes áreas que conforman la cuenca hidrográfica El Perro, entre ellas: La vía que conduce al Cerro de Oro, sobre la carrera 23, la zona que del batallón conduce hacia el barrio La Enea; incluye los conjuntos residenciales Rincón del Trébol y Los Guadales, Coliseo de Ferias y la ladera NW de la Quebrada El Bosque, (Barrio Chachafruto), parte alta de la micro cuenca, sector la Esmeralda, la curva del Mico y en Drive Cerritos, el recorrido de la carrera 23 hasta la planta de tratamiento de aguas de Manizales y vereda Buenavista.



### **3.3 Tipo de investigación:**

La presente investigación, es de tipo cuantitativo y de carácter explicativo, en tanto se orienta al diagnóstico y evaluación de la Relación Causa – Efecto de los procesos degradativos de la Micro-cuenca El Perro

### **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 desarrolló el trabajo de campo, mediante recorridos y visitas a los lugares de interés, necesarias para el inventario y diagnóstico integral y sistémico, el cual se realizó con base en el tipo de rocas, y características de los demás materiales presentes en los suelos de las diferentes áreas de la Microcuenca el Perro, al igual que el tipo de vegetación, fauna y obras civiles en desarrollo, procesos erosivos y principales causas de los procesos degradativos, que se vienen presentando en la microcuenca.

**Fase tres:** Se estructuró el inventario y diagnóstico del área problemática.

**Fase cuatro:** 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:

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

**Estudio fotográfico:** De las áreas afectadas identificadas.

**Inventario y Diagnóstico:** Se realizó siguiendo la metodología propuesta por Rivera (Noviembre 2006), a la luz de las interrelaciones roca – suelo – grado y longitud de la pendiente – clima – vegetación – animal – infraestructura – hombre, que inciden en los procesos degradativos de la Micro -cuenca El Perro. Lo cual, implicó la exploración cartográfica de los mapas del IGAC, CORPOCALDAS, FEDERACAFÉ Y UNIVERSIDAD DE CALDAS, para la identificación de las tres primeras, y de GPS, para la georeferenciación del área en estudio. En lo relacionado con el clima, se utilizó la información de la Estación Climática de Agronomía de la Universidad de Caldas.

**Visitas y recorridos de campo:** Se efectuaron, para las interrelaciones roca -suelo- topografía -animal - vegetación – infraestructura.

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

**Matriz Vester (1.969):** Se utilizó, para determinar la relación causa – efecto de los procesos degradativos más relevantes, asociados al uso, manejo y conservación de suelos de la Micro-cuenca el perro.

**Árbol de problemas:** Para la priorización de problemáticas.

**Árbol de objetivos:** para el establecimiento de las prácticas preventivas y/o de control, más convenientes para el logro de la eficiencia en el uso, manejo y preservación de suelos y aguas.

Cabe relevar, que la Matriz de Vester, es una herramienta o instrumento de planificación desarrollada por el científico alemán Federic Vester (1.969), que ha sido aplicada con mucho éxito en el campo del desarrollo regional. Esta Matriz, facilita la identificación y la relación de las causas y efectos de una situación problema y consiste en un formato de doble entrada en donde se ubican, tanto en filas como en columnas, los problemas identificados como importantes en el

sistema; comprende los siguientes aspectos fundamentales, que se aplicaran en el diagnostico de este estudio:

**A. Identificar con una letra o un número los problemas que se van a relacionar:** No se recomienda utilizar más de 14 problemas en la matriz. Cuando sea necesario considerar más de 14, deben establecer subsistemas para el análisis.

**B. Apreciar y colocar en la matriz el nivel de causalidad:** Puede ser (Directa o Indirecta) de cada problema sobre cada uno de los demás, así: 0 = No es causa; 1= Es causa indirecta; 2 = Es causa medianamente directa; y, 3 = Es causa directa.

La calificación debe ser el fruto del consenso del equipo interdisciplinario de profesionales (No se deben utilizar cálculos promedios):

**C. Cálculo del total de la actividad o pasividad de cada problema:** Este cálculo corresponde al grado de causalidad o consecuencia que cada problema tiene sobre los demás del sistema de producción, comunitario, producto o servicio, así:

- **TOTAL ACTIVO:** Es la suma del puntaje horizontal de cada problema y corresponde a la apreciación del grado de causalidad del problema sobre

los demás. Un problema con alto puntaje indica que es causa de muchos otros o viceversa.

- **TOTAL PASIVO:** Es la suma del puntaje vertical de cada problema y corresponde a la apreciación del grado de causalidad de los demás sobre el problema analizado, es decir, el nivel de consecuencia. Un puntaje alto quiere decir que el problema es causado por muchos otros. Por ejemplo, en el cuadro 4, el problema B es consecuencia de muchos, mientras que el problema D, con 2 puntos, no es causado por otros.

**D. Clasificación de los problemas según su grado de causalidad o consecuencia:** De acuerdo con la calificación obtenida por cada problema en cuanto a su actividad o pasividad, se tipifican cuatro categorías de problemas los cuales ofrecen distintas oportunidades de intervención, a través de estrategias y acciones de desarrollo, así:

- **PROBLEMAS ACTIVOS.** Son aquellos que tienen total activo alto y total pasivo bajo y representan los problemas que influyen mucho sobre los demás, pero que no son causados por otros. Estos problemas son causas primarias del problema central y deben tener una alta prioridad en su intervención ya que ellos afectan de manera importante a los demás.

- **PROBLEMAS PASIVOS.** Son aquellos que tienen un total pasivo alto y un total activo bajo y representan los problemas que no influyen de manera importante sobre otros, pero que son causados por la mayoría de los demás. Estos problemas pueden utilizarse como indicadores de cambio y eficiencia de la intervención de los problemas activos, ya que manifiestan los cambios hechos en ellos.
  
- **PROBLEMAS CRITICOS.** Son aquellos que tienen un activo alto y un total pasivo alto y representan el problema (normalmente es uno) que es causa apreciable de otros y que es causado por los demás. Estos problemas, requieren un análisis especial en el tipo de solución planteada, puesto que pueden desestabilizar cualquier desarrollo del sistema de producción, comunitario, producto o servicio y empresarial por ser a la vez problemas que influyen y son influenciados por los demás.
  
- **PROBLEMAS INDIFERENTES.** Son aquellos que tienen un total activo bajo y un total pasivo bajo y representan los problemas que no tienen ningún efecto de causalidad sobre el conjunto analizado y que tampoco son causados por ninguno de estos problemas. Este tipo de problemas, representan los de baja prioridad en el contexto global del sistema analizado, en el sentido que cualquier intervención sobre ellos no generará efectos sobre los demás.

Al respecto, afirman Ander y Aguilar, 1.989, que *“de la forma como se analicen las causas y consecuencias de un problema se orienta el planteamiento de su solución; un análisis incorrecto puede conducir a adoptar soluciones mal enfocadas”*.

**3.6 MATERIALES:** Cámara fotográfica, Mapas, papelería, equipo de sistemas, vehículo, y palines pequeños para determinar profundidades efectivas.

## **CAPÍTULO IV.**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **4.1 Localización del Area en Estudio**

##### **4.1.1 Macro-localización del Municipio de Manizales**

El municipio de Manizales, está localizada en la región central del occidente colombiano, sobre la prolongación de la cordillera andina (Figura 11). Debido a su posición geográfica, la ciudad es bastante lluviosa, lo cual favorece la vegetación de bosque húmedo tropical. Según el Plan de Ordenamiento territorial 2.011. Manizales está localizada en una zona de clima sub-andina de convergencia intertropical, caracterizada por una distribución bimodal de la pluviosidad, presentando la cantidad mayor de lluvias en los periodos de abril a mayo y de octubre a noviembre. La macrolocalización del municipio, se puede observar en la figura 11.



**FIGURA 11. MACRO- LOCALIZACIÓN DE LA CIUDAD DE MANIZALES**

FUENTE: (CORPOCALDAS, 2.005).

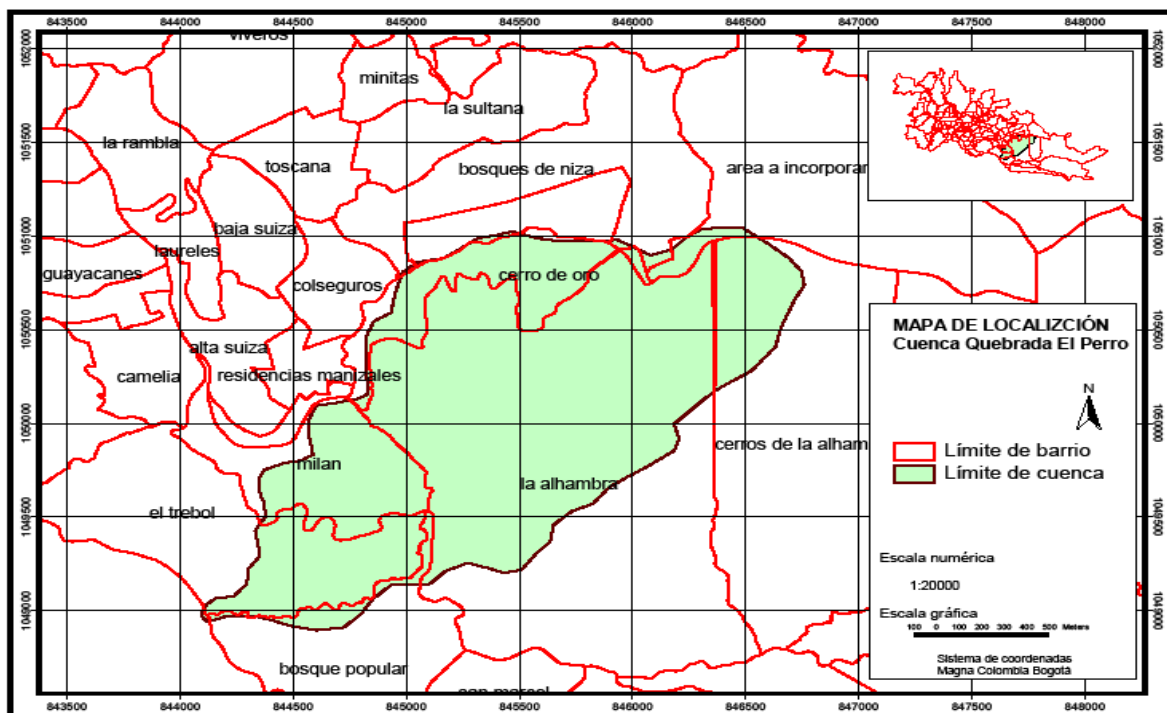
La variación espacial de las lluvias se explica en parte por el ascenso de las masas de aire frío y por efectos orográficos. La precipitación media anual es de 1.920 mm y la humedad relativa es alta, con un promedio anual de 85,5% de carácter también bimodal correspondiendo a los periodos de lluvia.

La ciudad de Manizales, posee gran diversidad climática, desde las nieves del Nevado del Ruiz con sus pasajes de paramo y aguas termales, hasta los centros recreacionales de Santágueda, con paisajes de clima cálido. La ciudad posee 8 microclimas dentro de la zona urbana. La temperatura promedio anual es de 18,4°C (64°F). Estos datos fueron obtenidos de la Estación Meteorológica de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Caldas, la cual está localizada al S.E. de la ciudad.

#### 4.1.2 Micro-localización de la Cuenca Quebrada El Perro

La quebrada El Perro está localizada al oriente de Manizales, y su ladera Nor-occidental se encuentra enmarcada como componente urbano. (Figura 12).

FIGURA 12. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA QUEBRADA EL PERRO



FUENTE: (IGAC, 2.000)

Esta quebrada, según el (POT, 2.011) de Manizales, es considerada como zona de regeneración y mejoramiento, debido a que presenta procesos erosivos activos, presencia de algunas obras de estabilización de taludes y control de erosión.

#### 4.1.2.1 Localización y Vías de Acceso de la Micro-cuenca El Perro.

(P.O.T. 2.011) El área donde se realizó la zonificación y el inventario diagnóstico integral, se encuentra al Este de la ciudad de Manizales, la cual está georeferenciada con las coordenadas 5° 4' latitud Norte, 75° 3' longitud Oeste; y consta de un área de 2,24 Km<sup>2</sup> entre las coordenadas planas referenciadas a Bogotá. Figura 13.

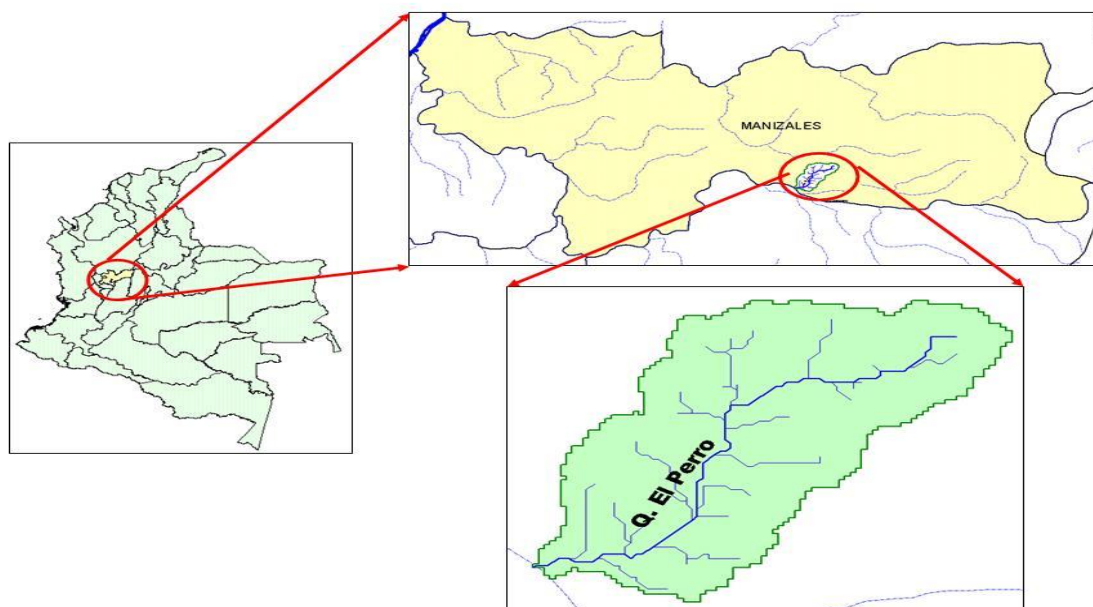
X1: 1'175.997 m E

X2: 1'179.597 m E

Y1: 1'048.806 m N

Y2: 1'051.406 m N

FIGURA 13. MICRO LOCALIZACIÓN DE LA MICRO CUENCA EL PERRO



FUENTE: (IGAC, 1.996)

El terreno, se observa en las planchas topográficas 21, 26, 27, 28, 34, 35, 40 de 1996 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Manizales escala 1:2000.

Geográficamente, se encuentra limitada al Sur-Este por la quebrada el Perro, al Norte con la carrera 23, al Oeste por la quebrada el Bosque y al Sur por el río Chinchina; presentando una altura máxima de 2.398 msnm (vía al Cerro de Oro) y mínima 1.916 m.s.n.m. (río Chinchina).

La zona comprende la vereda Bella Vista y un sector de la vereda el Zancudo, presenta pocas áreas urbanizadas, las principales son: Condominio El Rincón del Trébol, Conjunto Cerrado los Guaduales, Colegio Santa Inés, Edificio de la ANDI, Planta de Tratamiento de Aguas, Coliseo de Ferias, Vivero Hungría, Venta de Bodega la Teresita, barrio el Chachafruto.

## **CAPÍTULO V.**

### **INVENTARIO DIAGNÓSTICO DE LA MICRO CUENCA EL PERRO.**

De acuerdo a la interrelación: Roca – suelo – topografía (grado en porcentaje y longitud, en metros, de la pendiente) – clima – vegetación – animal – infraestructura y factor humano (Rivera 2006), se realizó el siguiente inventario diagnóstico, en la Micro cuenca El Perro, apoyados en los recorridos a lo largo del área en estudio, en el período 2.010 al 2.012 y soportados en diferentes estudios y trabajos de grado realizados por la Universidad de Caldas, facultad de geología y Minas, y en diferentes evaluaciones técnicas de entidades como Corpocaldas y el Municipio de Manizales.

#### **5.1 ROCA:**

Con los recorridos de campo efectuados, entre los años 2.010 y 2.012, y de acuerdo a los diferentes eventos surgidos en la micro cuenca el Perro en este periodo de tiempo, se encontró en los lechos de las línea de drenaje que conforman la red hídrica de la micro cuenca, capas simétricas de tipos de material como londolitas limosas y carbonosas, arenitas de colores ocres, grises y negras como se muestra en la figura 14, algunas rocas observadas presentan una apariencia carbonosa brillante de aspecto quistoso, se observaron muchas rocas sedimentarias, lo que da una apariencia física de inestabilidad en la zona,

especialmente en las laderas de la micro cuenca y el fondo de los lechos de escorrentía de la Micro-cuenca.

**FIGURA 14. TIPOS DE ROCAS EN LECHO Y PAREDES DE LA MICRO CUENCA EL PERRO**



**FUENTE: FOTOGRAFIA – ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA- 2.012.**

Tipos de materiales rocosos, especialmente esquistos grafiticos. Se observa gran depotección vegetativa del cauce natural y el transporte de cantidades abundantes de lodos por las aguas de escorrentía, lo que indica la alta degradación de la Micro cuenca el Perro.

## **5.2 SUELO**

En el inventario diagnóstico, realizado durante el recorrido por la Micro cuenca El Perro, durante los años 2.011 al 2.012, se encontraron suelos derivados de cenizas volcánicas; también se identificaron suelos muy superficiales con una

profundidad efectiva de 20 a 40 centímetros, sueltos sin amarre natural susceptibles a todo tipo de erosión.

Según Fernando Andres Ramirez Ortiz, en su tesis de grado denominada Evaluación del Riesgo por Erosión potencial de la Zona Cafetera Central del Departamento de Caldas, Universidad del Tolima en el 2.006, *“los suelos unidad letras son de material perental, determinado por ceniza volcánica, posición geomorfológica con mantos de cenizas cubriendo otros materiales en distintos grados de pendiente, suelos originados por horizontes orgánicos profundos, seguido de otro de textura franco arenosa, de color pardo amarillento. Dentro del perfil es muy frecuente la ocurrencia de capas no continuas y de espesor variable de lapilli que origina una interrupción en la homogeneidad textural”* (Ver figura 15).

**FIGURA 15. SUELOS DE LA MICRO CUENCA EL PERRO SECTOR CERRO DE ORO**



**FUENTE: FOTOGRAFIA - ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA-2012**

Asociado a los suelos encontrados y debidos a su alta inestabilidad y falta de protección y amarre, se observaron algunos procesos erosivos que se presenta de diferentes formas: La erosión superficial, en la cual el principal agente modelador es el agua, y se divide en erosión pluvial y fluvial. La erosión profunda, la cual ocurre por lo general de forma rápida y consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies. Con el fin de dar una mirada degradativa a la Micro cuenca El Perro, se determinaron algunos tipos de erosión. (Ver anexo 6: Procesos denudativos).

### **5.2.1 Estudio Geotécnico de los suelos de la Microcuenca El Perro**

De acuerdo al inventario de los procesos erosivos, y con el fin de dar confiabilidad a la investigación sobre este tipo de suelos encontrados en la Micro-cuenca el Perro, nos apoyamos como soporte en la investigación realizada por Escobar y Reyes, 2.003, quienes diseñaron un mapa de materiales que diferencia los tipos de depósitos, evidenciando las formaciones superficiales y las litologías y estructuras que exhibe un mapa geológico estructural; ya que para la finalidad de este estudio, tiene mayor importancia la descripción del estado actual de los materiales que su génesis. (Anexo 2: Mapa Geotécnico. Geología general de la cuenca de la Quebrada El Perro). Sus aspectos más relevantes se pueden describir de la siguiente manera:



**5.2.1.1 Geomorfología:** La geomorfología de la zona se puede dividir dependiendo del proceso natural del cual se origina, de esta forma se tienen subunidades geomorfológicas de origen estructural controladas por las zonas de falla (Falla El Perro) caracterizadas por pendientes escarpadas y cambios abruptos en la misma, suavizándose hacia los valles de los cauces, presentando cuchillas en sentido N-S y geoformas estructurales como hombreras y silletas (Anexo 1: Mapa de unidades Geomorfológicas).

La combinación del debilitamiento, la modificación y las pendientes escarpadas la hacen susceptible a deslizamientos originándose recurrencia de procesos erosivos. Las Sub-unidades de origen volcánico-clástico, cubierta piroclástica, se identifican por presentar pendientes de poca inclinación y un bajo relieve interno, formando cimas suaves y elongadas; su espesor depende del ángulo de la pendiente.

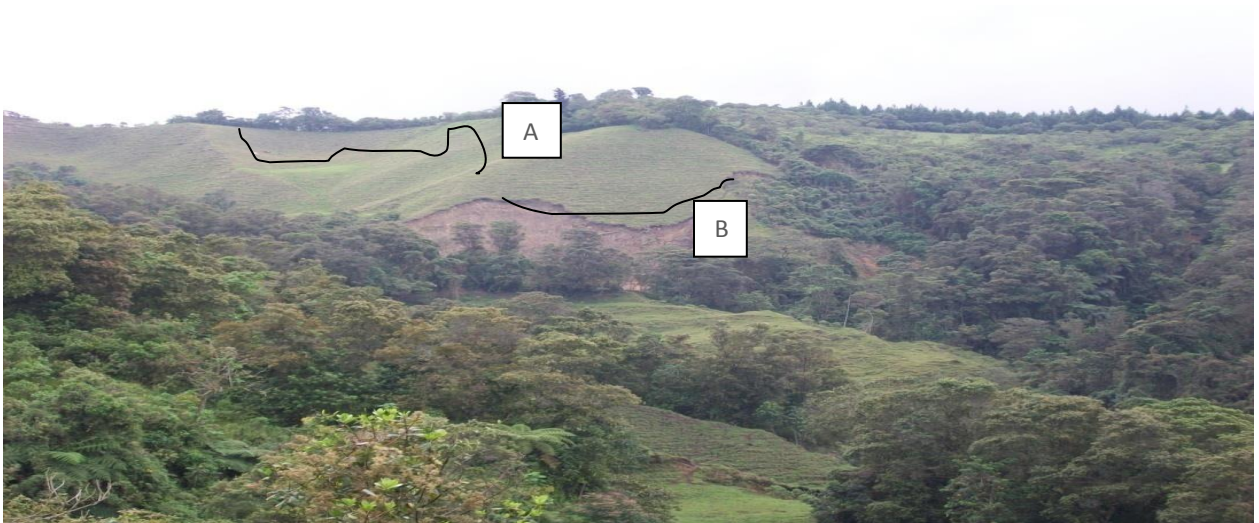
Las Sub-Unidades denudacionales, están determinadas por la actividad de los movimientos en masa y por la incisión vertical de las corrientes, que son originados en parte por la saturación por lluvias y procesos antrópicos, como la construcción de obras civiles que han afectado en forma directa la estabilidad de este sector de la ciudad.

El patrón de drenaje dominante es dendrítico, los valles son asimétricos y poco profundos, aunque en algunas zonas la disección es fuerte. Se realizó el

correspondiente mapa de pendientes y se clasificaron en rangos: 0°-15°: Muy baja, 15°-30°: Baja, 30°-45°: Moderada, 45°-60°: Alta y >60°: Muy alta.

En la figura 16, se aprecian dos geo-formas características del área en estudio: Geomorfología A: Pendientes suaves y largas. Geomorfología B: Geo-formas estructurales, pendientes fuertes:

**FIGURA 16. GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA EN ESTUDIO**



**FUENTE: FOTOGRAFÍA. ESCOBAR Y REYES (2.003).**

### **5.2.1.2 Tipo de materiales encontrados en los suelos de la Micro-cuenca El Perro**

Para el inventario diagnóstico, se dividió el área de estudio en 7 unidades que abarcan las diferentes áreas localizadas a lo largo de la Microcuenca el Perro, de

acuerdo al tipo de materiales característicos de cada una, que en orden de extensión en área de mayor a menor son:

### **Unidad I:**

Corresponde a una secuencia de material volcánico, de depósitos de caída piroclástica, que presenta diferentes niveles de cenizas de tamaño arena fina a gruesa intercaladas con niveles de lapilli grueso y pómez, que en algunos casos alcanzan hasta 3 cm de diámetro.

Estos depósitos, cubren discordantemente los dos materiales y presentan un espesor variable entre 15 metros en las zonas de menor pendiente y menos de tres metros en las zonas de mayor pendiente.

Esta secuencia piroclástica, corresponde a la denominación informal que plantean Aguirre y Dunoyer, y en la cual proponen que la cubierta piroclástica en el sector se pueden dividir en tres Sets; correspondiendo esta unidad a los Set I, Set IIA y SetIIB, con una edad aproximada entre 5.000 y 31.170 años; que representan las últimas manifestaciones de actividad volcánica del complejo Ruiz- Tolima.

Esta clase de material, se logró caracterizar en diferentes subunidades, dependiendo de su granulometría, características mineralógicas y espesor, determinados en los afloramientos generados por los movimientos en masa y en perforaciones manuales hasta de siete metros de profundidad.

Debido a la importancia que presenta esta unidad, en el estudio geotécnico; a partir del espesor, el grado de meteorización, la fracturación y el tipo de material

que la infrayace, se determinaron zonas que permiten diferenciar si la secuencia piroclástica se encuentra infrayacida por roca masiva, roca con perfil de meteorización o flujos.

Esta secuencia piroclástica, en la zona de estudio, se puede observar en la figura 17, donde la señalización con la letra L, corresponde en términos de tipo de materiales a Lapilli; y la señalización con la letra A, corresponde a Arena.

**FIGURA 17. SECUENCIA PIROCLÁSTICA, UNIDAD I. L: LAPILLI A: ARENA**



**FUENTE: FOTOGRAFÍA. ESCOBAR Y REYES (2.003).**

Las sub-unidades seleccionadas para la caracterización del material de los suelos de la Micro-cuenca en estudio, son:

- **Sub-unidad A:** Está sub-unidad, localizada al Este y al Norte sobre la carrera 23 y la vía que conduce al Cerro de Oro, se caracteriza porque la secuencia piroclástica presenta un espesor mayor a siete metros, con un máximo de 12 m; ocupa un área aproximada de 0.260 km<sup>2</sup> que equivale al 10.83% de toda el área de estudio.
  
- **Sub-unidad B:** Se encuentra distribuida en toda el área de estudio, y es la que ocupa mayor porcentaje 33.67%, que equivale a 0.808 km<sup>2</sup>. Esta sub-unidad corresponde a cenizas con un espesor mínimo de 3m y máximo de 7 metros.
  
- **Sub-unidad C:** Corresponde a la secuencia piroclástica con un espesor menor de 3m, y localizada en las zonas de alta pendiente, con un área aproximada de 0.28 Km<sup>2</sup>. correspondiente al 11.67% del área total.

**UNIDAD II:** Se encuentra localizada al SW de la zona que del batallón conduce hacia el barrio La Enea; incluye los conjuntos residenciales Rincón del Trébol y Los Guadales, Coliseo de Ferias y la ladera NW de la Quebrada El Bosque, abarcando un área de 0.526K<sup>2</sup>, que representa el 21.92% y corresponde a un depósito de flujos y escombros clasto soportado polimíctico, pobremente sorteado; la matriz presente en un 35%, es principalmente lodosa de color pardo rojiza con

un alto grado de alteración; presenta óxidos y se identifican algunos fragmentos de lipilli y cuarzo.

### **UNIDAD III**

Este tipo de material está restringido a lo largo de la quebrada El Perro y algunos afluentes de ésta; debido a la disección que ejercen las quebradas sobre la secuencia piroclástica que permite su exposición, ocupa un pequeño porcentaje del área 5.17% que equivale a 0.124 km<sup>2</sup>.

### **UNIDAD IV**

Corresponde este material a los depósitos aluviales originados por la quebrada El Perro y algunos de sus afluentes; ubicados en las partes donde las quebradas sufren cambios de pendiente y están depositados de forma estrecha y alargada, debido a la forma de los valles; con un espesor que no supera los 2m, abarcando un área de 0.035 km<sup>2</sup> que corresponde al 1.5% Al SW de la zona se encuentra un depósito aluvial originado por el río Chinchiná con un área de 0.027 km<sup>2</sup>. (1.2%).

### **UNIDAD V**

Esta unidad consta de dos tipos de depósitos: Depósitos de ladera, originados por deslizamiento y depósitos coluviales, cuya característica principal es su poca extensión y localización al pie de una ladera con fuerte pendiente, originados por la saturación de los materiales.

Los depósitos de ladera originados por deslizamientos, corresponde a los cuerpos de masa de antiguos movimientos; y su espesor varía según la cantidad de

material movilizado y la pendiente. El espesor ésta entre 3m y 8 m, presenta un área de 0.0147 km<sup>2</sup>, que equivale al 0.6% del área total. Lo conforma principalmente material producto de la mezcla de los diferentes niveles de material volcánico de caída piroclástica, y en los cuales, según las perforaciones manuales, no se observa una disposición estratigráfica de las cenizas.

## **UNIDAD VI**

El material que constituye esta unidad, corresponde a un perfil de meteorización en el cual las cenizas que cubrían el suelo residual, fueron erosionadas provocando la exposición de dicho suelo. Se presenta de poca extensión, 0.0154 km<sup>2</sup>, que representa el 0.7% del área. Se ubican en la vereda Bella Vista y en la margen Este de la quebrada la Bruja, el espesor no supera los dos metros.

## **UNIDAD VII**

Son materiales de origen antrópico, correspondiente a llenos, los cuales son de poca extensión, ocupando un área de 0.003km<sup>2</sup> equivalente al 0.13%, y no afectan en gran medida la topografía del terreno, debido a la escasa intervención urbanística en el sector, que se restringe hacia la parte SW del área de estudio; principalmente a los lados de la carretera que del Batallón conduce al barrio la Enea. Los llenos de mayor importancia se ubican bajo los cortes generados para la construcción de los condominios los Guadales, el Trébol y Rincón del Trébol, los cuales fueron realizados de forma mecánica, con un espesor máximo de 15m.

### 5.3 TOPOGRAFÍA: GRADO Y LONGITUD DE LA PENDIENTE

El inventario diagnóstico, permitió determinar que la pendiente en la Microcuenca El Perro del municipio de Manizales, generalmente varía entre  $5^{\circ}$  y  $10^{\circ}$  en la zona (Sector Cerritos), y de  $1^{\circ}$  a  $2^{\circ}$  en el pie del (Barrio Chachafruto). (Ver anexo 5: Curvas de nivel de la pendiente).

La micro cuenca el Perro posee en sus laterales pendientes desde un 30% hasta un 75% siendo en su mayoría pendientes escarpadas las cuales se encuentran desprotegidas de árboles y arbustos que realicen amarre significativo sobre la pendiente ya que se han dedicado a la ganadería, llevándola las pasturas, inclusive hasta la orilla de la cañada.

La figura 18, muestra las curvas de nivel de la pendiente, características de la Microcuenca El Perro.

**FIGURA 18. LONGITUD DE LA PENDIENTE MICROCUENCA EL PERRO**



FUENTE: CORPOCALDAS (2.006)



## 5.4 CLIMA

De acuerdo a los parámetros de localización que están asociados al clima, la Micro cuenca El Perro que esta localizada en la ciudad de Manizales es clima tipo sub-andina de convergencia intertropical, caracterizada por una distribución equilibrada de pluviosidad, presentando regularmente mayor cantidad de lluvias en los periodos de Abril a Mayo y de Octubre a Noviembre. La viariación especialmente de las lluvias en los últimos años es ocasionada por el cambio climatico definida por los fenómenos de la niña y el niño. La temperatura media anual de la zona es de 18.4°C, con una humedad relativa es alta con un promedio de 85.5%, datos obtenidos de las estaciones meteorológicas de la Facultad de Agronomía, la cual esta localizada al S.E. de la ciudad de Manizales.

Con el fin de dar soporte confiable en los aspectos mas relevantes del clima y la hidrología de la Micro cuenca El Perro, se utilizó la información obtenida de las estaciones meteorológicas de Posgrados la Enea, Los Yarumos, Aranjuez y el Aeropuerto La Nubia, además de la medición de caudales y eventos de precipitación atmosférica en la microcuenca reportados en el informe preliminar de Corpocaldas y la Alcaldia de Manizales en Septiembre de 2009.

#### 5.4.1 Hidrología de la Microcuenca el perro

En las zonas tropicales la mayoría de deslizamientos ocurren durante o después de una temporada de lluvia, siendo de esta forma el agua el factor que más se asocia a las fallas de los taludes. Manizales con un promedio de precipitación anual entre 1.253 mm – 2.627 mm y un régimen bimodal de lluvias, con la particularidad de la ocurrencia de aguaceros de gran magnitud, común en zonas montañosas, presenta una alta humedad y problemas ambientales como procesos erosivos. A continuación, en la figura 19, se puede observar a manera de ilustración el Afluente de la Microcuenca El Perro.

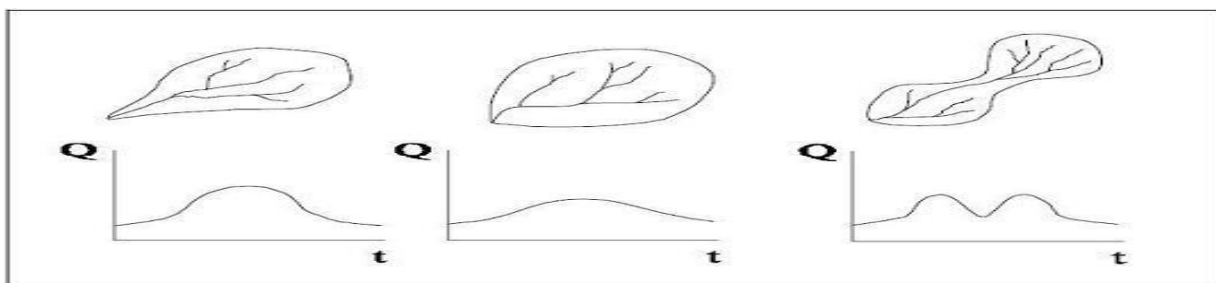
**FIGURA 19. AFLUENTE DE LA MICROCUENCA EL PERRO. SE OBSERVA EL ARRASTRE ABUNDANTE DE SEDIMENTOS. ESECILAMENTE ESQUISTES METAMORFICOS FRACTURADOS**



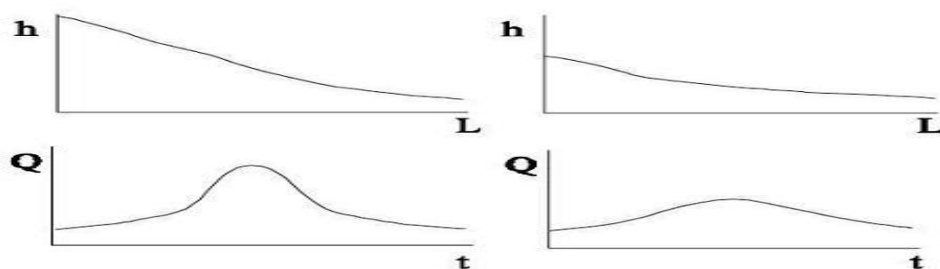
FUENTE: FOTOGRAFÍA DE ANCIZAR BEDOYA. MARZO (2.012)

Según información del (IGAC, 1.987), en la zona el drenaje de mayor importancia es la quebrada el Perro, la cual nace en la parte NE de la zona en el sector conocido como el Zancudo y transcurre por toda el área de estudio, desembocando en la parte SW al río Chinchina; corre a través de un valle asimétrico de laderas cóncavas y convexas, presenta un patrón de drenaje erosional dendrítico y con orden de drenaje de 14 al momento de su desembocadura en el río Chinchiná; según el método de Strahler. A manera de ilustración, se presenta la figura 20, que permite la visualización de las hidrógrafas según la forma de la cuenca y las hidrógrafas según el perfil del cause principal. (Anexo 4: Estaciones pluviométricas).

**FIGURA 20. HIDRÓGRAFAS SEGÚN LA CUENCA Y EL PERFIL ALTIMÉTRICO DEL CAUSE PRINCIPAL**



**Hidrógrafas según la forma de la cuenca**



**Hidrógrafas según el perfil altimétrico del cauce principal**

FUENTE: SANTIAGO OSORNO (2.010)

En la parte alta de la quebrada El Perro se observa que algunos drenajes están secos, debido a que los habitantes de la zona eliminaron los bosques de galería para convertir éstas áreas en zonas de pastoreo, afectando notablemente la red de drenaje y secando por completo algunos nacimientos.

Hacia su nacimiento, las aguas no están contaminadas pero a medida que se descende por su cauce se empiezan a observar que de los afluentes comienzan a llegar las aguas de desecho de las fincas ubicadas en las partes altas, evidenciando la deficiencia en la red de alcantarillado; ya en su desembocadura recibe las aguas servidas de los conjuntos residenciales y algunas viviendas ubicadas en los márgenes de dicha quebrada.

La principal zona de recarga la constituye la carrera 23 y la vía al Cerro de Oro que a su vez es el parte-aguas entre la quebrada El Perro, el río Chinchiná y la quebrada Olivares.

La zona de descarga, la constituye en gran parte la quebrada el Perro la cual recoge todas las aguas superficiales e infiltradas generadas en su ladera Norte. Otra zona de descarga la constituye el río Chinchiná, ubicado hacia el límite SW de la zona, donde se presenta un tramo aproximado de 300 m, el cual recoge unos pocos drenajes del sector. (IGAC, 1.987).

El nivel freático, corresponde a la línea de presión de poros igual a cero y determina los niveles de presiones hidrostáticas, dicho nivel se identificó en campo por medio de perforaciones manuales, apreciándose que en las cenizas

volcánicas, el rango de fluctuación es entre 2 y 7m de profundidad, esto debido no solo al cambio en las precipitaciones sino también en los contactos con otros materiales, determinándose así que el contacto entre las cenizas y materiales de menor permeabilidad (unidades II y III) generan un contacto hidráulico.

En el aspecto hidrogeológico no se contó con los ensayos necesarios para determinar con exactitud factores tales como: Resistividad, porosidad y permeabilidad; por ello se recurre a autores como Casas et al, 2000, quien propone valores de resistividad para algunos materiales presentes en la zona de estudio.

#### **5.4.2 Hidroclimatología de la Quebrada El Perro**

Siendo el objetivo principal de los análisis hidrológicos de la cuenca de la quebrada El Perro, determinar caudales de creciente a partir de eventos de lluvia empleando un modelo lluvia esorrentía, se centran en dos aspectos importantes:

- Análisis de los datos de precipitación
- Estimación de caudales de creciente en la cuenca

### 5.4.2.1 Análisis de los datos de precipitación

Con el fin de conocer los aspectos hidrológicos de la Quebrada el Perro, se determinaron basados en las siguientes estaciones meteorológicas: (Tabla 9 y anexo 3: Mapa de estaciones pluviométricas cercanas a la Micro Cuenca el Perro).

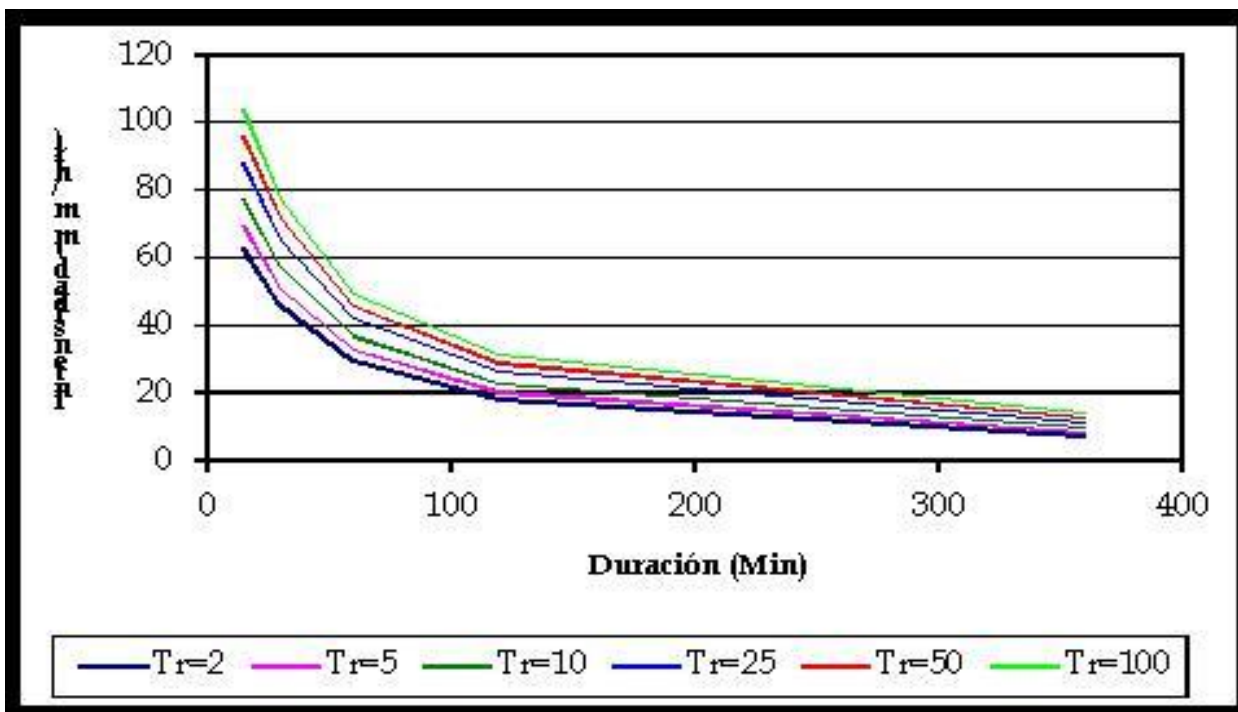
**TABLA 9. CURVA IDF ESTACIÓN AEROPUERTO LA NUBIA (INTENSIDADES EN MM/H)**

| <b>Código</b> | <b>Nombre</b>  | <b>Este (m)</b> | <b>Norte (m)</b> | <b>Año de instalación</b> | <b>Elevación (m.s.n.m.)</b> |
|---------------|----------------|-----------------|------------------|---------------------------|-----------------------------|
| EMM-02        | Posgrados      | 5° 3' 22.2" N   | 75° 29' 32.3" W  | 2002                      | 2162                        |
| EMM-04        | Enea           | 5° 1' 43.1" N   | 75° 28' 20" W    | 2003                      | 2092                        |
| EMM-05        | Yarumos        | 5° 3' 47.4" N   | 75° 28' 52.6" W  | 2004                      | 2190                        |
| EMM-07        | Aranjuez       | 5° 2' 34.2" N   | 75° 30' 1.6" W   | 2006                      | 1940                        |
| 261551        | Apto. La Nubia | 5° 2' N         | 75° 28' W        | 1968                      | 2080                        |

**FUENTE: IDEAM (2.010)**

La información recopilada corresponde a los registros mensuales de precipitación, en las estaciones Aeropuerto La Nubia (261551), La Enea (EMM-04), y Postgrados (EMM-02), Yurumos (EMM-05) y Aranjuez (EMM-07). De igual forma, se contó con los datos de la curva Intensidad Duración Frecuencia –IDF- de la estación sinóptica principal Aeropuerto La Nubia (261551), adquirida en el IDEAM y la cual se localiza muy cerca de la zona de estudio y se puede visualizar en la figura 21 que se presenta a continuación:

FIGURA 21. CURVA IDF ESTACIÓN LA NUBIA (2615511)



FUENTE: IDEAM (2.010)

Con respecto a los datos de niveles y caudales en la quebrada el Perro, por el carácter torrencial de la misma, no se cuenta con alguna estación de medición de tipo limnigráfica o limnimétrica, situación que motiva la estimación de caudales de creciente a partir de relaciones lluvia escurrentía en la cuenca.

El 28 de octubre de 2010, fecha del evento más reciente de avenida torrencial en quebrada el Perro, las estaciones meteorológicas circundantes: Niza, Recinto y Yarumos presentaron su máximo valor mensual (celda en color azul). (Ver tabla 10).

TABLA 10. EVENTOS DE LA QUEBRADA EL PERRO SEGÚN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS

| Día         |    | NIZA         |       | RECINTO      |       | YARUMOS      |       |
|-------------|----|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
|             |    | LI D         | A 25  | LI D         | A 25  | LI D         | A 25  |
| L           | 18 | 7,8          | 150,4 | 8,2          | 157,2 | 7,4          | 186,4 |
| Ma          | 19 | 3,2          | 152,2 | 4,2          | 158,8 | 4,6          | 187,7 |
| Mie         | 20 | 1,4          | 150,2 | 1,2          | 156,0 | 2,5          | 185,2 |
| Ju          | 21 | 6,8          | 152,8 | 5,6          | 157,8 | 9,2          | 188,2 |
| Vi          | 22 | 0,2          | 140,4 | 0,2          | 146,2 | 0,0          | 173,5 |
| Sa          | 23 | 6,8          | 145,6 | 7,2          | 151,8 | 9,9          | 180,3 |
| Do          | 24 | 22,6         | 162,2 | 23,0         | 165,6 | 28,5         | 202,2 |
| L           | 25 | 7,6          | 162,4 | 5,0          | 164,0 | 5,8          | 205,5 |
| Ma          | 26 | 0,2          | 162,6 | 1,2          | 162,6 | 4,8          | 210,3 |
| Mie         | 27 | 36,6         | 199,2 | 29,8         | 192,0 | 55,9         | 266,2 |
| Ju          | 28 | 80,0         | 248,4 | 72,0         | 230,6 | 63,5         | 293,4 |
| Vi          | 29 | 18,6         | 252,8 | 20,0         | 238,8 | 28,2         | 303,8 |
| Sa          | 30 | 6,8          | 259,0 | 7,2          | 244,0 | 7,4          | 310,6 |
| Do          | 31 | 10,4         | 263,4 | 8,6          | 245,2 | 6,1          | 307,6 |
| LI Mes      |    | <b>315,0</b> |       | <b>302,8</b> |       | <b>371,4</b> |       |
| Máx LI Mes  |    | <b>80,0</b>  | 263,4 | <b>72,0</b>  | 245,2 | <b>63,5</b>  | 310,6 |
| LI Año      |    | 1722,8       |       | 1572,0       |       | 1889,0       |       |
| Días LI/Año |    | 199          | 65%   | 214          | 70%   | 223          | 73%   |

FUENTE: IDEAM (2.010)

Las celdas en color amarillo, indican alerta naranja para lluvias mensuales acumuladas superiores a 200 mm y las anaranjadas alerta naranja, para acumulaciones superiores a 300 mm.

El análisis de los datos de precipitación se realiza debido a que la escorrentía superficial es función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía (CN) que tiene en cuenta el proceso de infiltración y de retención inicial en un proceso de lluvia sobre la cuenca.



El análisis de los datos de lluvia básicamente pretende obtener los valores correspondientes de precipitación asociados a un período de retorno de un evento de lluvia. Estos análisis se realizan analizando datos medios diarios de precipitación ajustados con una distribución de probabilidad, o empleando curvas que relacionen la intensidad de lluvia, con la duración y la frecuencia de la misma (curvas IDF), calculadas a partir de los registros pluviográficos de una estación. (Ver tabla 11).

**TABLA 11. CURVA IDF ESTACIÓN AEROPUERTO LA NUBIA (2615511) EN MM/H**

| <b>IDEAM Relaciones Intensidad - Duración – Frecuencia (IDF)</b> |                                   |          |           |           |           |            |
|--|-----------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| <b>DURACIÓN (Min)</b>  | <b>PERIODO DE RETORNO ( años)</b> |          |           |           |           |            |
|  | <b>3</b>                          | <b>5</b> | <b>10</b> | <b>25</b> | <b>50</b> | <b>100</b> |
| 15   | 62.5                              | 69.1     | 77.5      | 88.0      | 95.8      | 103.6      |
| 30   | 45.7                              | 50.8     | 57.2      | 65.2      | 71.2      | 77.1       |
| 60   | 29.5                              | 32.7     | 36.7      | 41.8      | 45.6      | 49.4       |
| 120  | 17.8                              | 20.0     | 22.7      | 26.1      | 28.7      | 31.2       |
| 360  | 7.2                               | 8.2      | 9.6       | 11.3      | 12.6      | 13.8       |

**FUENTE: IDEAM (2.010)**

Adicionalmente, para emplear un modelo lluvia esorrentía se requiere conocer la distribución temporal de la tormenta cuyo volumen de precipitación corresponde al encontrado ya sea empleando valores obtenido de las series de precipitación, o el dato asociado a un periodo de retorno.

Para el caso estudio la distribución temporal de las tormentas se estimó a partir de las distribuciones promedio típica de los diferentes eventos en cada estación.

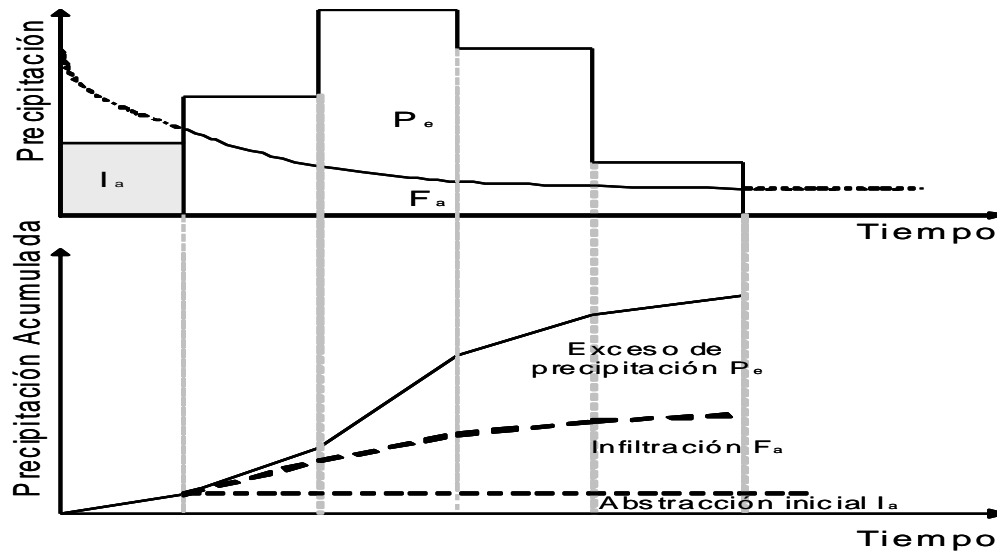
El análisis de la información hidrológica relacionada con la precipitación comprende los siguientes aspectos:

### **1. Análisis de infiltración en la cuenca.**

El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (Soil Conservation Service - SCS), desarrolló un método para el cálculo de las abstracciones iniciales de una tormenta y precipitación efectiva, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración cuantificada a partir de un parámetro conocido como el número de curva de escorrentía.

La figura 22, permite visualizar estos aspectos:

FIGURA 22. MÉTODO DE ABSTRACCIONES (MÉTODO DE SOIL CONSERVATION SERVICE SCS)



FUENTE: SOIL. (SCS).

Si se conoce el volumen total de lluvia precipitada en una tormenta ( $P$ ), y la distribución temporal de un aguacero (hietograma de lluvia), en éste, una parte del volumen en el inicio de la lluvia, es retenido o interceptado en la vegetación o en depresiones topográficas, de forma que en un aguacero existe una pérdida de volumen inicial o abstracción inicial ( $I_a$ ). De igual forma, parte de dicho volumen se infiltra en el suelo ( $F_a$ ), de forma que una parte de la lluvia total es la que contribuye a la escorrentía directa (precipitación efectiva,  $P_e$ ). El método del SCS parte de la relación entre las siguientes cantidades:

**ECUACIÓN 1**

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Donde  $S$  es la retención potencial máxima, o el almacenamiento; por el principio de continuidad,

**ECUACIÓN 2**

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores,

**ECUACIÓN 3**

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Siendo esta la ecuación con la que se calcula la precipitación de exceso, conocidas las abstracciones iniciales que se pueden expresar en términos del almacenamiento, a partir de la expresión  $I_a = C_a S$ , siendo  $C_a$  un coeficiente que varía entre 0.15 y 0.20 para cuencas Colombianas.

El almacenamiento en la cuenca se puede expresar en términos de un parámetro adimensional que tiene en cuenta las características geomorfológicas del suelo, su uso y cobertura vegetal, siendo éste parámetro, de acuerdo a la metodología propuesta por el SCS, el número de curva (CN).

**ECUACIÓN 4**

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (mm)$$

Este número de curva depende de la clasificación hidrológica del suelo, realizada a partir de la geomorfología de la zona de estudio, el uso del suelo, la condición del suelo, es decir, si es pobre, aceptable o buena, y la condición de humedad antecedente.

Este parámetro varía entre 0 y 100, siendo un suelo con capacidad de almacenamiento infinito aquel que presenta un CN igual a 0, y un suelo sin ninguna retención o infiltración aquel que presenta un CN igual a 100.

**2. Número de curva de escorrentía (cn)**

El número de curva de escorrentía (CN) del Soil Conservation Service – SCS, fue desarrollado como un índice que representa la combinación de los grupos hidrológicos del suelo, el uso y la clase de tratamiento de la tierra. Análisis empíricos, condujeron a deducir que el CN es función de tres factores: Clase de suelo, la cobertura y las condiciones de humedad antecedente (5 días).

### 3. Clasificación Hidrológica de los Suelos

El SCS, clasificó hidrológicamente más de 4.000 suelos basándose en su potencial de escurrimiento para lo cual los agrupó en cuatro grupos de suelos hidrológicos, los cuales se identifican con las letras A, B, C y D.

- **Suelo tipo A:** Potencial de escurrimiento bajo. Suelos con altas capacidades de infiltración cuando están completamente húmedos, principalmente arenas y gravas muy bien ordenadas. Suelos con alta transmisión de agua.
- **Suelo tipo B:** Suelos con capacidades de infiltración moderadas cuando están completamente húmedos, principalmente suelos medianamente profundos y drenados, con textura de sus agregados variando entre moderada y muy fina. Tiene velocidades medias de transmisión de agua.
- **Suelo tipo C:** Suelos con capacidades de infiltración baja cuando están completamente húmedos, principalmente suelos que contiene una capa que impide el movimiento hacia abajo o suelos con textura fina o moderadamente fina. Estos suelos tienen baja transmisión de agua.
- **Suelos tipo D:** Suelos con capacidades de infiltración muy bajas cuando están completamente húmedos. Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos. Suelos con transmisión del agua muy baja.

#### 4. Uso y tratamiento del suelo

La condición superficial en la cuenca hidrográfica se refleja en el uso del suelo y las clases de tratamiento. El uso del suelo está asociado a las coberturas forestales y vegetales de la cuenca como son el tipo de vegetación, los usos agrícolas, tierras en descanso, superficies impermeables y áreas urbanas. El tratamiento del suelo se aplica a las prácticas mecánicas como perfilado de curvas de nivel propias del uso agrícola, y prácticas de manejo como controles de pastoreo y rotación de cultivos.

En suelos cultivados se identifican: tierras en descanso, praderas, cultivos de hilera, cultivos de granos, rotaciones (pobre, aceptable, buena), cultivos en hileras rectas, vegetales sembrados cercanamente, campos sembrados a lo largo de la curva de nivel y cultivos en terrazas.

#### 5. Condición hidrológica del suelo

El tipo de vegetación y la densidad de la cobertura en la cuenca tienen una gran influencia en la capacidad de infiltración del suelo. Se definieron las siguientes categorías de cobertura para pasto natural (Ver anexo 3: Cobertura de la capa vegetal de la Micro-cuenca). El porcentaje se estima cualitativamente en los planos respectivos:

- **Pobre:** Menos del 50% de área cubierta por pasto. Alta intensidad de pastoreo.

- **Aceptable:** 50 al 75% del área cubierta por pasto. Intensidad media de pastoreo.
- **Buena:** 75% del área cubierta por pasto. Intensidad ligera de pastoreo.

La condición hidrológica para los bosques se determina igualmente cualitativamente como:

- **Pobre:** Bosques regularmente quemados con pocos arbustos y poco humus vegetal
- **Aceptable:** Con algunos arbustos, moderada cantidad de humus vegetal y pasto.
- **Buena:** Protegido con pasto, con alta cantidad de humus vegetal y muchos arbustos cubriendo la superficie.

## 6. Condición de humedad antecedente

La condición de humedad antecedente (AMCI) tiene en cuenta la precipitación de los cinco días previos a la tormenta y cuando ésta es seca, presenta el menor potencial de escorrentía con suelos satisfactorios para cultivos. La condición de humedad antecedente promedio (AMCII) presenta un potencial de Escorrentía medio, mientras que la humedad antecedente (AMCIII) tiene el mayor potencial, con la cuenca prácticamente saturada por precipitaciones anteriores, como se muestra en la tabla 12.



TABLA 12. PRECIPITACIÓN ACUMULADA PARA TRES NIVELES DE CONDICIÓN DE HUMEDAD

| CONDICIÓN DE HUMEDAD | PRECIPITACIÓN ACUMULADA DE LOS CINCO DÍAS PREVIOS AL EVENTO (cm) |                          |
|----------------------|--|--------------------------|
|                      | TEMPORADA INACTIVA   | TEMPORADA DE CRECIMIENTO |
| I                    | Menor 0.5  | Menor 1.4                |
| II                   | 0.5 -1.1   | 1.4 -2.1                 |
| III                  | Mayor 1.1  | Mayor 2.1                |

FUENTE: (SOIL. SCS) 2.010

Existen cuadros de número de curva de escorrentía CN para varias coberturas de suelo hidrológico con condición antecedente AMC II (ver Chow V.T., 1994). Se han encontrado las siguientes relaciones las cuales se pueden usar para calcular los números de curva para condiciones antecedentes AMCI y AMCIII a partir de la condición promedio AMCII.

## ECUACIÓN 5

$$\frac{S_I}{S_{II}} = \frac{S_{II}}{S_{III}} = 2.3$$

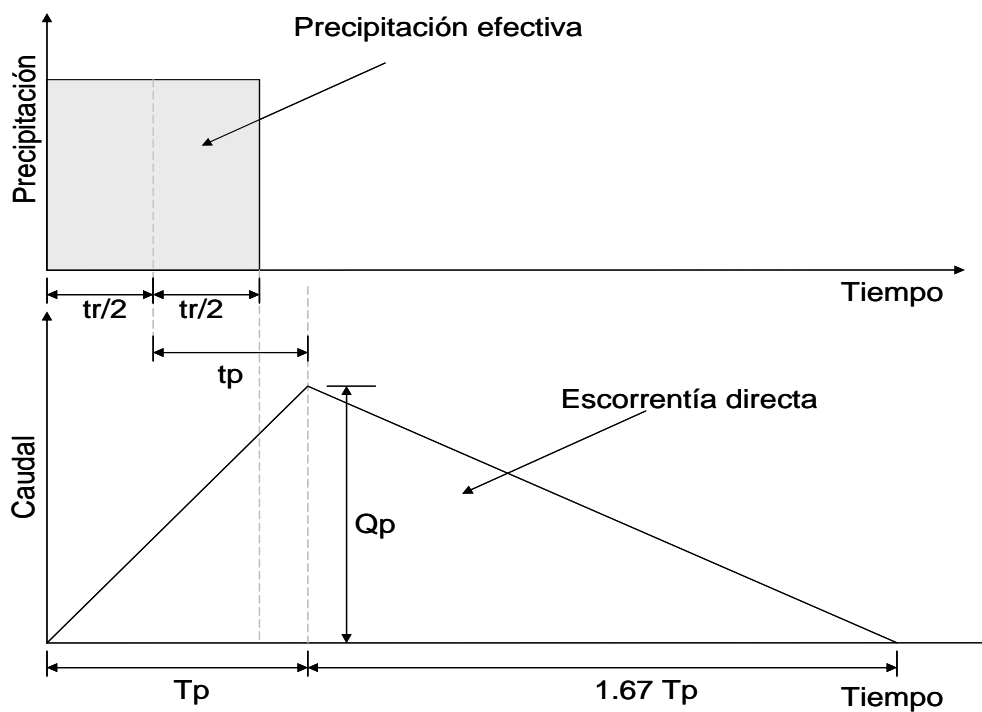
$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}}$$

## 7. Transformación lluvia escorrentía – Hidrograma unitario del S.C.S

A partir de varias series de hidrogramas reales correspondientes a cuencas de diversos tamaños, ubicadas en distintos sitios de los Estados Unidos, el SCS desarrolló un hidrograma unitario, el cual se visualiza en la figura 23:

FIGURA 23. HIDROGRAMA UNITARIO SCS. FUENTE: SCHOW. VT.



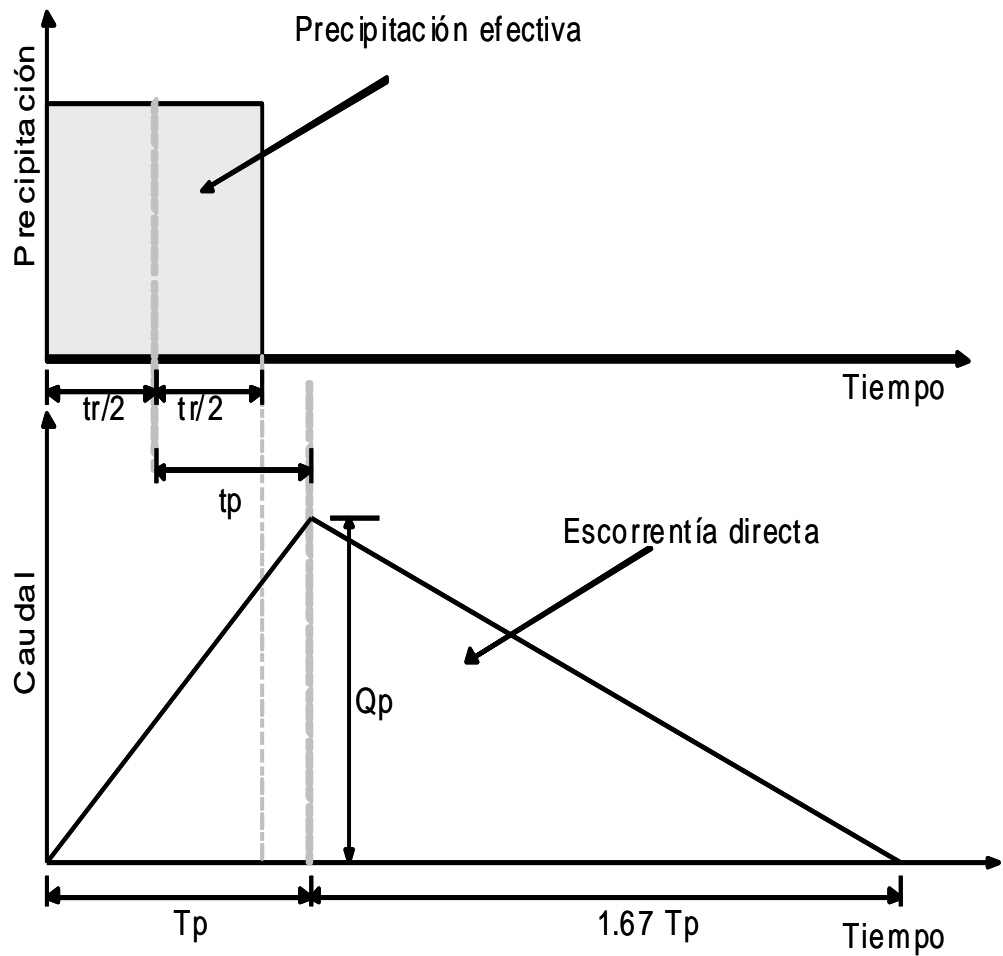
(1.994).

En este hidrograma, el caudal pico se expresa en términos del área de drenaje ( $A$ ) en kilómetros cuadrados, y el tiempo al pico ( $T_p$ ), a partir de la siguiente ecuación:

**ECUACIÓN 6**

$$Q_p = \frac{2.08A}{T_p}$$

$$T_p = \frac{tr}{2} + t_p$$



Donde  $tr$  es el tiempo de duración de la lluvia y  $tp$  el tiempo de rezago o de retardo de la cuenca que se define como el tiempo comprendido entre el centroide del hidrograma de precipitación de exceso y el pico del caudal en el hidrograma. Cuando se conoce el tiempo de concentración ( $Tc$ ), es posible determinar el tiempo de retardo asumiendo que  $tr = 0.60 Tc$  .

#### **5.4.2.2 Estimación de hidrogramas de caudal en la cuenca: consideraciones generales**

A continuación se presentan las consideraciones generales que se tuvieron en cuenta para la simulación de los hidrogramas de caudal en la cuenca de la quebrada El Perro:

- **Los hidrogramas de caudal**, se estimaron empleando el modelo hidrológico HEC – HMS (Hydrologic Modeling System) del Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers de los Estados Unidos.

El software realiza la simulación hidrológica de un evento lineal y semidistribuido, permitiendo estimar los hidrogramas de caudal en la salida de una cuenca o varias subcuencas, a partir de las condiciones de lluvia en

la cuenca. El HEC-HMS fue empleado ya que es un programa aceptado y reconocido mundialmente por la comunidad científica, y a su vez ha sido empleado para tales fines en múltiples proyectos.

- **Para el cálculo de dichos hidrogramas**, se empleó la metodología del hidrograma unitario (HU) del Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos, sin flujo base.
- **Las pérdidas o abstracciones**, se estimaron también empleando la metodología del SCS, que involucra el número de curva (CN).
- **El número de curva**, que se asumió para la cuenca fue de 86 para un grupo hidrológico de suelo tipo C, valor obtenido de acuerdo con la cobertura vegetal que en general son pastizales, y de acuerdo con la plancha 206 de la geología de Manizales realizada por el INGEOMINAS, que indica que los suelos predominantes en la cuenca son rocas piroclásticas (Qto) y areniscas chales negros (Ksc).
- **Las simulaciones hidrológicas en la cuenca**, se presentan para eventos de lluvia de 10, 50 y 100 años.

- **La duración de la tormenta**, para estos periodos de retorno, se asumió de 1.50 horas (90 minutos), de acuerdo con los registros mensuales del Boletín Meteorológico de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.
- **El valor total de precipitación**, de cada una de las tormentas para los diferentes periodos de retorno, se obtuvo de las curvas IDF de la estación Aeropuerto La Nubia.
- **Información disponible:** La información requerida para estimar los hidrogramas de caudal en la cuenca, básicamente está conformada por la información de tormentas sobre la cuenca para los diferentes períodos de retorno y los datos de la cuenca y subcuentas como áreas, tiempos de retardo, números de curva y pérdidas iniciales.

Se destaca que la cuenca de la quebrada El Perro, se analizó hasta el sitio de ubicación del box coulvert. Para la estimación de hidrogramas de caudal en la cuenca, se consideraron los siguientes aspectos:

**1. Características de las subcuencas:** Con el fin de estimar los hidrogramas de caudal en el punto donde se localiza el box coulvert, se determinaron a partir del levantamiento topográfico, las características fisiográficas generales de la cuenca tales como área, longitud del cauce, y pendiente; de aquí, se encontró que la

cuenca tiene un área total de 3.28 Km<sup>2</sup>, con una longitud del cauce principal aproximada de 3.86 km. Hasta el sitio de localización del box coulvert, el área de drenajes es de 2.53 Km<sup>2</sup>, con una longitud del cauce principal aproximada de 2.61 km. Estos aspectos, se pueden observar en la tabla 13:

**TABLA 13. INFORMACIÓN DE LAS SUBCUENCAS (PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS)**

| <b>Quebrada</b>                   | <b>Área<br/>(Km<sup>2</sup>)</b> | <b>Cota<br/>Superior<br/>(m.s.n.m)</b> | <b>Cota<br/>Inferior<br/>(m.s.n.m)</b> | <b>Longitud<br/>cauce<br/>Ppal.<br/>(km)</b> | <b>Pendiente<br/>(m/m)</b> |
|-----------------------------------|----------------------------------|--|--|--|----------------------------|
| El Perro (hasta la desembocadura) | 3.28                             | 2336.0                                 | 1939.5                                 | 3.64   | 0.11                       |
| Área hasta el box coulvert        | 2.53                             | 2336                                   | 2018                                   | 2.61   | 0.12                       |

FUENTE: CORPOCALDAS (2.009).

### **3. Tiempo de concentración y de retardo de la cuenca**

El tiempo de concentración se estimó a partir de las características de la cuenca, empleando la ecuación de Kirpich, la cual se describe a continuación:

**ECUACIÓN 7**

$$T_c = 0.066 \frac{L^{1.155}}{H^{0.385}}$$

Dónde:

T<sub>c</sub> tiempo de concentración en horas

L longitud del cauce principal en Km

H desnivel total del cauce principal en Km

En la tabla 14, se presentan los tiempos de concentración:

**TABLA 14. TIEMPOS DE CONCENTRACION Y RETARDO DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA EL PERRO**

| <b>Cuenca</b>                 | <b>Tiempo de concentración<br/>(Minutos)</b> | <b>Tiempo de retardo<br/>(Minutos)</b> |
|-------------------------------|--|--|
| Quebrada El Perro             | 27   | 16                                     |
| Área hasta el box<br>coulvert | 19   | 11                                     |

FUENTE: CORPOCALDAS (2009)

### **3. Tormentas para eventos con diferentes periodos de retorno**

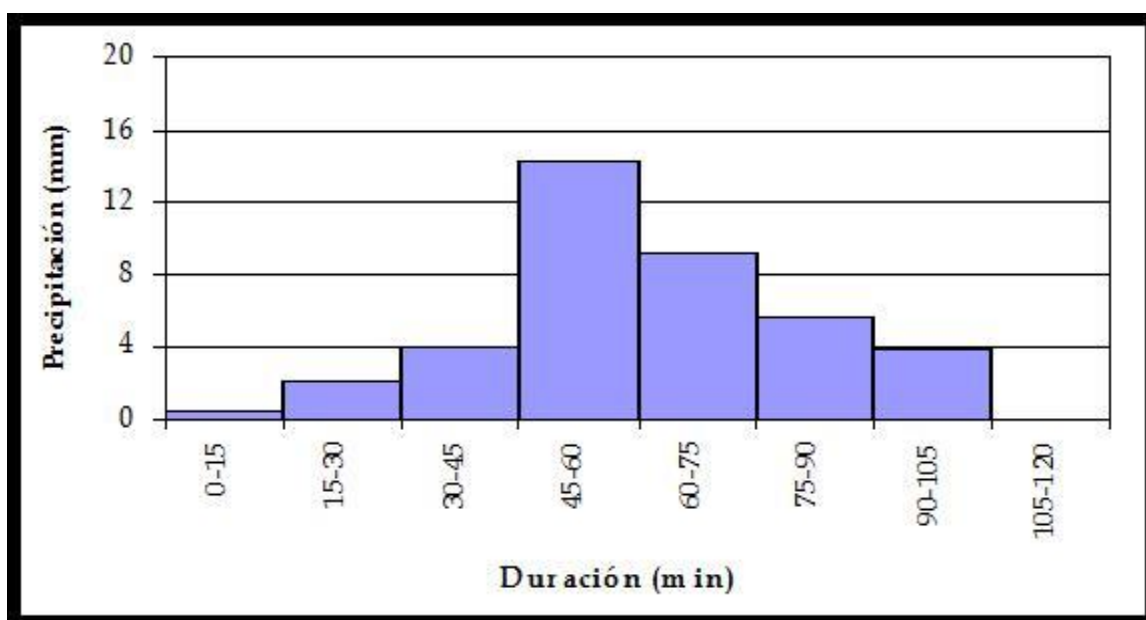
Dado que no se conoce para la zona, un patrón típico de tormentas, se supuso que la tormenta se comporta de acuerdo con el método del bloque alterno (V. T.



Chow, 1994), con intervalos de tormenta de 15 minutos, con una duración total de 90 minutos, de acuerdo con la información presentada anteriormente.

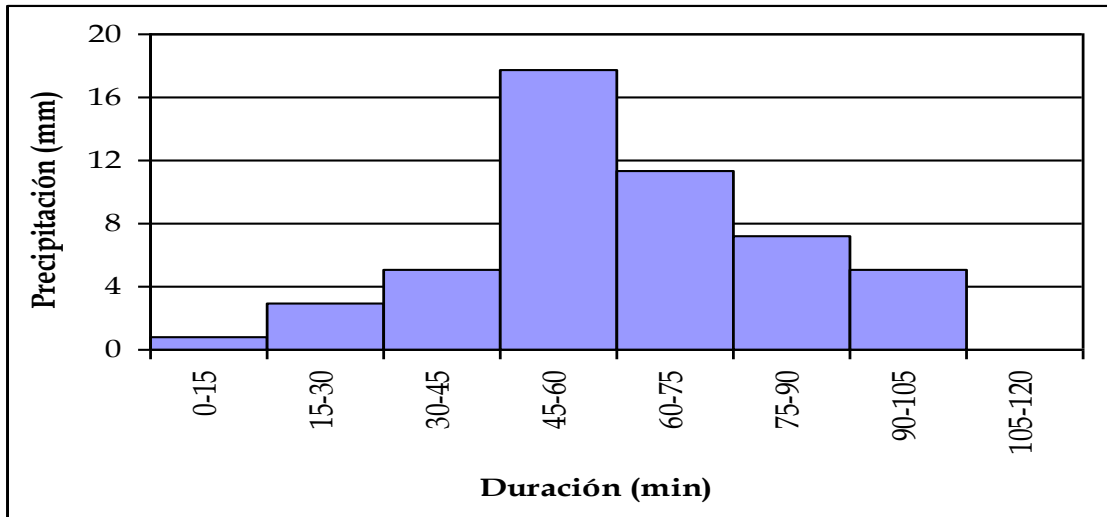
A continuación se presenta la tormenta para periodos de retorno e 10 años, de 50 años y de 100 años, y se puede observar en las figuras 24, 25, 26, respectivamente y tabla 15, que presenta un resumen de los tres períodos:

**FIGURA 24. TORMENTA PARA  $T_r = 10$  AÑOS.**



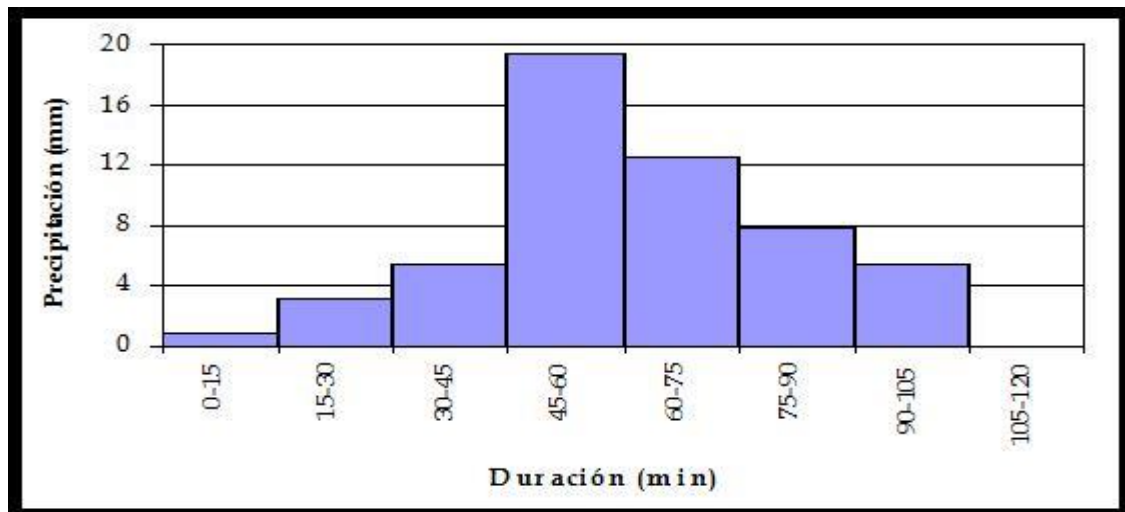
FUENTE: CHOW (1.994).

FIGURA 25. TORMENTA PARA TR = 50 AÑOS



FUENTE: CHOW (1.994).

FIGURA 26. TORMENTA PARA TR = 100 AÑOS



FUENTE: CHOW (1.994).

**TABLA 15. DATOS DE TORMENTAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO**

| Tiempo (min) | Precipit. (m) |       |       |
|--------------|---------------|-------|-------|
|              | Tr=100        | Tr=50 | Tr=10 |
| 0-15         | 1             | 1     | 0     |
| 15-30        | 3             | 3     | 2     |
| 30-45        | 5             | 5     | 4     |
| 45-60        | 19            | 18    | 14    |
| 60-75        | 12            | 11    | 9     |
| 75-90        | 8             | 7     | 6     |
| 90-105       | 6             | 5     | 4     |
| 105-120      | 0             | 0     | 0     |

FUENTE: CORPOCALDAS (2.009)

#### 4. Simulación de caudales con el modelo hec-hms

Los hidrogramas de caudal para una creciente en la cuenca de la quebrada El Perro, se determinaron con el modelo HEC – HMS (Hydrologic Modeling System) del Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers de los Estados Unidos, el cual puede determinar dichos hidrogramas empleando diferentes metodologías de cálculo.

Este modelo está diseñado para simular la escorrentía superficial que resulta de una precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema de componentes interconectados. Cada componente modela un aspecto del proceso

lluvia-escorrentía dentro de una subcuenca o subárea; los componentes incluyen la escorrentía superficial de la subcuenca, los canales y los embalses.

- **Elemento Subcuenca o subárea:** En este elemento, a partir de los datos meteorológicos (en este estudio se empleó solamente la lluvia), se realiza el balance hídrico descontando las pérdidas de agua por infiltración, y se transforma el exceso de precipitación en escorrentía superficial con la posibilidad de trabajar con y sin flujo base.
- **Tramo del cauce o canal:** esquematiza el comportamiento de un canal, con la posibilidad de recibir uno o varios flujos de entrada dando lugar a un solo flujo de salida.

## 5. Resultados para diferentes periodos de retorno

A continuación, se presentan los hidrogramas obtenidos para cada período de retorno (10, 50 y 100 años), empleando los parámetros para la subcuenca o subárea de drenaje hasta el boxcolvert de la Microcuenca El Perro, y se pueden observar en las figuras 27, 28 y 29:

FIGURA 27. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS

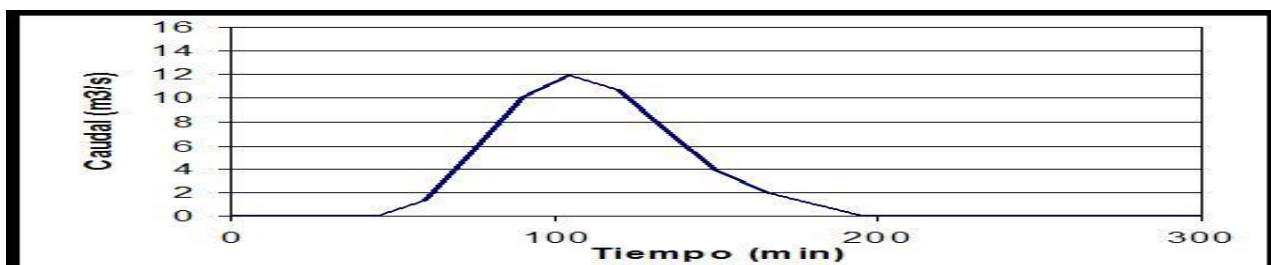


FIGURA 28. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS

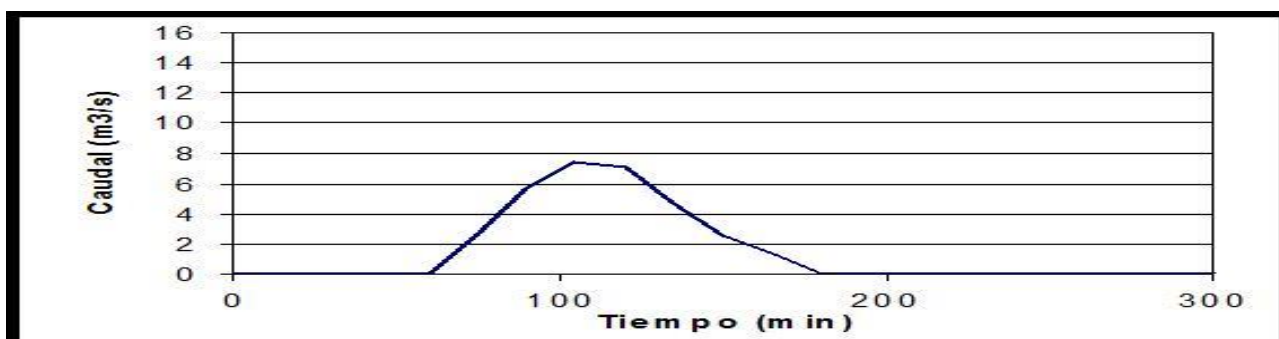
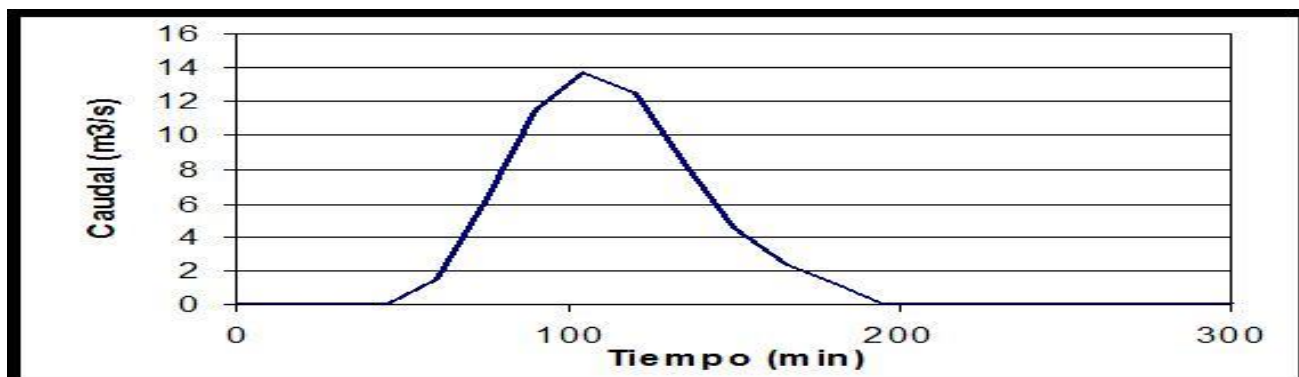


FIGURA 29. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS

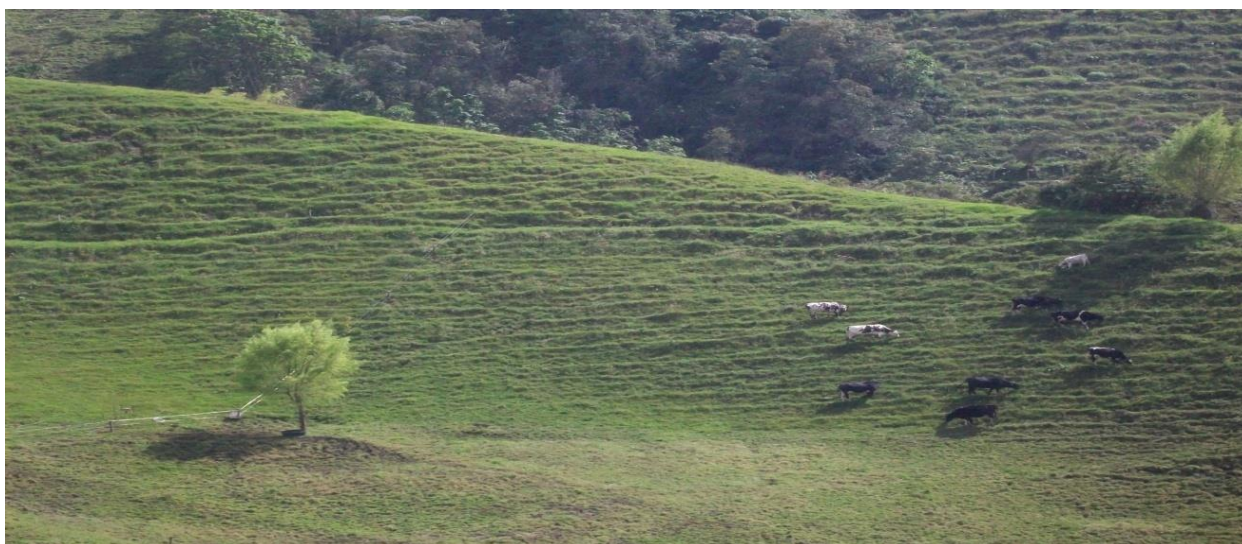


Se realizaron varios recorridos en la Micro cuenca El Perro, tomando datos de campo durante los meses de Enero y Noviembre de 2.011 y de Enero a Mayo de 2.012 y analizando los principales usos que posee esta zona, se determinó su uso

actual el cual está dedicado a los siguientes aspectos: (Ver anexo 3: Cobertura de la capa vegetal en la Cuenca de la Quebrada El Perro).

**5.5.1 Pastos instalados:** Algunos de sus aspectos se pueden observar en la figura 30, que se expone a continuación:

**FIGURA 30. PASTOS INSTALADOS**



**FUENTE: FOTOFRAFÍA DE ANCIZAR BEDOYA. (JUNIO 2.011).**

Es una vegetación herbácea no leñosa, que ha sido introducida en el sector para el pastoreo en forma intensiva; estos pastos ocupan el 67.9% del área, que corresponde a 1.63 km<sup>2</sup> y están dispersos en toda la zona. La especie más abundante encontrada en la zona es el pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y la de menor predominancia es pasto puntero (*Hiparrhenia rufa*), Jaragua, tal como se observa en la tabla 16:

TABLA 16 ESPECIES DE PASTOS COMUNES EN LA ZONA.

| NOMBRE COMÚN  | NOMBRE CIENTIFICO             |
|---------------|-------------------------------|
| Pasto Kikuyo  | <i>Pennisetum Clandetinum</i> |
| Pasto puntero | <i>Hiparrhenia Rufa</i>       |
| Pasto Jaragua | <i>Melinis Minutiflore</i>    |

FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA (2.012)

**5.5.2 Árboles (relicto de Bosque secundario):** Este tipo de vegetación surge al ser abandonadas las actividades antrópicas y se constituye en el primer proceso de regeneración del bosque. Se localiza principalmente a la parte S.W. de la zona, contiguos a los condominios ubicados a lo largo de la vía La Enea-Batallón, con un área aproximada de 0.267 km<sup>2</sup>, equivalente al 12.13% del área, y se presenta en dos fases distinguiéndose árboles alto y arbustos bajo, cuyas especies más características se muestran en la tabla 17:

TABLA 17. TIPOS DE ESPECIES (RELICTO DE BOSQUE SECUNDARIO) MÁS COMUNES EN LA CUENCA QUEBRADA EL PERRO

| NOMBRE COMUN | NOMBRE CIENTIFICO             |
|--------------|-------------------------------|
| Uruapan      | <i>Fraxinos Chinensis</i>     |
| Sauce        | <i>Salix Limminen</i>         |
| Ciprés       | <i>Cupressus sempervirens</i> |

|                      |                                 |
|----------------------|---------------------------------|
| Arrayán de Manizales | <i>Lofoensia pumicifolia</i>    |
| Balso blanco         | <i>Heleocarpus popayanensis</i> |
| Chusque              | <i>Chusquea sp</i>              |
| Carbonero            | <i>Calliandra sp</i>            |
| Chocho               | <i>Erithrina sp</i>             |
| Camargo              | <i>Berberis arbore</i>          |
| Manzanillo           | <i>Rhus toxicodendro</i>        |
| Aliso                | <i>Alnus acuminate</i>          |
| Cedro negro          | <i>Juglans neotropioca</i>      |
| Ficus                | <i>Ficus Benjamin</i>           |
| Ceiba de tierra fría | <i>Spiroteca sp</i>             |
| Congo                | <i>Heliconia bijai</i>          |
| Guadua               | <i>Guadua angustifolia</i>      |
| Encenillo            | <i>Weinmania pubescens</i>      |
| Palma de yucca       | <i>Yuca elephatipis</i>         |
| Subtotal             |                                 |
| Yarumo               | <i>Cecropia peltata</i>         |



|                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|
| Bambú                  | <i>Bambusa sp</i>              |
| Eucalipto              | <i>Eucaliptus globules</i>     |
| Pino patula            | <i>Pinus pátula</i>            |
| Arboloco               | <i>Montanoa cuadrangularis</i> |
| Subtotal               |                                |
| Total Relito de Bosque |                                |

ELABORACIÓN: ANCIZAR BEDOYA LEDESMA (2.011)

A continuación se pueden observar en la figura 31, algunos aspectos de la reforestación en la parte alta de la procuenca:

**FIGURA 31. REFORESTACIÓN PARTE ALTA - PROCUENCA**



**FUENTE: FOTOGRAFÍA. ANCIZAR BEDOYA LEDESMA (AGOSTO 2011).**

De acuerdo al inventario de la Micro cuenca, se determinó que no existe alta incidencia de una especie representativa que abunde en la región y que proteja las laderas con buen amarre como prevención a movimiento masales, sólo de cubrimiento medio se encontraron especies como bambu, yarumo, eucaliptus, arboloco y pino patula como reforestación sobre la ladera de la parte alta cerca al Cerro de Oro, realizada por la empresa Procuenca.

**5.5.3 Agricultura en la zona:** Son áreas que corresponden a pequeños cultivos que surgen por la actividad humana directa y tienen un objetivo de lograr un lucro

o beneficio determinado, principalmente son huertos caseros y flores ornamentales y horticultura. Estos cultivos representan el 1.1% con un área de 0.0242 km<sup>2</sup>. Los más comunes en la quebrada El Perro son los que se relacionan a continuación en la tabla

**TABLA 18 CULTIVOS MÁS COMUNES EN LA CUENCA QUEBRADA EL PERRO**

| CULTIVO   | NOMBRE CIENTIFICO                           |
|-----------|---|
| Naranja   | <i>Citrus sp.</i>                           |
| Guayaba   | <i>Psidium guajava spp</i>                  |
| Limón     | <i>Citrus limon familia : Burnf</i>         |
| Chirimoya | <i>Annona cherimolla. Familia: Anonacea</i> |
| Maíz      | <i>Zea Mays. Familia: Graminea</i>          |
| Frijol    | <i>Phaseoles Vulgaris</i>                   |
| Repollo   | <i>Brasica oleracea</i>                     |
| Cilantro  | <i>Coriandrum sativum</i>                   |

Baja: Cultivo. Media: Pancoger. ELABORACIÓN: ANCIZAR BEDOYA LEDESMA (2.012).

La mayoría de los cultivos son de predominancia baja como huerto casero, sólo como cultivo se encontraron hortalizas (repollo y cilantro) en una sola finca a las orillas de la parte baja de la Micro cuenca el Perro.

El cultivo de hortalizas es manejado como un cultivo limpio, llevado hasta la orillas de la quebrada, su ubicación es en el tramo bajo de la Micro cuenca El Perro. Algunos aspectos, se pueden observar en la figura 32:

**FIGURA 32. FINCA DE ARTURO GALLEGO. SECTOR BAJO DE LA CUENCA EL PERRO.**



**FUENTE: FOTOGRAFÍA. ANCIZAR BEDOYA. (OCTUBRE, 2.011).**

El manejo de ganadería intensiva en la zona ha llevado las pasturas hasta la orilla de los afluentes, lo mismo que los cultivos de hortalizas, sin dejar una franja protectora sobre la orilla de la cañada; además, no se ha establecido un programa en la zona de la micro cuenca con especies propias de la región que contribuyan como disipador de energía de las aguas que bajan como escorrentía o drenajes naturales.

## **5.6 ANIMAL**

Mediante recorridos de campo por la micro cuenca el Perro durante el primer semestre de (2.012), se lograron identificar algunas especies, las cuales se clasificaron de acuerdo al uso del suelo y la vegetación existente en la zona que alberga algunas especies propias de la región.

### **5.6.1 Especies animales en la zona**

Existe en la parte alta de la micro cuenca bovinos tipo leche de raza normando, existe presencia de sobre pastoreo del suelo por presencia de surcos en la ladera ocasionados por las pezuñas de los bovinos.

En la parte alta de la Micro cuenca El Perro, en el sector Cerro de Oro, existen 7 caballerizas en tejas de zinc y eternit, sin canales en los techos y la escorrentía de las aguas lluvias son vertidas hacia la quebrada el Perro, posee pisos de cemento y tierra.

En las viviendas de la región existen aves de corral para el autoconsumo, en baja cantidad. En cuanto a la microcuenca El Perro, se pudo analizar que muchas aves han emigrado de la región, no sólo debido a la deforestación, sino también por falta de hábitat y en especial por escasez de semillas y biodiversidad que puedan garantizar su subsistencia.

## 5.7 INFRAESTRUCTURA

En lo que respecta a la infraestructura y de acuerdo a recorridos de campo realizados en la parte alta, media y baja de la Micro cuenca El Perro, durante los años 2.011 y 2.012, se encontraron los siguientes aspectos relevantes:

### 5.7.1 Obras Civiles De Estabilización de Ladera

En la actualidad, tanto en el sector la Esmeralda, la curva del Mico y en Drive Cerritos se adelantaron obras de estabilización de ladera mediante plaquetas de cemento, infraestructura financiada por el gobierno nacional, programa Colombia Humanitaria, las cuales se pueden observar en la figura 33.

**FIGURA 33. OBRAS CIVILES DE ESTABILIZACIÓN EN EL CERRO DE ORO Y SECTOR LA ESMERALDA**



**FUENTE: FOTOGRAFÍA DE ANCIZAR BEDOYA LEDESMA (2.012)**

En el lecho de la micro cuenca, se están construyeron gaviones en piedra con el fin de proteger dicho lecho de las escorrentías y las cárcavas, la infraestructura civil que se realiza en la Microcuenca El Perro no es suficiente para solucionar la problemática ya que no se le asoció la parte natural para una mejor integración biológica y las obras de estabilidad están dedicadas a proteger las vías y las edificaciones de la parte alta y en la parte baja se desarrollan para reducir la velocidad de las aguas y las avalanchas de lodo producidas en temporadas de lluvias.

### **5.7.2 Vías y zonas peatonales**

En parte alta de la Micro cuenca El Perro, sector Cerro de Oro, se vienen construyendo pasos peatonales con drenajes que vierten sus aguas para la Micro cuenca El Perro, como se aprecia en la figura 34.

**FIGURA 34. ZONAS PEATONALES CON DRENAJES A LA MICRO CUENCA.**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA 2.011**

En el recorrido por la Micro cuenca el Perro, se encontró en la parte alta junto a las obras de estabilidad (plaquetas), el tubo de agua de Manizales que surte la Planta de agua el cual esta cerca del Cerro de Oro, este tubo se encuentra apoyado con infraestructura metálica, pero con anclaje en las obras de estabilidad sin un apoyo firme como podemos observar en la figura 35.

**FIGURA 35. TUBO DE AGUAS DE MANIZALES PARTE ALTA DE LA MICRO CUENCA**



**FUENTE: FOTOGRAFIA ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA 2.011**

### **5.7.3 Urbanismo en la Microcuenca**

En la micro cuenca el Perro, se encontraron áreas destinadas para agrupamiento de construcciones. En la zona, los edificios de apartamentos y casas de dos a tres pisos se encuentran a lo largo de la carrera 23 hasta la planta de tratamiento de aguas de Manizales.

Las viviendas tipo conjuntos residenciales cerrados están ubicados en la parte baja de la carretera a La Enea, hacia el sector del Cerro de Oro se localizan



viviendas de tipo campestre y fincas. En su totalidad estas zonas comprenden el 10% del área, representado por 0.220 km<sup>2</sup>.

El 20% de las viviendas identificadas en la micro cuenca el Perro, son en concreto y ladrillo un 20%, incluyendo el edificio y otras viviendas del Cerro de Oro, especialmente las ubicadas en la parte alta de la Micro cuenca el Perro, el edificio de la parte alta y las viviendas poseen buenos canales de desagüe y vierten sus aguas negras en el alcantarillado municipal.

En un análisis y revisión de la base del edificio se encontró que junto a la vía se encuentra el tanque de almacenamiento de aguas muy cerca a la estabilización con plaquetas que se están realizando. Se recomienda la revisión periódica del tanque con el fin de evitar infiltraciones de agua que afecten el talud. Las viviendas en un 90% no posee canales de desagüe en sus techos y su aguas negras contaminan la quebrada el Perro y del 80% de las viviendas, algunas son de bahareque, poseen pozos sépticos los cuales infiltran sus aguas en el suelo afectando la Micro cuenca el Perro.

En la figura 36, se puede observar la estructura de las casas de bahareque con techo de teja sin canales.

**FIGURA 36: CASAS DE BAHAREQUE, CON TECHO DE TEJA, SIN CANALES, SECTOR CERRO DE ORO**



**FUENTE: FOTOFRAFÍA DE ANCIZAR BEDOYA. JULIO DE 2.011.**

El resto de viviendas ubicadas en el sector Cerro de Oro, poseen techos de teja de barro, Eternit y zinc sin canales, vertiendo sus aguas de escorrentía de los techos hacia la Micro cuenca, se observó que la mayoría se infiltran en el suelo en un 70% y el resto caen por escorrentía a los caños que surten la Quebrada El Perro.

En la parte baja de la quebrada el Perro, en límites con Expo ferias, se encuentra el barrio el Chachafruto y en su margen derecha bajando las viviendas son en bahareque con recubrimiento y ladrillo, existen una vivienda afectada por la avalancha del año 2.010 y el resto de viviendas 11 no se encuentran afectadas, el resto de las viviendas del barrio se encuentran en la margen izquierda bajando de la quebrada el Perro, se desalojaron las viviendas cercanas al cauce de la quebrada el Perro y las reubicaron.

Existe un puente colgante sobre la quebrada en la parte baja, al frente del barrio el Chachafruto que une las viviendas de las dos márgenes del río.

## **5.8 FACTOR HUMANO**

Para el análisis de esta categoría, se tuvo contacto directo con diferentes personas de la comunidad de la cuenca mediante charlas informales y testimonios libres, de los cuales se lograron los siguientes resultados:

### **5.8.1 Aspectos organizacionales y comunitarios**

La vereda el Chachafruto posee una junta de acción comunal presidida por la líder Señora Betty Villamil Pulido, los cuales están solicitando urgentemente la reubicación de 12 viviendas las cuales se encuentran cerca a la quebrada el perro.

En la parte alta de la Micro cuenca, sector cerro de oro, los líderes Germán González Restrepo y María José Salazar en nombre de la comunidad colocaron el 14 de Diciembre de (2.010), una acción popular contra Corpocaldas, el municipio de Manizales, el ministerio del Medio Ambiente, vivienda y desarrollo territorial y aguas de Manizales, sobre la afectación en la vereda Buenavista en sus zonas verdes, manejo de las fuentes hídricas y los problemas de suelos de la zona.

El debate entre bioingeniería y pantallas de concreto ha sido amplio en Manizales. Arango Gartner asegura que la bioingeniería es mejor para las zonas rurales, pero que en este caso específico ha funcionado mejor la ingeniería con pantallas, gaviones y canales con rigor técnico. "Sabíamos desde el principio que no se alcanzaría a terminar todo el tratamiento. Aquí están todas las medidas y los libros están abiertos a quien quiera verlos. Nuestro objetivo se cumplió" (Textual Villamil 2.010).

Los vecinos, sin embargo, creen que el cemento no solucionará el problema, pues ven nuevas erosiones, grietas y recorridos de agua. "No hay presupuesto público que pueda cubrir ese deterioro", alegan.

A pesar de las quejas, Corpocaldas realizó una inversión de \$1.700 millones de pesos de Colombia Humanitaria en la curva del mico. La obra se le adjudicó a Orlando Castañeda Fierro, ingeniero de Manizales. "A principios de julio de 2.010.

Para esta nueva convocatoria, el Gobierno Nacional exigió una interventoría externa, en este caso la hará Carlos Germán Mejía Cordobés y está planeada para un año de entrega. En total, la Curva del Mico ha costado 4.824 millones de pesos y completará 3 años de construcción.

La comunidad se viene quejando en forma reiterativa sobre las diferentes problemáticas con las obras y las inversiones tan altas que solo protegen la vía hacia la vereda Buenavista, pero que no contribuyen con la solución de la Microcuenca de la quebrada el Perro.

## **CAPITULO VI.**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

Los resultados más relevantes de la evaluación diagnóstica integral y sistémica de la Micro-cuenca de la quebrada El Perro del municipio de Manizales, se pueden describir de la siguiente forma:

#### **6.1 ROCA**

El estudio geológico de la categoría ROCA, se apoyó en la investigación de Escobar y Reyes, 2.003, “Zonificación de la estabilidad de la ladera Noroccidental de la Quebrada el Perro”, en documentos aportados por el Doctor Fernando Sánchez Zapata, Ingeniero Geólogo de la Universidad de Caldas, y en los recorridos de campo y seguimiento a la estabilidad de suelos durante los años 2.011 y 2.012, evidenciando los siguientes resultados:

##### **6.1.1 Macro-geotecnia**

El marco geológico regional del área de investigación, está demarcado, según Barrera dentro de una zona de convergencia de placas, (suramericana, pacífica y cocos), y expuesto a intenso fallamiento y magmatismo generados por el movimiento tectónico de estas, ubicándose en el sistema montañoso de los Andes

colombianos, en el flanco occidental de la Cordillera Central. (Ver anexo 1: Mapa de unidades geomorfológicas de la quebrada El Perro).

La zona se encuentra ubicada en el terreno Cauca romeral, planteado por Etayo (1986), quien propone que el territorio Colombiano se formó a partir de la acreción de 11 terrenos alóctonos con basamento continental y oceánico. En el Precámbrico se da inicio con el escudo de Guyana y al cual se le adicionan una serie de terrenos con basamento continental a partir de la falla Guaicáramo; esto hasta la paleosutura de Romeral. Luego desde el Cretácico y hasta finales del Terciario se da la acreción de otros terrenos, principalmente con basamento oceánico.

Restrepo y Toussaint (1995), presentan otro enfoque para afrontar el problema de los terrenos de Colombia, proponiendo de esta forma que en el Precámbrico se adicionan al escudo de Guyana el terreno Andaquí, durante el evento Nickeriense originando lo que se ha denominado el bloque autóctono, que hace parte del cratón amazónico con corteza continental.

En el Paleozoico diversas orogenias hacen que el terreno Chibcha, con basamento continental Precámbrico, se adicione al bloque autóctono, por medio de la falla de Guaicáramo. En el Jurásico un importante cinturón magmático afecta el borde occidental generando una significativa cobertura sedimentaria meso cenozoica.

El terreno Tahami, de corteza continental, y el Calima, con basamento oceánico, que comprende gran parte de la cordillera occidental y el flanco W de la cordillera central y formada de unidad exclusivamente Cretácicas representando arcos insulares y/o de ambientes de plateaux oceánico.

Estos dos terrenos, se amalgaman en el Cretácico originando importantes eventos tectometamórficos y se acrecionan al oriente colombiano por medio de la falla de Otú – Pericos, finalizando el Cretácico o principios del Cenozoico (Vargas, 1.990. La unión de estos terrenos origina el bloque andino, al cual en el Mioceno se le acreciona el terreno Cuna, de basamento oceanico. La zona de estudio entonces, se encuentra ubicada en el terreno Calima. Restrepo y Tousaint, 1.995.

Durante el cretácico o principios del cenozoico, el amalgamiento del terreno Tahami de corteza continental y el Calima con basamento oceánico que comprende gran parte de la cordillera occidental y el flanco W de la cordillera central, origina el bloque andino; la zona de estudio, ubicada en el terreno Calima.

De acuerdo con Etayo (1986) y Restrepo y Tousaint J.F (1995), las rocas que afloran en estos terrenos son de ambientes marinos y submarinos de edad Cretácea, que corresponde a una mezcla estructural con predominio de basaltos de afinidad toleítica y rocas sedimentarias como chert, turbiditas siliciclásticas granulares, presentando cuñas de metagabros, anfibolitas granatíferas, esquistos pelíticos y básicos, esquistos verdes y azules; presentan secuencias ofiolíticas o komatiíticas, plutones calco alcalinos e intrusivos subvolcánicos.

Una de las unidades que conforman estos terrenos y que aflora en la zona de estudio es la formación Quebrada grande, definida por Botero (1963) y redefinida por Botero y González (1983); otros autores que han descrito las rocas de esta formación (González 1980, Álvarez 1983, y Lozano 1.984); la dividen en dos miembros, uno volcánico y otro sedimentario.

El miembro volcánico está formado por un derrame de rocas verdes, compuesto de espilitas, basaltos y diabasas con características toleíticas y algunas brechas de flujo y tobas, lo que sugiere un ambiente de arco volcánico, González (1976).

El miembro sedimentario, corresponde en su mayor parte a lutitas carbonosas y arcillosas, algunas intercalaciones de grawacas, areniscas, limolitas, liditas y bancos de caliza, Botero y González (1983). La edad obtenida por medio de fósiles de esta formación varia de cretáceo inferior (Grosse 1926) a cretáceo superior, Radelli (1967).

A finales del Cretáceo y comienzos del Terciario se da inicio a la orogenia Andina y el surgimiento de complejos volcánicos en la cordillera Central, entre el Campaniano y el Oligoceno se produjo el fallamiento de la formación Quebrada Grande y el emplazamiento de cuerpos de gabros; Naranjo y Ríos (1989).

En el Mioceno se inicia una fuerte actividad volcánica lávica, en el eje de la cordillera central, aportando los primeros clástos volcánicos a las formaciones de pie de monte de la cordillera, González (1980); estos depósitos están constituidos por la formación Manizales, reportada inicialmente por Flórez (1986), quien la



determina como una acumulación volcano-detritica de pie de monte y definida posteriormente por Naranjo y Ríos, 1.989, como rocas sedimentarias volcanogénicas derivadas del complejo volcánico Ruiz-Tolima y depositadas en un intervalo de 4 a 8 Ma.

En el Plioceno, se produce una reactivación tectónica y un nuevo periodo de producción y distribución de sedimentos volcánicos, originando la formación Casabianca; que es nombrada inicialmente por Thouret et al. (1985), y después por Borrero y Naranjo (1990), quienes la definen como depósitos volcanogénicos con fragmentos de ignimbritas, tobas, y sedimentos volcánicos re trabajados, originados por el complejo volcánico Ruiz-Cerro Bravo, depositados por medio de corrientes fluviales en forma de abanico y acreción lateral principalmente.

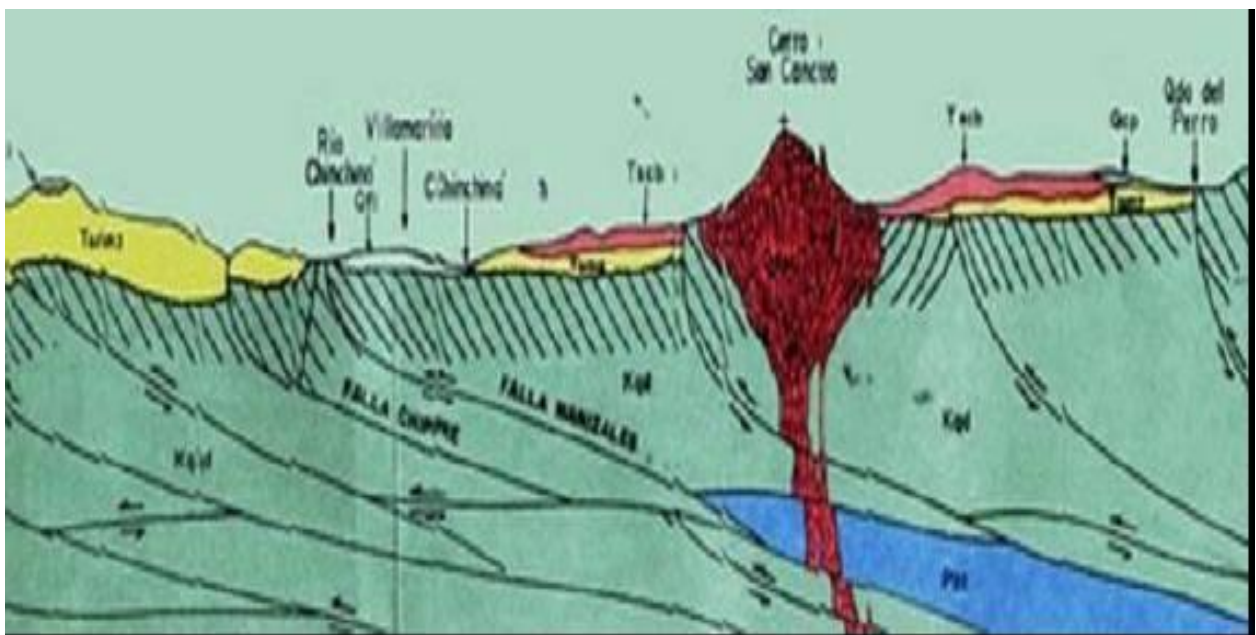
Esta reactivación tectónica, que aún continua, es la responsable de la depositación de la secuencia piro clástica, la cual esta depositada siguiendo la paleo topografía para el área de Manizales, tiene un espesor promedio de 7m.

### **6.1.2 Geo-localización del Municipio de Manizales**

La ciudad de Manizales geológicamente se encuentra en el Complejo Quebrada grande (Kqd). Se compone por dos miembros, uno volcánico formado por una franja larga y estrecha de rocas tales como espilitas, basaltos y diabasas con características toleíticas y con cantidades menores de brechas de flujo y tobas, relacionándose con toleítas oceánicas generadas en una zona de rift.

El otro miembro es el sedimentario, compuesto principalmente por lutitas carbonosas y arcillosas y en menor proporción grawacas, areniscas feldespáticas, limolitas, liditas, localmente bancos de caliza negra con venas de cuarzo paralelas a la estratificación y a los planos de cizalladura cuando están relacionadas con zonas de falla donde la roca, por efectos dinámicos adquiere una estructura esquistosa. A continuación, se presenta la figura 37, en la cual se puede apreciar el corte geológico de Manizales:

FIGURA 37. CORTE GEOLÓGICO DE MANIZALES



FUENTE: NARANJO Y RÍOS (1.989)

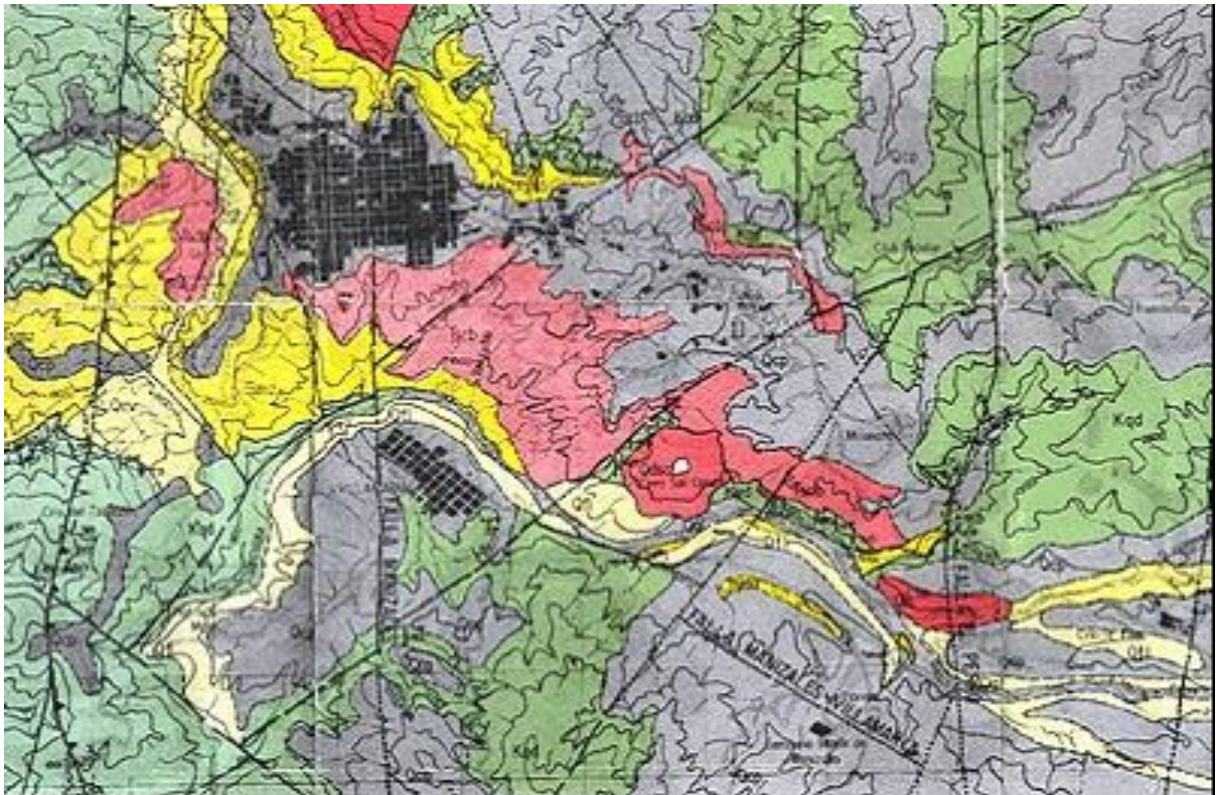
En la formación de Manizales (TSMZ), Naranjo y Ríos (1.989), referencian una "acumulación volcano-detrítica de piedemonte"; la cual, consiste en un conjunto de rocas sedimentarias volcano-génicas derivadas del complejo volcánico Ruiz -

Tolima. La base de la unidad descansa discordantemente sobre el Complejo Quebrada Grande.

Litológicamente es un conglomerado poligomíctico con matriz de arcilla, limo, arena y grava, poco litificado y compuesto por fragmentos redondeados y mal seleccionados de anfibolitas, brechas sedimentarias, esquistos micáceos, grawacas, gneis biotítico, cuarzo ahumado, cuarzo lechoso, cuarzodioritas.

En la figura 38, se puede apreciar el mapa geológico estructural de la zona en estudio:

**FIGURA 38. MAPA GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE ESTUDIO**



FUENTE: NARANJO Y RÍOS, 1.989

En este mapa geológico, se puede observar **la Formación Casabianca (Tscb)**: Bajo esta denominación se agrupan sedimentos volcanogénicos de grano grueso y en menor proporción, ignimbritas, tobas y sedimentos volcánicos re trabajados de grano fino, producidos como resultado de una gran agradación de flujos de lava en los cauces fluviales, inducidos por el volcanismo de la cadena Ruiz-Cerro Bravo.

### **6.1.3 Caracterización de los materiales encontrados en el estudio geotécnico de la Micro-cuenca el Perro**

La Unidad I, Corresponde a una secuencia de material volcánico, de depósitos de caída piroclástica, que presenta diferentes niveles de cenizas de tamaño arena fina a gruesa intercaladas con niveles de lapilli grueso y pómez, que en algunos casos alcanzan hasta 3 cm de diámetro.

En la clasificación de los estudios de las rocas de la sub unidad B, la cual se encuentra distribuida en toda el área de estudio, se encuentran cenizas entre 3 y un máximo de 8 metros de profundidad, que ocupan una área del 33.67% de toda la cuenca el Perro, lo que la hace altamente susceptible a problemas erosivos rotacionales como su puedo constatar en los recorridos de campo.

## **6.2 SUELO**

En lo que respecta al análisis de esta categoría, se observaron algunos procesos erosivos en el área de la Micro-Cuenca El Perro, los cuales se describen a continuación:

### 6.2.1 Procesos Erosivos

- **Erosión Pluvial:** Este tipo de erosión, es producto de las gotas de lluvia que contribuyen al desprendimiento de las partículas o granos del suelo y el posterior transporte de los materiales disgregados en la zona, ya sea en capas bien definidas o por caminos preferenciales surcos o cárcavas.
- **Erosión Laminar:** Este proceso, se inicia por el impacto de las gotas de lluvia en el suelo y continúa con el transporte en capas bien definidas de suelo por acción de un flujo laminar poco profundo; éste, adquiere mayor o menor fuerza dependiendo de la pendiente de la ladera; en pendientes altas y largas, se convierte en turbulento aumentando en forma importante la capacidad de erosión.

Este tipo de erosión, no es fácil de reconocer a primera vista, principalmente se identificó en el área de la Micro cuenca El Perro, en zonas de cultivos no permanentes donde el suelo está más desprotegido; también se observó en los terrenos de pastoreo, donde fue removida la vegetación arbustiva para el crecimiento de este tipo de pastos, que si bien protege la superficie del suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, no impide que se genere un flujo laminar. Además, la erosión laminar, es más evidente, en las caras libres de los taludes naturales presentes al NE de la zona, como en los taludes antrópicos productos de cortes para

construcciones y vías, en el sector SW donde hay predominio de zonas urbanizadas.

- **Erosión en surcos y Cárcavas:** Ocurre cuando el flujo superficial se concentra en caminos preferenciales debido a la irregularidad natural del terreno, arrastrando las partículas del suelo y dejando canales de poca profundidad. Al avanzar este fenómeno se profundizan y amplían los surcos lo cual facilita el transporte lateral y frontal de materiales, debido a que las ratas de flujo son mayores denominándose cárcavas.

Dichos procesos, se presentan de forma clara en los taludes y en los cuerpos de los movimientos en masa, este proceso se acelera por la intervención antrópica que deja zonas desprovistas de toda clase de vegetación, hechos muy comunes en la micro cuenca por la falta adecuada de tratamientos de aguas desde la parte alta, sector del cerro de oro hasta la parte baja.

En la figura 39, se pueden observar aspectos relevantes, de la erosión en surcos y cárcavas, así:

**FIGURA 39. EROSIÓN EN SURCOS Y CÁRCAVAS PARTE MEDIA DE LA MICROCUENCA EL PERRO**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA-2012**

- **Erosión fluvial:** Representada por socavamiento lateral y de fondo. Se trata del desprendimiento, transporte y deposición de las partículas del suelo por la acción de corrientes de volúmenes de agua en movimiento, se presenta principalmente en quebradas y ríos; en la zona este fenómeno se restringe a la quebrada el Perro y algunos de sus afluentes en los cuales predomina la socavación de fondo, debido a que son corrientes de bajo orden y transcurren por zonas de alta pendiente.

El socavamiento lateral se presenta en las partes bajas de la quebrada el Perro donde ésta adquiere mayor caudal y menor pendiente y en la parte Sur donde se presenta un pequeño tramo del río Chinchiná que transcurre por una zona de baja pendiente.

- **Erosión Profunda:** Ésta, consiste en el desplazamiento de grandes volúmenes de material, puede ser de una sola masa o comprender varias unidades de masa, siendo la gravedad y el agua los principales agentes generadores de estos movimientos. Los procesos erosivos profundos presentes en la zona son de tres tipos:
- **Deslizamientos:** Este tipo de erosión profunda consiste en el desplazamiento de volumen de material litológico, a través de un corte y a lo largo de una o varias superficies de ruptura, desarrollando una zona de desplazamiento y una zona de acumulación de material.

El movimiento puede ocurrir en laderas suaves o escarpadas a diferentes velocidades, y los principales agentes son la gravedad y la humedad. La ruptura ocurre por diferentes mecanismos y formas, lo que permite diversas clasificaciones.

Este tipo de erosión es muy recurrente en la parte media de la Micro cuenca El Perro y es debido, a desprotección de cauces, manejo de aguas, a la falta de obras de bio ingeniería bien orientadas en acuerdo con la comunidad y el sector público que contribuyan a disminuir este efecto degradativo.

En la figura 40, se pueden apreciar un deslizamiento a la orilla de la Micro-cuenca el Perro del municipio de Manizales.



**FIGURA 40. DESLIZAMIENTO A LA ORILLA DE LA QUEBRADA DE LA MICROCUENCA EL PERRO, DEBIDO A LA DEFORESTACIÓN Y SIEMBRA DE HORTALIZAS**



**FUENTE: FOTOGRAFÍA DE ANCIZAR DE JESÚS BEDOYA (2.012).**

- **Los deslizamientos rotacionales:** Son los de mayor ocurrencia en el área de la Micro cuenca el Perro, representando el 80% del total de deslizamientos. Se encontraron distribuidos principalmente al N.E. en el sector del Zancudo, y hacia la parte central de la zona, su característica principal es que la superficie de ruptura es circular a semicircular y cóncava hacia arriba, generando varias grietas superficiales en la corona y provocando el avance del movimiento ladera arriba.

En la figura 41, se puede observar un movimiento rotacional en el sector medio de la Micro-cuenca en estudio.

**FIGURA 41. MOVIMIENTO EN MASA, SECTOR MEDIO DE LA MICROCUENCA EL PERRO**



**FUENTE: FOTOGRAFÍA DE ANCIZAR DE JESÚS BEDOYA. MARZO DE 2011**

Entre las principales causas generadoras de los deslizamientos en la zona, se encuentran: el cambio del uso del suelo, debido a que se eliminó la vegetación nativa para aumentar la zonas de pastoreo y algunos cultivos de hortalizas; la fuerte y larga pendiente de algunas laderas, la presencia de niveles freáticos, las características mecánicas y espesor del material.

- **Deslizamientos Traslacionales:** Se encontraron como de alto impacto en la Micro-cuenca, con un 80%, la superficie de falla es más o menos plana o ligeramente ondulada, desplazando la masa hacia fuera y hacia abajo y presenta muy poco movimiento de rotación o volteo. La superficie de ruptura es de forma continua, con grietas laterales y superficiales.

Los elementos generadores de éstos deslizamientos son principalmente el cambio en el uso del suelo, ya que afecta principalmente zonas de pastoreo, el alto ángulo de la pendiente, las características del material y discontinuidades a favor de la pendiente; los niveles freáticos no afloran en la cara libre del talud ni en el cuerpo de masa pero el material se presenta húmedo. En la figura 42 que se expone a continuación se puede un ejemplo de deslizamiento, que afecta la pata de una de las pantallas de concreto del sector Cerro de Oro, de la Micro-cuenca El Perro.

**FIGURA 42. DESLIZAMIENTO EN LA PATA DE LA ESTRUCTURA DE LA PANTALLA DE CONCRETO, DESESTABILIZANDO LA MISMA.**



**FUENTE: FOTOGRAFÍA DE ANCIZAR BEDOYA LEDESMA 2.012**

- **Flujos:** Se trata de fenómenos de remoción en masa donde existe un movimiento de las partículas o bloques dentro de una masa, se asocia generalmente a la saturación de los materiales sub-superficiales, pueden ser lentos o rápidos, dependiendo del grado de saturación y el ángulo de la pendiente.

Se clasifican de acuerdo al material involucrado así: Flujos de lodo, donde el principal agente motor es el agua; flujos de tierra, los cuales se encuentran húmedos pero no saturados; y, flujos de escombros que se constituyen de una mezcla de suelo, roca y restos vegetales, con bajo grado de saturación, por cierto muy destructivos.

En la zona estos procesos no son muy frecuentes; se encuentran asociados al cuerpo de masa generado por los deslizamientos con niveles freáticos altos y que se dan en las márgenes de las quebradas; ocurren de forma lenta, sin presentar una amenaza importante a las zonas habitadas, solo afectan la dinámica de la quebrada. Los tipos de flujos presentes en la zona corresponden principalmente a flujos de lodo y de tierra.

- **Reptación:** Consiste en movimientos muy lentos (pocos cm/año) de materiales de baja cohesión, afecta grandes áreas de terreno, no presenta una superficie de falla bien definida pero es identificable gracias a las Geofomas que se desarrollan en el terreno como rugosidades del suelo, geotropismo en los árboles, abombamientos locales etc.

En la ladera N.W. de la quebrada El Perro este proceso se origina debido al cambio en el uso del suelo, reemplazando la vegetación arbustiva por pastos y cultivos, lo que se combina con una larga y fuerte pendiente, originando en el terreno formas de terracetas, que están presentes en un 65% de la zona.

La figura 43, permite visualizar reptaciones en la Micro-cuenca El Perro.

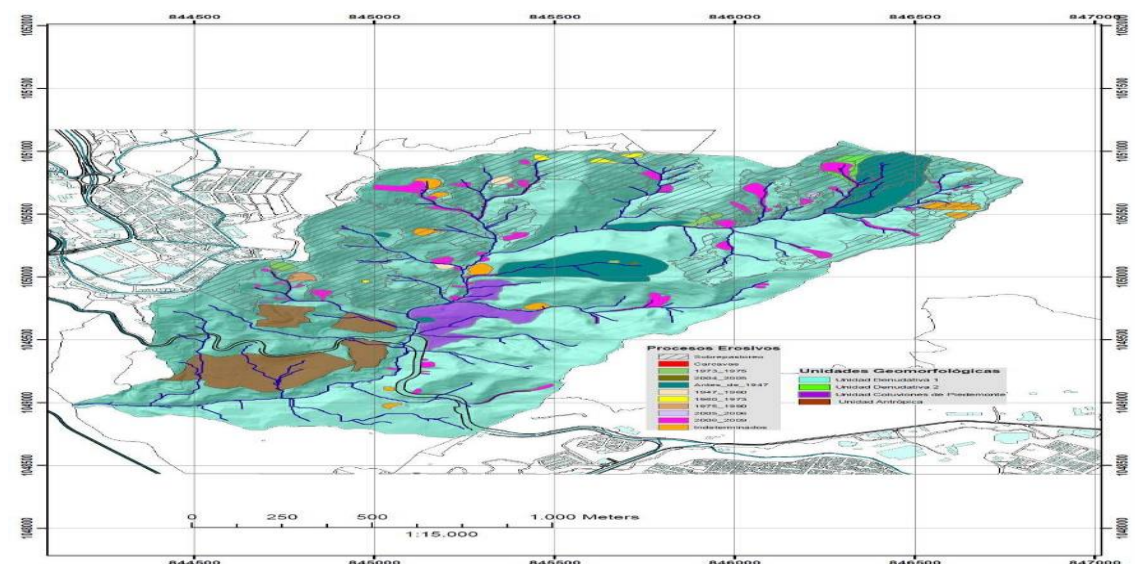
**FIGURA 43. REPTACIÓN IDENTIFICADA EN LA MICROCUENCA EL PERRO**



**FUENTE: FOTOGRAFÍA DE ANCIZAR BEDOYA. FEBRERO (2.012)**

En la figura 44, se puede apreciar la distribución de los procesos erosivos a lo largo de la Micro-cuenca en estudio.

**FIGURA 44. PROCESOS EROSIVOS EN EL ÁREA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA EL PERRO**



**FUENTE: PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIA DE MANIZALES 2.010**

Otro aspecto importante de los suelos del área en estudio, son los procesos degradativos encontrados en la Micro cuenca, involucran el desprendimiento y arrastre de los materiales de la superficie, los cuales son transportados principalmente por la acción del agua con la contribución de la gravedad, induciendo al desgaste y empobrecimiento de la capa orgánica superficial del suelo, que se ve agravada por la actividad del hombre quien perturba el equilibrio del paisaje, con el uso y manejo irracional del mismo.

Los procesos erosivos solos, tienen tratamiento sobre la vía del Cerro de Oro junto al edificio, la curva del mico y en el lecho de la Micro cuenca, el resto de laderas que poseen erosión traslacional en un 80%, debido a su textura franco arenosa,

contradiendo lo citado por Barrera 2003, quien afirma que son procesos rotacionales.

Estas laderas de pendientes escarpadas donde predomina la escorrentía en periodos lluviosos y con baja protección de coberturas vegetales, son altamente susceptibles a los procesos erosivos.

Igualmente, en Barrera 2003, se analiza que los procesos erosivos son profundos y corresponden a dos deslizamientos rotacionales de grandes dimensiones especialmente en el Cerro de Oro, con nivel freático aflorante en la cara libre del talud (corona del deslizamiento) a los diez metros de profundidad desde la parte superior; en la actualidad este talud se encuentra en proceso de estabilización por medio de obras civiles que no representan una seguridad confiable hacia el futuro y en la base del lecho inicial de la Micro cuenca se están realizaron obras de gavionería en piedra con drenas en concreto no teniendo en cuenta el drenaje principal de las escorrentías por lluvias e infiltraciones en el suelo del agua de la parte alta de la Micro cuenca el perro.

Un aspecto importante de relevar, es que la estructura geológica predominante del sector, corresponde a la Falla El Perro, con una orientación N-S, y rasgos morfo-tectónicos como hombreras de falla, trincheras y recurrencia de procesos erosivos a pesar de las diferentes obras de ingeniería realizadas en la zona, las cuales mitigan los efectos y no las causas de la problemática erosiva de la zona.

### **6.3 TOPOGRAFÍA (GRADO Y LONGITUD DE LA PENDIENTE)**

La topografía de la zona (micro cuenca El Perro), presenta pendientes muy fuertes desde un 30% hasta un 75%, las cuales se encuentran en pasto y rastrojos de amarre superficial de los suelos. Es decir, pueden llegar a proteger los suelos contra la erosión, pero no contra los movimientos en masa que se presentan en áreas donde se han iniciado procesos de erosión severa.

En cuanto al lecho de la Micro cuenca el Perro y sus laderas posee desprotección en las cañadas lo que ocasiona que el agua baje en forma torrencial.

### **6.4 CLIMA**

La temperatura media anual de la zona es de 18,4°C, con una humedad relativa aproximadamente de un 85%, con una precipitación promedio de 210 a 270 mm en periodos lluviosos y en periodos secos de 140 mm/mes. Lo que hace posible, que muchas especies tanto de flora como de fauna puedan volver a establecerse en esta zona.

Al incrementar la flora propia de esta zona se favorece un micro clima especial que contribuya al amarre del suelo y a la regulación hídrica de la región, lo que induce, además a una protección adecuada del recurso con un incremento del mulch, que obraría, como una espoja para la retención de humedad que ayude a la auto regulación del medio.



En la zona existen riachuelos y drenajes de escorrentía de lluvias que al estar desprotegidos de las coberturas vegetales, son torrenciales en el invierno ocasionando grandes avenidas, que se desbordan inundando y destruyendo cultivos, viviendas, vías, y demás obras de infraestructura aguas a bajo.

En verano sufren evaporación en su recorrido incidiendo en una sequia, que engaña a los habitantes y a los mismos organismos del Estado, caso Corpocaldas, obras publicas municipales y departamentales, y aguas de Manizales, entre otras, haciéndoles creer que son afluentes inofensivos, dando lugar, en muchas ocasiones a la construcción de viviendas, que en invierno deben ser evacuadas, caso de las viviendas de la parte baja del Barrio el Chachafruto.

En cuanto a la hidrología, la intervención antrópica sobre este cauce ha afectado en gran medida sus aguas, observándose que ha sido canalizada y taponada por llenos especialmente en el sector de expo ferias. En el sector correspondiente a la vereda Bella vista, en la parte baja de la planta de tratamiento de aguas de Manizales, los drenajes se presentan canalizados.

Las lluvias en la zona y la intervención antrópica sobre la vegetación y los suelos de la zona han sido el detonante de muchos eventos que en el pasado han contribuido al arrastre de material por el cauce de la Micro cuenca, como podemos observar en la figura 45.

**FIGURA 45. EVENTO EROSIVO SOBRE EL LECHO DE LA MICRO CUENCA EL PERRO**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA, OCTUBRE 2.012**

Los drenajes en los laterales, en las bases y en las bajantes de las contrucciones (plaquetas de cemento) no poseen en su mayoría discipadores de energía de aguas lluvias lo que ocasiona rebose en épocas de lluvia, además de socavación de las contruccion en su base y en sus laterales.

## **6.5 PLANTA**

En las Tablas 19, 20 y 21, se observan las diferentes especies vegetales predominantes en la Micro cuenca El Perro. Esta se encuentra cubierta en un 80% por pastos, seguida de un relicto de bosque secundario (15%) y un 5% en cultivos, especialmente de hortalizas y frutales como huerto casero.

**TABLA 19. ESPECIES DE PASTOS COMUNES EN LA ZONA. ANALISIS Y PREDOMINANCIA Y CALIFICACIÓN EN LA ZONA, MICRO CUENCA EL PERRO.**

| NOMBRE COMÚN  | NOMBRE CIENTIFICO      | PREDOMINANCIA Y CALIFICACIÓN |              |
|---------------|------------------------|------------------------------|--------------|
|               |                        | PREDOMINANCIA                | CALIFICACIÓN |
| Pasto Kikuyo  | Pennisetum Clandetinum | ALTA                         | 45%          |
| Pasto puntero | Hiparrhenia Rufa       | MEDIA                        | 25%          |
| Pasto Jaragua | Melinis Minutiflora    | BAJA                         | 10%          |
| <b>TOTAL</b>  |                        |                              | <b>80%</b>   |

FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA (2.012)

**TABLA 20. TIPOS DE ESPECIES, ARBOLES Y ARBUSTOS (RELICTO DE BOSQUE SECUNDARIO) MÁS COMUNES EN LA CUENCA QUEBRADA EL PERRO. ANALISIS DE PREDOMINANCIA Y CALIFICACIÓN**

| NOMBRE COMUN | NOMBRE CIENTIFICO  | PREDOMINANCIA EN LA ZONA Y CALIFICACIÓN |               |
|--------------|--------------------|---|---------------|
|              |                    | CALIFICACIÓN                            | PREDOMINANCIA |
| Uruapan      | Fraxinos Chinensis | Baja                                    | 0,001         |
| Sauce        | Salix humboldii    | Baja                                    | 0,001         |

|                      |                                 |      |       |
|----------------------|---------------------------------|------|-------|
| Ciprés               | <i>Cupressus sempervirens</i>   | Baja | 0,002 |
| Arrayán de Manizales | <i>Lofoensia pumicifolia</i>    | Baja | 0,002 |
| Balso blanco         | <i>Heleocarpus popayanensis</i> | Baja | 0,002 |
| Chusque              | <i>Chusquea</i> sp              | Baja | 0,001 |
| Carbonero            | <i>Calliandra</i> sp            | Baja | 0,002 |
| Chocho               | <i>Erithrina</i>                | Baja | 0,001 |
| Camargo              | <i>Berberis</i> arbore          | Baja | 0,002 |
| Manzanillo           | <i>Rhus toxicodendro</i>        | Baja | 0,001 |
| Aliso                | <i>Alnus acuminata</i>          | Baja | 0,001 |
| Cedro negro          | <i>Juglans neotropica</i>       | Baja | 0,001 |
| Ficus                | <i>Ficus Benjamin</i>           | Baja | 0,001 |
| Ceiba de tierra fría | <i>Spiroteca</i> sp             | Baja | 0,002 |
| Congo                | <i>Heliconia bijai</i>          | Baja | 0,001 |
| Guadua               | <i>Guadua angustifolia</i>      | Baja | 0,002 |
| Encenillo            | <i>Weinmania pubescens</i>      | Baja | 0,001 |
| Palma de yucca       | <i>Yuca elephatipis</i>         | Baja | 0,001 |

|                         |                         |       |      |
|-------------------------|-------------------------|-------|------|
| Subtotal                |                         |       | 2%   |
| Yarumo                  | Cecropia peltata        | Media | 3    |
| Bambú                   | Bambusa sp              | Media | 0.5  |
| Eucalipto               | Eucaliptus globules     | Media | 1.5% |
| Subtotal                |                         |       | 4%   |
| Pino patula             | Pinus pátula            | Alta  | 5%   |
| Arboloco                | Montanoa cuadrangularis | Alta  | 5%   |
| Subtotal                |                         |       | 9%   |
| Total Relicto de Bosque |                         |       | 15%  |

**TABLA 21. CULTIVOS MÁS COMUNES, EN LA CUENCA QUEBRADA EL PERRO, ANALISIS DE PREDOMINANCIA Y CALIFICACIÓN**

| CULTIVO   | NOMBRE CIENTIFICO        | PREDOMINANCIA Y CALIFICACIÓN |              |
|-----------|--------------------------|------------------------------|--------------|
|           |                          | PREDOMINANCIA                | CALIFICACIÓN |
| Naranja   | <i>Citrus sp.</i>        | Baja                         | 0.1          |
| Guayaba   | <i>Psidium guajaba</i>   | Baja                         | 0.2          |
| Limón     | <i>Citrus medica</i>     | Baja                         | 0.1          |
| Chirimoya | <i>Annona cherimolla</i> | Baja                         | 0.1          |

|                                  |                           |       |     |
|----------------------------------|---------------------------|-------|-----|
| Maíz                             | <i>Zea Mays</i>           | Baja  | 0.3 |
| Frijol                           | <i>Phaseoles V</i>        | Baja  | 0.3 |
| Repollo                          | <i>Brasica oleracea</i>   | Media | 2   |
| Cilantro                         | <i>Coriandrum sativum</i> | Media | 2.9 |
| TOTAL CULTIVOS Y HUERTOS CASEROS |                           |       | 5%  |

BAJA: HUERTO CASERO. MEDIA: CULTIVOS HORTÍCOLAS ESTABLECIDOS. ELABORACIÓN: ANCIZAR BEDOYA LEDESMA.(2.012)

Como se puede observar, el alto porcentaje de pasturas (80%) en la zona, las cuales poseen un sistema radical muy superficial (20% al 30%), indica una protección de la misma, solo contra los problemas de erosión, y no tanto contra los movimientos en masa, lo cual es confirmado por el porcentaje bajo de especies arbóreas y arbustivas (15%), especialmente en los drenajes naturales, los cuales están altamente desprotegidos de este tipo de vegetación, induciendo al carcavamiento profundo de los terrenos y al incremento de los movimientos masales en la zona.

En la figura 46, se observan algunos cultivos de hortalizas sobre las orillas del cauce principal de la Microcuenca:

**FIGURA 46. CULTIVOS DE HORTALIZAS, LLEVADOS HASTA LA ORILLAS DEL CAUCE PRINCIPAL DE LA MICROCUENCA.**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA.**

La parte alta de la Micro cuenca El Perro, sector Cerro de Oro, se encuentra reforestada con coníferas, trabajo realizado por PROCUENCA, que da como resultado un amarre representativo del suelo junto a las obras de ingeniería establecidas, lo que demuestra que si se puede asociar la parte forestal a la protección de obras civiles.

## **6.6 ANIMAL**

En cuanto a aves, según MINAMBIENTE (2.002), se tienen reportadas en total 344 especies, pertenecientes a 48 familias, en la Quebrada el Perro y el Rio Blanco y la Quebrada Olivares sobresaliendo las siguientes: *Tyrannidae* (43 sp.),

*Thraupidae* (39 sp.), *Trochilidae* (32 sp.), *Fringillidae* (23 sp.) y *Furnariidae* (21 sp.), encontrándose que el 46% de las especies se agrupan en 5 familias. En las Figuras 47, 48, 49 y 50, se reportan algunas de las especies nativas de la zona y que han ido desapareciendo paulatinamente, debido a la intervención antrópica.

**FIGURAS 47. *FAMILIA THRAUPIDAE***

1. *THRAUPIS CIANOCEPHALA* O AZULEJO

MONTAÑERO



FUENTE: BIRD OF CALDAS

2. *THRAUPIDAE. TÁNGARA CYANICOLLIS*.

TTANGARA REAL



FUENTE: GALLEGO (2.005)

**FIGURA 48. *FAMILIA TYRANNIDAE: MYIOZETETES TROCHILIDAE:***

*CAYANENSIS*

*ATRAPA MOSCAS DE PECHO AMARILLO*



FUENTE: LINAEUS (1.976).

**FIGURA 49. *FAMILIA***

*AMAZILIA SAUCERATEL-COLIBRI.*



FUENTE: GALLEGO (2.005).



**FIGURA 50. *FAMILIA FRINGILLIDAE: ZONOTRICHIA CAPENSIS* - (COPETEÓN)**



**FUENTE: GALLEGO (2.005)**

Además de las aves, se observaron reptiles, mariposas, e insectos, en forma incipiente. Las especies prerdominantes, son las introducidas, en este caso los bovinos tipo normando, holstein, y la especie caballar, además de, aves de corral.

El ganado bovino está ocasionando alta reptación de los terrenos por el sobre pastoreo en algunas zonas especialmente en la parte alta y media de la Micro cuenca, orilla de las cañadas y el cauce principal, ya que no existe una protección adecuada, como lo muestra la figura 51.

El segundo renglón lo ocupa la especie equina que a pesar de estar en estabulación una gran parte, la otra esta en pastoreo en la zona alta, de la Micro cuenca, ocasionando problemas en suelos como cárcavas profundas de tipo remontante (Figura 51).

**FIGURA 51. CÁRCAVA DE TIPO REMONTANTE. SE OBSERVA EL EFECTO CAUSADO POR LA CONCENTRACIÓN DE AGUAS DE ESCORRENTÍA PROVENIENTES DEL POTRERO.**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA, OCTUBRE 2.012.**

La mayoría de las aves, reptiles y mariposas que son propias de la zona y son baja suvisibilidad, debió a la baja reforestación con especies nativas, además el sobre pastoreo en la zona ocasiona terracetos que afectan los suelos de la ladera (Figura 52).

**FIGURA 52. TERRACETAS OCASIONADAS POR SOBREPASTOREO, SIN MANEJO APROPIADO DE LA GANADERÍA.**



**FUENTES: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA, OCTUBE 2.012.**

## **6.7 INFRAESTRUCTURA**

En la Tabla 22, se reportan las diferentes obras de infraestructura presentes y su estado actual en la cuenca del Alto el Perro. Según la Tabla 22, se observa, la presencia de obras de infraestructura en buen estado, tales como: Aceras con desagües en la parte alta de Cerro de Oro, viviendas en conjuntos cerrados. En regular estado se encuentran: Alcantarillado de la parte alta y media de la Microcuenca; pantallas de concreto del Cerro de oro; pantallas de concreto en la curva del mico; pantallas de concreto en el sitio la Esmeralda; dique de concreto sobre el lecho sector Expoferias, parte baja de la cuenca; puente de madera sobre la quebrada que une los dos sectores del Barrio el Chachafruto; viviendas de bahareque sector alto y medio de la cuenca; drenajes en concreto sobre el lecho

de la quebrada de la micro cuenca; establos para caballos en la parte alta de la micro cuenca; cajas colectoras de aguas de escorrentía en la carretera ubicadas cada 200 m.aproximadaente; conducción aguas de escorrentías de las pantallas de concreto; vías carreteables.

En mal estado se encuentran: El Boxcolver en la Micro cuenca sector de Expoferias, donde hubo la necesidad de demoler el parqueadero construido encima del mismo, ya que en dos oportunidades represo las aguas de escorrentía del cauce, inundando todo el sector e impidiendo el libre tráfico vehicular y poniendo en riesgo alto al barrio el Chachafruto, ya que esta situación, nunca antes se había presentado; desagües de las viviendas de la parte alta, las cuales se encuentran inconclusas; alcantarillado de la parte alta y media de la Microcuenca; tubería de distribución de aguas de Manizales, la cual colapsó, y fue la causante de la cárcava de tipo remontante que se formó en la ladera próxima al edificio del Cerro de Oro; gavionería sobre el lecho de la Micro cuenca de la curva del mico, la cual colapsó en su parte final.

TABLA 22. INFRAESTRUCTURA EXISTENTE EN LA MICRO CUENCA EL PERRO.

| TIPOS DE INFRAESTRUCTURA  | EXISTENTE | NO EXISTENTE | ESTADO ACTUAL |     |      |
|---|-----------|--------------|---------------|-----|------|
|   |           |              | BUENA         | REG | MALA |
| Alcantarillado de la zona parte alta y media de la microcuenca.                       | X         |              |               |     | x    |
| Pozos sépticos.   |           | X            |               |     |      |
| Boxcolver en la micro cuenca, sector Expoferias.                                      | X         |              |               |     | x    |
| Acueducto en la micro cuenca  | X         |              |               |     | x    |
| Desagues de las viviendas parte alta  | X         |              |               |     | x    |
| Pantallas de concreto, Cerro de oro   | X         |              |               | x   |      |
| Pantallas de concreto curva del mico  | X         |              |               | x   |      |
| Pantallas de concreto la Esmeralda  | X         |              |               | x   |      |
| Gavioneria sobre el lecho de la micro cuenca  | X         |              |               |     | X    |
| Dique de concreto sobre el lecho sector expoferias.                                   | X         |              |               | x   |      |
| Puente de madera sobre la quebrada que une los dos sectores del Barrio el Chachafruto | X         |              |               | x   |      |
| Aceras con desagües en la parte alta Cerro de Oro.                                    | X         |              | X             |     |      |
| Viviendas de bahareque sector alto y medio  | X         |              |               | X   |      |

|  |   |  |   |   |   |
|--|---|--|---|---|---|
| Viviendas en conjuntos cerrados  | X |  | X |   |   |
| Drenajes en concreto sobre el lecho de la micro cuenca.                          | X |  |   | X |   |
| Establos para caballos en micro cuenca   | X |  |   | X |   |
| Cajas recolectoras de agua de escorrentía en la carretera aproximada a 200 mts.. | X |  |   | X |   |
| Conduccion aguas de escorrentías de las pantallas.                               | X |  |   | X |   |
| Vias carreteables  | X |  |   | X |   |
| Tuberia de distribución de aguas de Manizales                                    | X |  |   |   | X |

Buena: Obras en buen funcionamiento y buen diseño- Regular: Obras con diseño y funcionamiento deficiente. Mala: obras que presentan fallas o han colapsado.

FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA, OCTUBRE 2.012

## 6.8 FACTOR HUMANO

Para el diagnóstico de la categoría factor humano, se aplicó la Matriz Vester, con el fin de identificar los factores más relevantes que asociados a la actividad humana, inciden en la generación de los procesos degradativos de la Microcuenca El Perro. Sus aspectos fundamentales son:

**6.8.1 Aplicabilidad de la Matriz de Vester:** La Matriz de Vester, EL árbol de problemas y el árbol de objetivos, permitió determinar el problema central de mayor impacto potencial y diseñar un objetivo claro de desarrollo para este sector de la ciudad

En la Tabla 23, se observan los problemas que fueron identificados en la Microcuenca El Perro.

**TABLA 23. MATRIZ VESTER: PROBLEMAS IDENTIFICADOS**

| Nro. | PROBLEMAS ENCONTRADAS  |
|------|--|
| 01   | Inadecuada canalización de las aguas en las obras civiles construidas en la zona.                          |
| 02   | No existen obras de bioingeniería en la zona.  |
| 03   | Falta de concertación con la comunidad de la zona sobre las obras de estabilidad a realizarse.             |
| 04   | Falta de proteger las laderas y las zonas de las quebradas con especies propias de la región.              |
| 05   | Falta canalización de las aguas de escorrentía de las vías y los techos de las viviendas de la parte alta. |
| 06   | Inadecuada ejecución de las obras, no se terminan a tiempo y se degradan rápidamente.                      |

|    |  |
|----|--|
| 07 | Falta educación de la comunidad para la no intervención antrópica en los procesos de erosivos. |
| 08 | Mal manejo de las aguas servidas en la zona.   |
| 09 | Construcción de obras inadecuadas por falta de un estudio serio en la zona.                    |
| 10 | Manejo inadecuado de suelos en las zonas de pastoreo.  |

La clasificación de los problemas más relevantes identificados con relación al uso, manejo y conservación de suelos de la cuenca hidrográfica de la Quebrada el Perro, según su grado de causalidad, se visualiza en la Matriz Vester (Tabla 24).

**TABLA 24. MATRIZ DE VESTER. CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS SEGÚN GRADO DE CAUSALIDAD**

| <b>PROBLEMAS</b>   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | <b>TOTAL<br/>ACTIVOS</b> |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|--------------------------|
| 1- Inadecuada canalización de las aguas en obras civiles construidas   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0                        |
| 2- No existen obras de bioingeniería en la zona.   | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0  | 7                        |
| 3- Falta de concertación con la comunidad sobre practica preventivas de conservación y obras de estabilidad. | 3 | 3 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 10                       |



|   |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4- Falta de protección de laderas y zonas de quebradas con especies propias de la región. | 0  | 2 | 2  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 |
| 5- Falta canalización de aguas en vías y los techos de las viviendas.                     | 2  | 0 | 1  | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 6- Falta de terminación de la obras de estabilización a tiempo.                           | 0  | 0 | 2  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 7- Falta educación de la comunidad para prevenir los proceso erosivos.                    | 0  | 0 | 2  | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 8 |
| 8- Inadecuada reforestación con especies no aptas en la zona.                             | 0  | 0 | 2  | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 9- Construcción de obras inadecuadas en la micro cuenca.                                  | 0  | 0 | 3  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 10- Inadecuado manejo de los suelos en zonas de pastoreo.                                 | 1  | 2 | 0  | 3 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| <b>TOTAL PASIVOS</b>  | 12 | 8 | 19 | 6 | 0 | 3 | 8 | 3 | 9 | 3 |   |

**AUTOR: ANCIZAR DE JESUS BEDOYA LEDESMA (2.012).**

Los problemas identificados, fueron clasificados en activos, pasivos, críticos e indiferentes:

### 6.8.1.1 Problemas Activos:

#### 6- Falta de terminación de la obras de estabilización a tiempo (Figura 53).

FIGURA 53. OBRA POR TERMINAR, SECTOR CERRO DE ORO



FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA- OCTUBRE 2.012.

#### 9- Construcción de obras inadecuadas en la micro cuenca (Figura 54).

FIGURA 54. OBRA DE CANALIZACIÓN INADECUADA EN LA BASE DE LA PLAQUETA, CERRO DE ORO



FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESA, OCTUBRE DE 2.012

**8- Reforestación inadecuada con especies no aptas en la zona (Figura 55).**

**FIGURA 55. REFORESTACIÓN CON CONÍFERAS, ESPECIES NO APTAS EN EL CERRO DE ORO.**



FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA, OCTUBRE 2.012

**5- Falta canalización de aguas en vías y techos de las viviendas (Figura 56).**

**FIGURA 56. FALTA DE CANALIZACIÓN EN TECHOS DE VIVIENAS, SECTOR CERRO DE ORO.**



FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA, OCTUBE 2.012.

### 6.8.1.2 Problemas Pasivos:

**7- Falta educación de la comunidad para prevenir los procesos erosivos (Figura 57).**

**FIGURA 57. COMUNIDAD DE LA VEREDA EL CHACHAFRUTO, EDUCACIÓN EN PREVENCIÓN DE EROSIÓN.**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA, OCTUBRE 2012.**

**2- No existen obras de bioingeniería en la zona (Figura 58).**

**FIGURA 58. PROBLEMAS EROSIVOS ACTIVOS SECTOR MEDIO, SIN OBRAS DE ESTABILIZACION**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA**

**1- Canalización inadecuada de las aguas en obras civiles construidas  
(Figura 59).**

**FIGURA 59. CANALIZACIÓN INADECUADA EN LA OBRAS DE CONCRETO EN EL CERRO DE ORO**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA, OCTUBRE DE 2012.**

## 10- Manejo Inadecuado de los suelos en zonas de pastoreo (Figura 60).

FIGURA 60. MANEJO NO ADECUADO DE SUELOS EN ZONAS DE PASTOREO SECTOR ALTO



FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA, OCTUBE DE 2.012

4- Falta de protección de laderas y zonas de quebradas con especies propias de la región (Figura 61).

**FIGURA 61. ZONA DE LA MICRO CUENCA DESPROTEGIDA DE ESPECIES DE LA REGIÓN  
QUE AYUDEN A MITIGAR LA ENERGIA CINETICA DE LAS AGUAS DE ESCORRENTIA**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA, OCTUBRE DE 2012**

#### **6.8.1.3 Problema Crítico:**

**1- Falta de concertación con la comunidad sobre prácticas preventivas de conservación de suelos, manejo de aguas y obras de estabilidad adecuadas.**

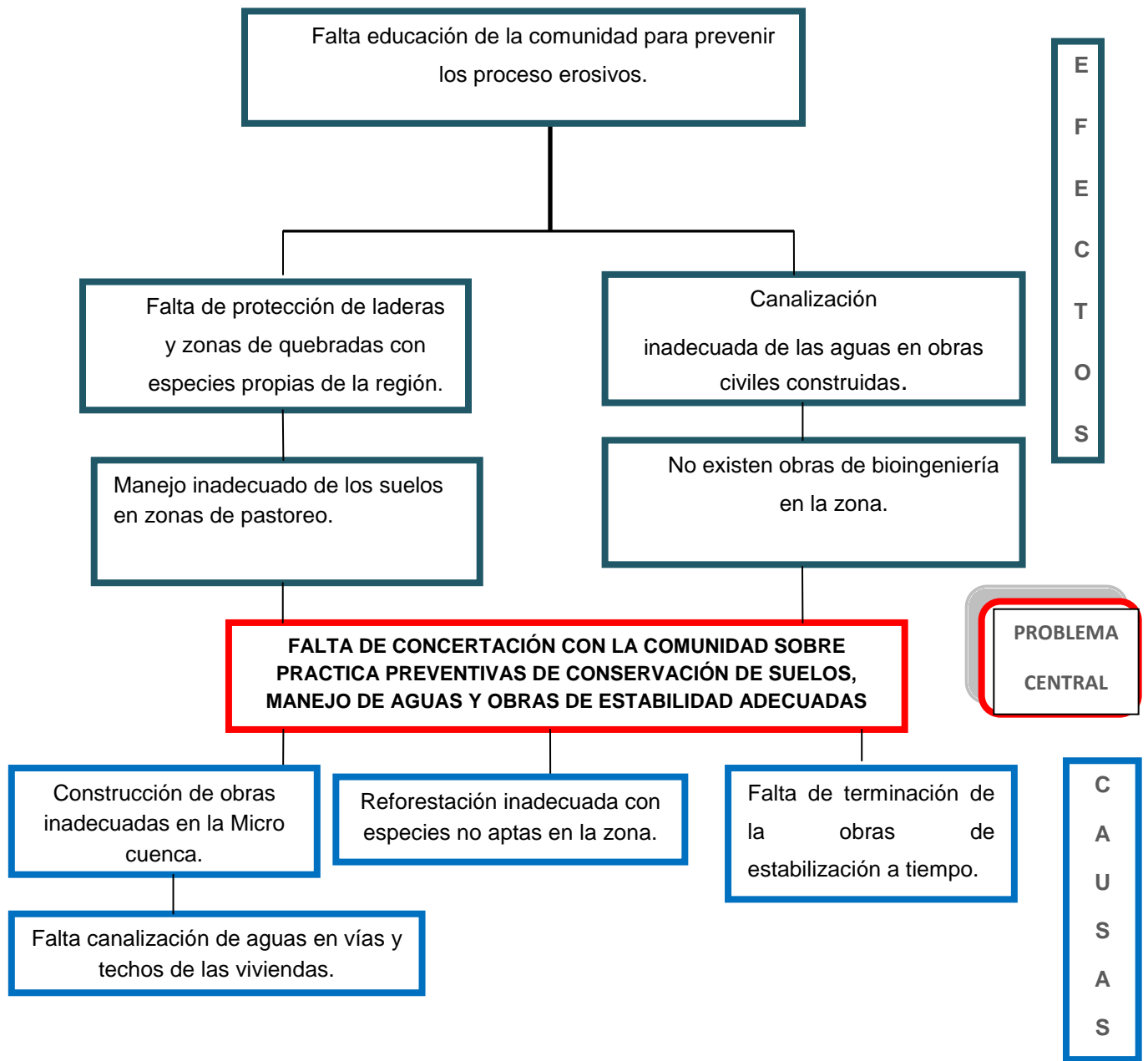
**6.8.1.4 problemas indiferentes:** No se encontraron.

#### **6.8.2 Jerarquización de Problemas: Árbol de Problemas**

Para la jerarquización de las problemáticas encontradas, se elaboraron el árbol de problemas y el árbol de objetivos.

El árbol de objetivos, se puede visualizar en la Figura 62.

FIGURA 62. DIAGRAMA ÁRBOL DE PROBLEMAS



AUTOR: ANCIZAR DE JESÚS BEDOYA LEDESMA.



Como se puede analizar en el diagrama anterior, el problema crítico de la Microcuenca el Perro, es la falta de concertación con la comunidad sobre prácticas preventivas de conservación de suelos, manejo de aguas y obras de estabilidad adecuadas.

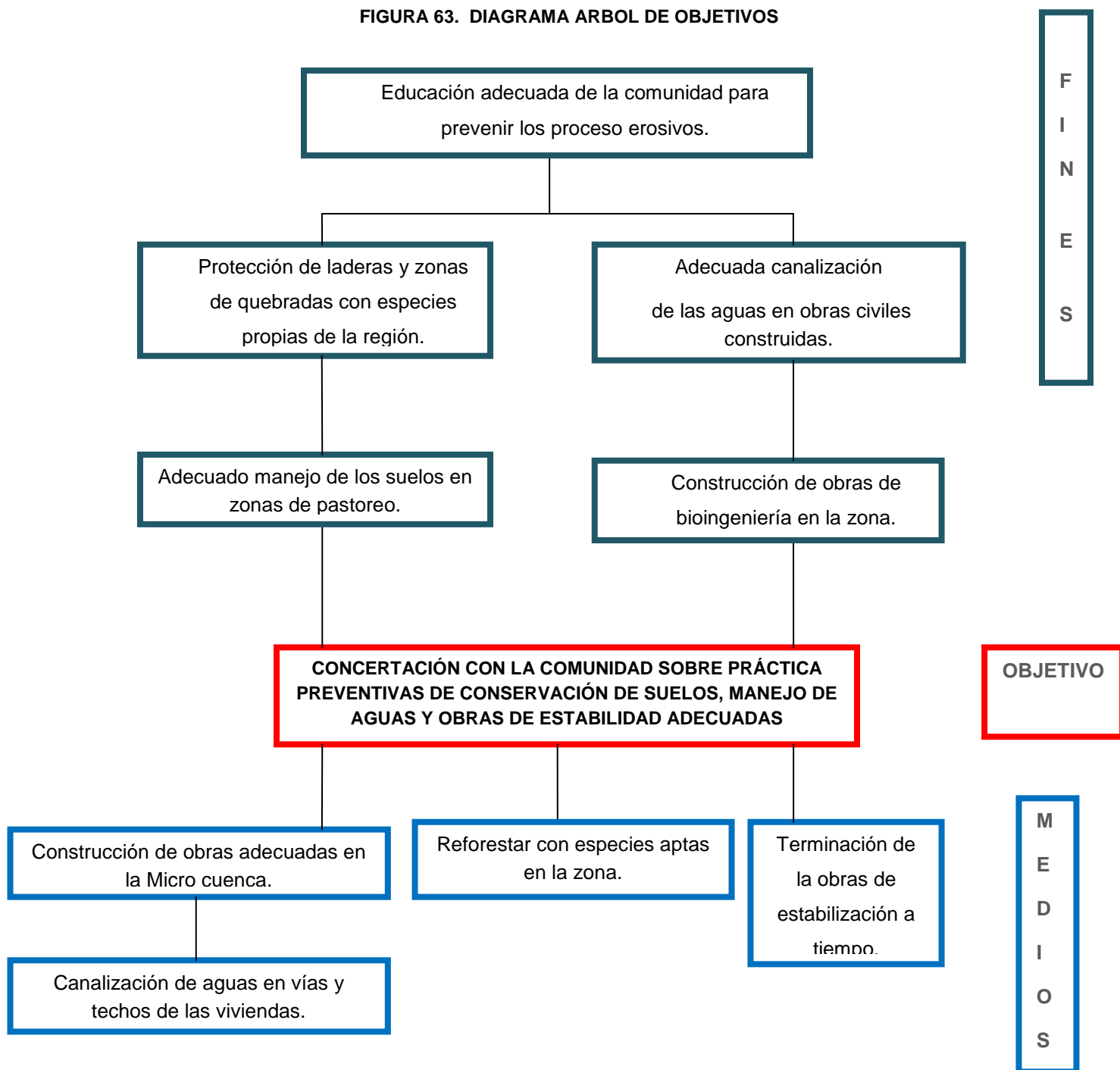
### **6.8.3 Jerarquización de Objetivos: Árbol de Objetivos**

La jerarquización de los problemas permitió, establecer el árbol de objetivos que se visualiza en la Figura 63.

Como se puede observar en el árbol de objetivos (Figura 63), se encontró que el objetivo principal es la concertación con la comunidad sobre prácticas preventivas de conservación de suelos, manejo de aguas y obras de estabilidad adecuadas.

De acuerdo al diagnóstico anterior encontrado y comparándolo con la realidad vivida en el sector donde se desarrollan las obras civiles, no se involucró a la comunidad con el fin de que comenzara a interactuar con la afectación del paisaje cambiado por plaquetas de concreto, gaviones, canales, y muros, entre otros, y con su uso, manejo y conservación inadecuados.

FIGURA 63. DIAGRAMA ARBOL DE OBJETIVOS



FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA

#### **6.8.4 Análisis de la Problemática**

El área de estudio, se encuentra referida en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT, 2.010) de Manizales, como componente urbano y, figura, en este documento como ladera del Perro, que se extiende desde su nacimiento, en el sector de la vereda el Zancudo, hasta la vía a Bogotá.

Es descrita como zona de regeneración y mejoramiento, debido a que presenta singularidad en sus recursos bióticos y puede tener hitos y mojones naturales a preservar; además presenta procesos erosivos activos, con presencia de algunas obras de estabilización de taludes y control de erosión.

En el POT se hace claridad que esta zona debe ser preservada intacta, sin ejercer sobre ella ninguna acción que la deteriore.

La afectación antrópica en la zona está muy marcada por los propietarios de las fincas ganaderas los cuales poseen áreas muy representativas en pastos, especialmente kikuyo, puntero y jaragua. No poseen un programa de rotación de potreros, ni de manejo adecuado de aguas de escorrentía, provenientes de las vías, viviendas, alcantarillas, entre otras. Hay desprotección total de los drenajes naturales, con ausencia de los bosques riparios que podrían influir en el amarre de los taludes bajos de las laderas, y regular los caudales torrenciales y el arrastre de sedimentos en los periodos lluviosos.

Debido a lo anterior, se hace necesario restablecer esos bosques riparios para lo cual se requiere, el establecimiento de obras de bio ingeniería, especialmente

trinchos escalonados que permitan transportar los caudales en forma disciplinada y evitar el socavamiento de fondo del cauce y de los taludes laterales.

Es importante inicialmente, aislar los drenajes naturales, para evitar el ingreso de la ganadería a estos sitios susceptibles, y favorecer el crecimiento de la vegetación nativa. Estos programas, deben ser liderados por las autoridades ambientales y municipales con participación de la comunidad, en todas las etapas de planificación de la cuenca.

Lo anterior, como ya se dijo, implica prioritariamente la interacción del factor humano en la estabilidad ambiental de la zona y de sus suelos, en tanto es el principal agente detonante de las causas de eventos presentes y futuros que sucedan en el área de estudio, donde a pesar de las grandes inversiones de estabilización realizadas por las entidades del estado, es necesario que se interactúe con la comunidad como lo muestra el resultado diagnóstico del presente estudio.

Con el fin de dar una mirada cronológica de la intervención del hombre en los diferentes procesos y eventos que han surgido en la Microcuenca, es necesario observar los siguientes acontecimientos que están unidos al desarrollo de las obras e inversiones que se han realizado en esta zona de estudio.

### **6.8.5 Cronología de la intervención antrópica y los acontecimientos asociados a las obras e inversiones desarrolladas en el área de estudio.**

Para tal fin se presenta una cronología de los acontecimientos surgidos en las obras e inversiones que se vienen desarrollando en la parte alta media y baja de la Micro cuenca:

- **Diciembre de 2008:** Tras la tragedia de noviembre se declara en Manizales la Urgencia Manifiesta. Corpocaldas hace convocatoria pública nacional para contratar obras de disminución de riesgo en el área de la Micro cuenca el Perro de la ciudad de Manizales.
- **Febrero 9 de 2009:** Se firma el contrato con Eisenhower Zamora, ingeniero de Bogotá por 2.700 millones de pesos. El plazo es de 14 meses y las obras incluyen las pantallas del sector La Esmeralda y la Curva del Mico. Con justificación del interventor de Corpocaldas, se alargó el contrato por 19 meses.
- **Junio 5 de 2009:** Cinco obreros mueren en un derrumbe dentro de la obra de la Curva del Mico. Las familias demandan a CORPOCALDAS.
- **Octubre 16 de 2009:** Embargan los activos de Zamora y el contrato de Manizales lo cede al ingeniero José Gabriel Vargas, socio en otros contratos y también de Bogotá. Nuevo plazo de entrega: 21 meses.

- **Junio 16 de 2010.** El valor del contrato sube a 3 mil 8 millones de pesos.
- **Abril 8 de 2011:** Se modifica de nuevo el contrato a 29 meses. El interventor justifica la modificación por la temporada invernal y deslizamientos en la zona de la Curva del Mico. El costo sube a 3 mil 124 millones de pesos.
- **Junio de 2011:** Corpocaldas firma con un nuevo ingeniero para terminar las obras. El contrato es de 1.700 millones de pesos, incluye la Curva del Mico y La Esmeralda.

#### **6.8.6 Análisis multitemporal, sobre erosión, uso del suelo, vías y viviendas en la zona**

Al revisar en la cronología del área de estudio, los procesos erosivos, usos del suelo, vías y viviendas desde los años 60 hasta el momento actual, se pudo determinar que la actividad antrópica ha sido relativamente moderada con relación a otras zonas de la ciudad. Igualmente, se identificaron los siguientes aspectos relevantes:

- A partir de los años 60, el uso del suelo se centró especialmente en pastos, y los bosques estaban restringidos al cause de las quebradas. El proceso urbanístico era incipiente por aquella época, con construcciones ubicadas principalmente sobre la carrera 23; también, se identificaron algunas obras de estabilización (canales y terrazas), en el talud sobre el cual, hoy se encuentra localizada la Empresa de Acueducto de Manizales.

Los procesos denudativos identificados, son en especial movimientos masales activos; de los cuales, el 50% se presentan principalmente sobre la vía que conduce al barrio La Enea; los restantes son más comunes en el Sur de la zona, y, en las partes bajas de la Quebrada El Perro, se detectaron procesos de reptación en las quebradas del sector NW, que será posteriormente referenciado.

- En el decenio de los 70's, el principal uso del suelo corresponde a pastos, bosques de galería y zonas con rastrojo. El proceso urbanístico, avanza sobre la carrera 23, Barrio de Milán y se identifican ya, algunas fincas en el sector del Cerro de Oro. Por su parte, la quebrada que se encuentra en la parte baja de Aguas de Manizales es canalizada, y se implementan algunas obras de estabilización en los taludes de la vía a La Enea.

Los procesos denudativos predominantes en esta década, son básicamente: La reptación, en la Vereda El Zancudo, originada por el cambio de vegetación para dar paso a las zonas de pastoreo; y, los deslizamientos activos en la vía a La Enea.

- En los años 80, el uso del suelo continúa con el predominio de pastos, y los bosques están en las cabeceras de las quebradas y en pequeñas áreas de la parte media de la zona. Además, afloran las zonas agrícolas en la Vereda Bella Vista donde se identifican pequeñas parcelas. La urbanización se concentra sobre la carrera 23, y se presentan taludes verticales sobre la vía a La Enea. La actividad antrópica (cultivos y pastoreo), genera un

aumento de los procesos erosivos en el nacimiento de la Quebrada El Perro.

- En la década de los 90's, se identifica la extensión de las áreas de pastoreo a lo largo de la zona y la actividad agrícola, continúa restringida a pequeñas parcelas en la Vereda Bella Vista; En la Ladera Este de la Quebrada El Bosque, predominan las áreas de rastrojo, y, al Sur Oeste de la zona, se adecúan los conjuntos residenciales Rincón del Trébol, Bosques del Trébol y Los Guadales.
- Finalmente, entre el 2000 y 2012, se amplía la Vía a La Enea, en cuyos lados se incrementan significativamente los procesos denudativos particularmente los deslizamientos y se desarrollan obras de estabilización en los taludes generados.

Los deslizamientos, también se presentan en la Vereda el Zancudo hacia el nacimiento de la Quebrada El Perro. En la tabla 25 se presenta un resumen del análisis multitemporal.



**TABLA 25. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL PERRO**

| <b>DECADA</b> | <b>PROCESOS<br/>EROSIVOS</b>   | <b>USO DEL<br/>SUELO</b>   | <b>VIAS</b>  | <b>VIVIENDA</b>   |
|---------------|--|--|--|---|
| 60's          | Algunos deslizamientos activos hacia el SW y reptación cerca a la quebrada El Bosque   | Pastos, bosques de galería y rastrojo alto hacia la parte central de la zona.                            | Vía a La Enea, Carrera 23 vía al Cerro de Oro y vía alto El Perro.             | Se presentan pocas a los lados de la carrera 23 y algunas fincas en El Cerro de Oro, antigua fábrica Arrow.                     |
| 70's          | Deslizamientos activos en la parte baja de la vía a La Enea y reptación hacia el nacimiento de la quebrada El Perro                        | Pastos , bosques de galería, rastrojo alto hacia la parte central de la zona y agrícola al N.E.          | Vía a La Enea, Carrera 23 vía al Cerro de Oro y vía alto El Perro              | Se adecuan mayor número de viviendas a lado y lado de la carrera 23 y algunas fincas en el Cerro de Oro, antigua fábrica Arrow. |
| 80's          | Algunos taludes verticales en la vía a La Enea. En el sector de la vereda El Zancudo se observa aumento del numero de procesos denudativos | Pastos, bosque de galería rastrojo en toda la zona. Pequeñas parcelas agrícolas en la vereda Bella Vista | Vía a La Enea, Carrera 23 vía al Cerro de Oro y vía alto El Perro              | Aumenta su número a los lados de la carrera 23 y hay mayor número de fincas en El Cerro de Oro. Antigua fábrica Arrow.          |
| 90's          | Se presenta mayor número de procesos erosivos a lado y lado de la vía a la Enea por su ampliación. Y                                       | Pastos, bosque de galería, rastrojo y aumento de las zonas agrícolas                                     | Se amplía la Vía a La Enea, Carrera 23 vía al Cerro de Oro y vía alto El Perro | Se adecuan los condominios residenciales en la parte SW, se observa el nuevo Coliseo de Ferias                                  |

|           |  |   |  |   |
|-----------|--|---|--|---|
|           | también se<br>presentan hacia la<br>parte Norte de la<br>zona  |   |  |   |
| 2000-2012 | Se incrementa el número de procesos erosivos en la micro cuenca el perro. se desestabiliza la ladera en su parte alta y media. | Se desestabiliza la ladera, produciendo movimientos en masa. Saturación de suelos por olas invernales, desprotección vegetal. | La vía a La Enea es ampliada y se implementan obras de estabilización en los taludes generados, sistemas de plaquetas de cemento. Se canalizan las aguas en las vías de la parte alta y baja de la micro cuenca y se desarrollan obras civiles en el cerro de oro y en expo ferias | Se afectan viviendas del barrio el chachafruto por avalancha de lodo y se reubican las viviendas. |

FUENTE: ELABORADO POR ANCIZAR BEDOYA. ENERO DE 2012

### **6.8.7 Eventos cronológicos, estados, agentes detonantes, amenazas y estado actual de la Micro cuenca de la quebrada el perro.**

Al explorar la cronología de los eventos, soluciones e impactos de la Micro cuenca de la quebrada El Perro de la ciudad de Manizales (Caldas), apoyados en los diferentes aspectos investigativos e informaciones secundarias, sugeridos por diferentes autores, se identificaron los siguientes aspectos relevantes los cuales determinan el estado actual de las obras su impacto y la solución a la problemática

ambiental en la zona de estudio, por lo tanto se realizó el 20 de Octubre de 2.012, un último recorrido de campo evidenciando los diferentes eventos en la Tabla 26.

**TABLA 26. EVENTOS, ESTADOS, AGENTES, AMENAZAS Y ESTADO ACTUAL EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA EL PERRO**

| <b>EVENTOS Y ACTIVIDADES EN LA QUEBRADA EL PERRO</b>   | <b>PROCESOS EROSIVO</b>   | <b>ESTADO INICIAL</b>  | <b>AGENTE DETONANTE</b>   | <b>GRADO DE AMENAZA ACTUAL</b> | <b>ESTADO ACTUAL</b>   |
|--|---|--|---|--------------------------------|--|
| <b>Eventos:</b><br><b>Avalancha, 16 de Noviembre de 2008, que tapo el sector de expo ferias, afectando toda la cuenca de la quebrada el Perro hasta el barrio el Chachafruto. Avalancha Octubre 2.010, Abril 2.011</b> | Sector Cerro de Oro, la Esmeralda y curva del mico, afectando la vía y las laderas izquierda y derecha de la quebrada el Perro. | Ladera del Cerro de Oro, la Esmeralda, la curva del mico y riveras de la quebrada el Perro, protegidas con especies nativas, cobertura en pasturas y sotobosque. | Alto índice de lluvias. Ruptura de un tubo de Aguas de Manizales. Intervencion antrópica para construcciones en el sector. Proceso erosivos que taponan la micro cuenca el Perro. | Alta                           | Obras en Plaquetas de cemento en proceso de estabilización de la ladera, en forma incompleta, canales de desagüe incompletos y obras en el lecho de la micro cuenca colapsadas y deficientes en construcción, Cerro de Oro.(ver figura 66), sector la Esmeralda, estabilizada mediante plaquetas sobre la vía principal, pendiente estabilización margen izquierda de la construcción(ver figura 67), sector la curva del mico, procesos activos afectando la plaqueta, trinchos colapsados (ver figura 68). |

|  |  |  |   |             |  |
|--|--|--|---|-------------|--|
| <p><b>Manejo de procesos erosivos en la Micro cuenca de la quebrada El Perro</b></p> | <p>Sectores: Cerro de Oro, La Esmeralda, La curva del Mico y las laderas de la micro cuenca.</p> | <p>Sectores con vegetación natural protegiendo los suelos de las márgenes izquierda y derecha, especialmente con coberturas en pastos, árboles propios de la región y soto bosque.</p> | <p>Intervención antrópica, aguas de escorrentía, tipo de suelo, sobre pastoreo.</p> | <p>Alta</p> | <p>Alto índice de procesos erosivos no tratados afectando las pantallas en los sectores de la curva mico y Cerro de Oro, las construcciones y las laderas afectadas por aguas no tratadas, obras inconclusas (ver figura 64). En el Cerro de oro existe socavación por aguas lluvias en la base y los laterales de las construcciones. Existe altos procesos de reptación en las márgenes izquierdas de la micro cuenca, en la margen izquierda parte alta de la ladera de la curva del mico existe amenaza de cárcavas y en el sector cerro de oro margen izquierda bajando hacia expo ferias hay presencia de deslizamientos activos. Nos se está trabajando con la comunidad en el manejo</p> |
|--|--|--|---|-------------|--|

|   |   |  |  |      |   |
|---|---|--|--|------|---|
|   |   |  |  |      | de los suelos. No existen trabajos de bioingeniería activos en la zona.   |
| <b>Manejo de aguas en la Microcuenca de la Quebrada el Perro.</b> | Afectación a procesos erosivos activos. | Las aguas de escorrentía se disipaban por medio de la protección natural (árboles y arbustos y sotobosque), las gotas de agua lluvia se amortiguaban en la abundante vegetación. | Desprotección de la ladera.<br>Represamiento de agua por deslizamientos. | Alto | Se están construyendo desagües en la vía del Cerro de Oro. No existe canalización de aguas lluvias en las viviendas y establos. No hay suficiente cobertura vegetal de árboles y vegetación propias de la región para amortiguar el agua lluvia. Los proceso degradativos afectan los caudales por falta de tratamientos en las márgenes de la microcuenca. |
| <b>Manejo de Fauna en la Microcuenca.</b>                         |   | Existía gran variedad de animales silvestres propios de esta altura, especialmente pajaros y reptiles.   | Intervención antrópica.<br>Reforestación con coníferas.                  | Alto | Muchas especies han emigrado a otras regiones por la intervención de su hábitat. Solo existen algunos pájaros que se conservan en la ladera de la parte alta de la microcuenca. Existe ganadería tipo leche y equinos. Con alto sobre pastoreo. No hay programas para   |

|   |   |   |   |      |  |
|---|---|---|---|------|--|
|   |   |   |   |      | adaptación de fauna.   |
| <b>Manejo de la Flora en la Micro cuenca.</b>                                   | Afectación a procesos erosivos por falta de amarre natural.       | La zona poseía gran variedad de árboles y arbustos propios de la región que daban buena estabilidad a la ladera de la Micro cuenca. | Intervención antrópica, por deforestación para urbanismo y pasturas, cultivos limpios.                                      | Alto | No existe un programa de reforestación con especies propias de la zona que alberguen especies propias de esta zona y que pueda dar amarre suficiente a las laderas de esta región, mediante un programa de bio ingeniería. Solo existe reforestación en el Cerro de Oro con especies que ejercen un relativo amarre a esta zona.                 |
| <b>Actividades con la comunidad de la micro cuenca de la quebrada el Perro.</b> | Afectación de procesos erosivos por falta de educación ambiental. | Intervención a la zona por parte de lugareños en forma racional.  | Urbanismo, falta de integración de la comunidad a las obras desarrolladas en la zona como veedores y participantes activos. | Alto | No existe una veeduría ciudadana en la zona. Las obras son desarrolladas por entidades foráneas, contratadas por entidades del estado sin tener en cuenta la comunidad. No se trabaja con la comunidad del sector afectado su hábitat.<br><br>La comunidad posee en curso un acción popular contra Corpocaldas, agua de Manizales, el Ministerio |

|  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  | del Medio Ambiente sobre la afectación en la vereda Buenavista en sus zonas verdes, manejo de las fuentes hídricas y los problemas de suelos de la zona. |
|--|--|--|--|--|--|

FUENTE: ANCIZAR DE JESUS BEDOYA LEDESMA (2.012).

### 6.9 Prácticas Preventivas y/o de Control de los Procesos degradativos

En lo que respecta a las prácticas que se deben promover para la prevención de los procesos degradativos en la Microcuenca el Perro, del Municipio de Manizales, se determinaron las que se exponen a continuación:

- En las laderas de pendientes escarpadas donde predomina la escorrentía en periodos lluviosos y con baja protección de coberturas vegetales, las cuales son altamente susceptibles a los procesos erosivos, se deben realizar programas de conservación de suelos de tipo preventivo, consistente en la protección de las laderas y orillas de las cañadas con especies vegetales propias de la zona, las cuales fueron erradicadas en la cronología del desarrollo urbano e impacto generado por el establecimiento de praderas y reforestación con especies exóticas.

Estos programas se deben hacer en coordinación con la comunidad de la zona, debidamente capacitada para un mejor mantenimiento y empoderamiento de las prácticas por realizar.

- Es necesario establecer un programa de protección de las márgenes izquierda y derecha de la Micro cuenca con especies que amarren el suelo de las orillas y disipen la energía del agua. Este tipo de soluciones, no requieren de costos elevados ya que basta simplemente, con aislar las áreas que se quieren revegetalizar para que nuevamente se establezca la vegetación nativa, aprovechando las condiciones climáticas de la región de alta pluviosidad.
- Los programas que se realicen de conservación y mitigación de los procesos degradativos, deben incluir un manejo integral y sistémico en coordinación con las comunidades del sector y no enfocarlas a soluciones monodisciplinarias de obras civiles de concreto al 100% como lo vienen desarrollado las entidades públicas estatales, tales como Corpocaldas, la Gobernación de Caldas y el Municipio de Manizales, entre otras.

Lo anterior, permite, proteger adecuadamente los suelos de la región, al aumentar el amarre del mismo, y de igual forma, el hábitat para especies como reptiles, insectos, y aves, entre otros, los cuales desaparecieron de la zona en un alto porcentaje, donde su visibilidad ya es escasa.

Por tanto, se debe realizar un programa de reforestación con especies nativas, o aislamiento de drenajes naturales y áreas con problemas de erosión severa y



deslizamientos, complementados con obras de bio ingeniería orientadas al control de erosión, protección y estabilización de taludes, y problemas de movimientos masales (deslizamientos), mediante la construcción de estructuras totalmente vivas, usando diferentes partes de las plantas, tales como: Raíces, fustes y ramas principalmente.

Esto en coordinación con la comunidad como lo indica el objetivo del diagnóstico realizado en este estudio, con el fin de que se apropien de su protección por el bien de la zona y personas que habitan en fincas de los sectores alto (Cerro de Oro, vereda el Zancudo), sector medio (urbanizaciones y fincas particulares y sector bajo (expoferias y el barrio el Chachafruto).

En consecuencia, se debe realizar un trabajo en las fincas productoras de hortalizas, con prácticas agrícolas adecuadas, que conduzcan a no llevar los cultivos hasta la orilla del cauce principal de la Micro cuenca y sus afluentes, dejando una franja protectora representativa, a ambos lados de estos drenajes, tal como lo indica la Ley ambiental.

Así mismo, se debe definir con los ganaderos de la zona, un programa orientado a la adecuada rotación de potreros, que sea amigable con el medio ambiente.

- Concertar con la comunidad, las prácticas preventivas de conservación de suelos, manejo de aguas y obras de estabilidad adecuadas, pues la estrategia más contundente para la prevención y control de los

procesos erosivos, es la Educación Ambiental, en la medida en que ésta permite la dinamización de procesos de concientización y sensibilización de toda la población que habita en los distintos sectores de la Microcuenca de la Quebrada El Perro, sobre la importancia que pueden tener el adecuado uso y la protección de los recursos naturales.

#### **6.10 Recomendaciones para el manejo, conservación y restauración más adecuados de los suelos y aguas de la Microcuenca de la quebrada el Perro**

Para contribuir a la solución de las problemáticas encontradas, se emitieron las recomendaciones pertinentes, de las cuales se pueden relevar las que se exponen a continuación:

- La utilización de los suelos destinados a la ganadería bovina y equina, debe ser racional, para evitar la degradación de la ladera. En la explotación agrícola, se deben evitar cultivos limpios, especialmente de hortalizas ubicadas en la parte media de la micro cuenca, cerca al cauce de la quebrada el Perro, y en la parte alta, se deben realizar algunos programas de agro forestaría empleando los suelos para otros cultivos. Se recomienda reforestar con especies que según la investigación científica aporten buen amarre al suelo y que además sirvan de protección a la fauna silvestre aportando semillas y protección para su hábitat.

- Se hace necesario restablecer los bosques riparios, para lo cual se requiere el establecimiento de obras de bio ingeniería, especialmente trinchos escalonados que permitan transportar los caudales en forma disciplinada y evitar el socavamiento de fondo del cauce y de los taludes laterales. Es importante inicialmente, aislar los drenajes naturales, para evitar el ingreso de la ganadería a estos sitios susceptibles, y favorecer el crecimiento de la vegetación nativa. Estos programas, deben ser liderados por las autoridades ambientales y municipales con participación de la comunidad, en todas las etapas de planificación de la cuenca.
- Otros trabajos de bioingeniería que se deben adelantar, son las estructuras de contención y disipación de energía potencial de el suelo y cinética de el agua (Disipadores simples de energía, trinchos vivos para reducir la inestabilidad de los terrenos afectados por procesos erosivos, terrazas de estabilización y ventanas de evacuación).

Estructuras para la evacuación de aguas. Revegetalización de las áreas degradadas: Filtros vivos, para extraer el agua de terrenos saturados y filtros muertos para drenar vías; y, revegetalización de las áreas degradadas. Todos estos tratamientos, son más recomendables que las obras civiles que son más rígidas y no dan un soporte sostenible a

suelos tan susceptibles a la erosión por el tipo de material encontrado, según los estudios geológicos aportados por la Universidad de Caldas.

- Realizar un programa con la comunidad de vigilancia, mantenimiento, conservación, protección del suelo y de las obras ingenieriles y de bioingeniería con el fin de preservar la sostenibilidad de los tratamientos en la zona y vincular el apoyo del gobierno local y sus instituciones.
- Canalizar las aguas de todas las viviendas, (especialmente de techos y bajantes), situadas en la parte alta de la Microcuenca El Perro, mediante un programa de uso racional y eficiente del agua con el fin de evitar infiltraciones en el suelo y realizar pozos sépticos para aguas negras y jabonosas del sector, especialmente de algunas viviendas y establos que vierten sus aguas a la Micro-cuenca y se infiltran en el suelo.

A continuación, se presenta el estudio fotográfico que ilustra las obras que se desarrollaron en los diferentes sectores de la Quebrada El Perro del Municipio de Manizales y algunos procesos degradativos.

**FIGURA 64. OBRAS INCONCLUSAS SECTOR CERRO DE ORO, BASE DE CONSTRUCCION  
PLAQUETAS DE CONCRETO.**



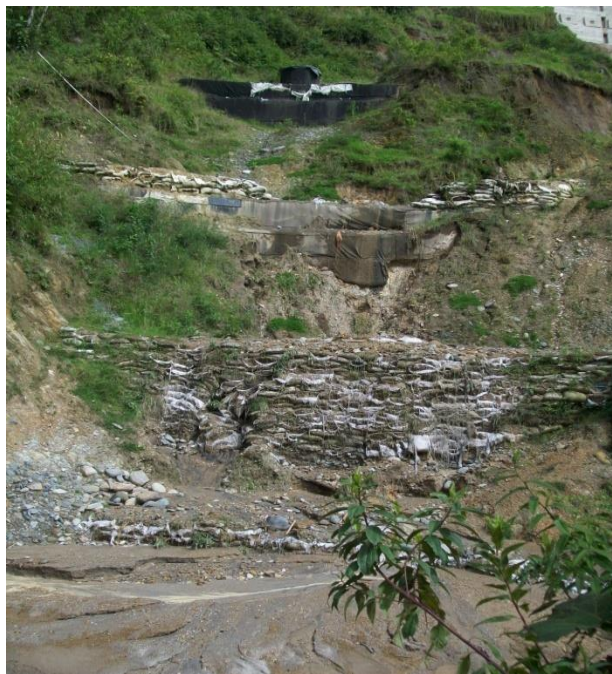
**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA-OCTUBRE DE 2.012**

**FIGURA 65. OBRAS SECTOR CERRO DE ORO, CANALIZACIÓN DE AGUAS**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA- OCTUBRE 2.012**

**FIGURA 66. OBRAS COLAPSADAS, SECTOR CERRO DE ORO, GAVIONERIA Y SACOS EN EL LECHO DE LA MICRO CUENCA.**



**FOTOGRAFIA: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA-OCTUBRE DE 2.012**

**FIGURA 67. OBRAS, SECTOR LA ESMERALDA, PROCESOS ACTIVOS CERCA A LA ESTABILIDAD**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA- OCTUBRE 2.012.**



**FIGURA 68. OBRAS, SECTOR CURVA DEL MICO, PROCESO ACTIVO AFECTANDO OBRA, TRINCHOS PROTEGIENDO DESAGUES MAL CONSTRUIDOS.**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA-OCTUBRE 2.012**

**FIGURA 69. PROCESOS EROSIVOS ACTIVOS AFECTANDO OBRAS Y LADERA, CERRO DE ORO.**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA-OCTUBRE 2.012**

**FIGURA 70. PROCESOS EROSIVOS ACTIVOS, CERRO DE ORO.**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA- OCTUBRE DE 2.012.**

**FIGURA 71. PROCESOS EROSIVOS ACTIVOS LECHO DE LA MICRO CUENCA Y OBRAS EN MAL ESTADO- SECTOR CERRO DE ORO**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA- OCTUBRE 2.01**

**FIGURA 72. DIQUE SOBRE EL LECHO DE LA MICRO CUENCA INSUFICIENTE PARA DISIPAR UNA AVENIDA – SECTOR BAJO ANTES DE EXPOFERIAS.**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA – OCTUBRE 2.012.**

**FIGURA 73. OBRAS DE ESTABILIDAD EN CORRECCIÓN, SECTOR LA CURVA DEL MICO**



FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA – OCTUBRE .012

**FIGURA 74. OBRAS DE GAVIONES Y DISIPADORES DE ENERGÍA EN EL LECHO DEL CERRO DE ORO**



FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA – OCTUBRE 2.012

**FIGURA 75. GAVIONERIA SOBRE EL LECHO DE LA MICRO CUENCA, SECTOR LA CURVA DEL MICO**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA – OCTUBRE 2.012**

**FIGURA 76. DIQUE CONSTRUIDO ANTES DE EXPO FERIAS Y DIQUE EN CONSTRUCCIÓN,  
CANALIZACIÓN EN EXPO FERIAS**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA – OCTUBRE 2.012**

**FIGURA 77. PROCESO DEGRADATIVO AFECTADO LA PATA DE LAS PLAQUETAS DE CONCRETO DEL SECTOR CERRO DE ORO.**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA – OCTUBRE 2.012**

**FIGURA 78. OBRAS DE ESTABILIDAD QUE FUERON CORREGIDAS, SECTOR LA CURVA DEL MICO**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA – OCTUBRE 2.012**



**FIGURA 79. PASTOREO DE BOVINOS Y EQUINOS AFECTANDO EL SUELO, FAUNA Y FLORA ESCASA EN LA REGIÓN**



**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA – OCTUBRE 2.012**

**FIGURA 80. OBRAS INCONCLUSAS EN LA MICRO CUENCA SECTORES CERRO DE ORO Y**



**EXPOFERIAS**

**FUENTE: ANCIZAR DE J. BEDOYA LEDESMA – OCTUBRE 2.012**

A continuación, se presenta la figura 81, en la que se puede apreciar las características del dique construido en la Microcuenca El Perro.

FIGURA 81. CARACTERÍSTICAS DEL DIQUE CONSTRUIDO EN LA MICRO CUENCA EL PERRO.



## CAPITULO VII.

### CONCLUSIONES

- Los suelos encontrados en el recorrido por la micro cuenca el Perro, durante los años 2.011 - 2.012, son suelos derivados de cenizas volcánicas, se encontraron suelos muy superficiales con una profundidad efectiva de 20 a 40 centímetros, sueltos sin amarre natural susceptibles a todo tipo de erosión.
- Los procesos erosivos y surcos y cárcavas, se presentan de forma clara en los taludes y en los cuerpos de los movimientos en masa, este proceso se acelera por la intervención antrópica que deja zonas desprovistas de toda clase de vegetación hechos muy comunes en la micro cuenca por la falta adecuada de tratamientos de aguas desde la parte alta, sector del cerro de oro hasta la parte baja, donde se involucre la comunidad en asocio con el sector público quien construye las obras civiles.
- Los procesos denudativos superficiales, están representados por la erosión laminar y en surcos, afectan zonas desprovistas de vegetación y los cuerpos de masa de los deslizamientos. Otro proceso es la reptación y está asociada a algunos deslizamientos dados en la secuencia piroclástica.
- El principal uso de las laderas del terreno son los pastos que ocupan un 77.7% de la zona de estudio; el rastrojo ocupa el 12.7%, los bosques de

galería el 10.9%, el uso agrícola el 1.1% y los bosques secundarios el 0.6% el área analizada.

- Los procesos erosivos profundos más comunes son los deslizamientos de tipo rotacional, que corresponden al 80 % del total de procesos erosivos profundos, que afectan los materiales de la secuencia piroclástica y el flujo de escombros; estos deslizamientos presentan profundidades desde un metro hasta 28 m. Los deslizamientos traslacionales corresponden al 20 % de los procesos erosivos profundos, afectando las rocas sedimentarias de la unidad III, y tienen profundidades de 10 m a 20 m.

Estructuras para la evacuación de aguas. Revegetalización de las áreas degradadas: Filtros vivos, para extraer el agua de terrenos saturados y filtros muertos para drenar vías; y, revegetalización de las áreas degradadas. Todos estos tratamientos, son más recomendables que las obras civiles que son más rígidas y no dan un soporte sostenible a suelos tan susceptibles a la erosión por el tipo de material encontrado, según los estudios geológicos aportados por la Universidad de Caldas.

- Se debe repoblar con especies nativas, toda la zona con el fin de preservar las orillas de las cañadas y las laderas de la Micro-cuenca.
- El manejo de las aguas de escorrentía debe ser integral y no limitarla solo a las vías, ya que las viviendas y el manejo inadecuado de drenajes en la ladera aumentan el riesgo de movimientos masales.

- La siembra de nuevas especies propias de la región ayudan a mejorar el habitan de muchas especies que salieron de la zona por falta de alimentación y albergue.
- Es indispensable realizar campañas de manejo de cultivos amigables con los suelos y sus pendientes para evitar suelos limpios y desprotegidos.
- Se consideran prioritarios los programas de recuperación de suelos afectados por sobre pastores, con el fin de evitar carvas y deslizamientos por reptación en la ladera.
- Los factores de seguridad en los taludes que presentan niveles freáticos aflorantes, tienen un grado de estabilidad bajo a muy bajo y se encuentran afectados por deslizamientos.

## **CAPITULO VIII.**

### **RECOMENDACIONES**

De acuerdo al anterior diagnóstico se sacaron las siguientes recomendaciones con el fin de ser tenidas en cuenta por las entidades públicas, privadas y otros investigadores para un manejo adecuado de la cuenca de la quebrada el Perro:

➤ **USOS DEL SUELO:**

- Los usos deben ser racionales, especialmente en la ganadería bovina y caballar, bajando la carga de unidades gran ganado de animales por hectárea con el fin de evitar la degradación de la ladera.
- En cuanto al uso de suelo para explotación agrícola se deben evitar cultivos limpios, especialmente de hortalizas ubicadas en la parte media de la micro cuenca, cerca al cauce de la quebrada el Perro y se debe realizar algunos programas de agro forestaría en la parte alta de la micro cuenca para otros cultivos. En la instalación de pasturas dejar franjas para cultivos de amarre sobre el suelo con el fin de evitar la reptación de suelos.
- Se recomienda reforestar con especies que según la investigación científica aporten buen amarre al suelo y que además sirvan de protección a la fauna silvestre aportando semillas y protección para su hábitat.

➤ **MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS:**

- Asociar a las obras civiles un manejo biológico para su conservación, con especies nativas de la región adaptadas a su clima y altura sobre el nivel del mar con el fin de servir de soporte natural, demostrando así una mejor estabilidad de la ladera con un factor de seguridad confiable apoyados en la vegetación.

- Realizar trinchos vivos con especies de la región en las laderas de la parte media y alta de la Micro cuenca con el fin de ejercer un amarre adecuado y estabilidad del terreno, asociados a disipadores de energía natural.
- Con el fin de contribuir en la disminución de las erosiones rotacionales que son el 80% de la problemática del sector se deben adelantar trabajos de bioingeniería, especialmente en el sector el zancudo con el fin de dar más estabilidad al suelo y no con obras civiles que son mas rígidas y no dan un soporte sostenible a suelos tan susceptibles a la erosión por el tipo de material encontrado, según los estudios geológicos aportados por la Universidad de Caldas.

En este aspecto, se debe considerar, que la erosión es más intensa en cuencas jóvenes pequeñas, como la quebrada el Perro, donde se calcula una velocidad de reducción del relieve, en 6,7 a 12,8 mm/año. En cambio, en las grandes cuencas es de 1,5 a 6 mm/año.

- Utilizar especies propias de la región que según la investigación científica aporten a un buen amarre de suelo con el fin de ser utilizadas en las diferentes explotaciones agropecuarias de la región especialmente en cercas y como barreras rompe vientos.
- Utilizar protección de amarre natural sobre las orillas de las cañadas especialmente con especies de raíces que realicen amarre natural

entrelazado con el fin de contribuir a diezmar la socavación de los terrenos por las aguas de escorrentía.

- Comenzar a realizar un manejo integral de los suelos desde la parte alta hacia la parte baja de la Micro-cuenca con una adecuada integración de la comunidad del sector aportándoles soluciones productivas e integrándolos al desarrollo y con un amplio apoyo institucional, se debe evitar urbanizar la zona.
- Realizar un programa con la comunidad de vigilancia, mantenimiento, conservación, protección del suelo y de las obras ingenieriles y de bioingeniería con el fin de preservar la sostenibilidad de los tratamientos en la zona y vincular el apoyo del gobierno local y sus instituciones.
- Realizar una amplia concertación con la comunidad del sector, quienes son los mayores afectados directa o indirectamente con la intervención en la zona, con el fin de realizar las obras de estabilización de suelos ya sean ejecutadas con entidades públicas o privadas.

➤ **OBRAS DE BIO INGENIERIA QUE SE RECOMINDAN PARA LA ZONA AFECTADA:**

Se debe realizar obras de bio ingeniería en la zona, especialmente en el sector medio y alto del micro cuenca de la quebrada El Perro, entre las que se pueden destacar las estructuras de contención y disipación de energía



potencial de el suelo y cinética de el agua (Disipadores simples de energía, trinchos vivos para reducir la inestabilidad de los terrenos afectados por procesos erosivos, terrazas de estabilización ventanas de evacuación).

➤ **MANEJO DE AGUAS:**

- Canalizar las aguas de todas las viviendas, especialmente de techos y bajantes, de la parte alta de la Micro-cuenca El Perro. Mediante un programa de uso racional y eficiente del agua apoyar a la comunidad con el fin de evitar infiltraciones en el suelo.
- Realizar drenajes en los suelos de las fincas con el fin de evitar saturación de los terrenos y así evitar escorrentías con sedimentos.
- Realizar drenajes para las aguas lluvias de escorrentía especialmente en las viviendas y fincas de la micro cuenca y en las coronas de las laderas realizar tratamientos adecuados con el fin de evitar la desestabilización de los suelos.
- Que las obras de bioingeniería e ingenieriles se implementen disipadores de energía para aguas, con el fin de evitar el arrastre de materiales hacia la parte baja de la Micro cuenca.
- Realizar la protección de las riveras de la Micro-cuencas con especies naturales que ejerzan amarre natural.

- Realizar pozos sépticos para aguas negras y jabonosas del sector, especialmente de algunas viviendas y establos que vierten sus aguas a la Micro-cuenca y se infiltran en el suelo.
- Realizar un programa con la comunidas sobre manejo y uso eficiente del agua.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALCANTARA, AYALA, Irasema (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology* 47. PP. 107-124.
- ALEOTTI, P. CHOWDHURY, R. (1999). Landslide azar assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. Volume 58, Number 1. PP. 21 - 44.
- ARISTIZÁBAL, Edier. MARTÍNEZ, H. VÉLEZ, J. (2007). Una Revisión Sobre el Estudio de Movimientos en Masa Detonados por Lluvias. Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Ingeniería Civil. Medellín (Colombia). Disponible en la página: [edier.aristizabal@metropol.gov.co](mailto:edier.aristizabal@metropol.gov.co)
- ATLAS, 13. Fenómeno del Niño y La Niña (2.010). Disponible en: [es.scribd.com/doc/88680660/Atlas-13-El-Nino-y-La-Nina](https://es.scribd.com/doc/88680660/Atlas-13-El-Nino-y-La-Nina)
- BIRD OF CALDAS. *Thraupis Cyanocephala* o azulejo Montañero: Familia: Thraupidae. Disponible en: [birdsmanizales.blogspot.com/.../aves-medianas-en-el-cinturon-de-la.h...](http://birdsmanizales.blogspot.com/.../aves-medianas-en-el-cinturon-de-la.h...)

- CAMBIO CLIMÁTICO (2007), Informe síntesis, Publicado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. En Revista S&G, 2.009.
- CASTAÑO, VÉLEZ, Rafael Antonio. RIVERA, POSADA, Horacio. Tratamientos de bioingeniería: Efecto de la vegetación arbórea y arbustiva en la estabilización de los suelos de ladera. Disponible en: [ecoambientes.tripod.com/](http://ecoambientes.tripod.com/)
- CORPOCALDAS (2.009) Informe Versión 5. Ejecución de estudios y diseños geotécnicos de las obras de estabilización de taludes, manejo de aguas lluvias y control torrencial en la vereda Buenavista y cauce de la quebrada el perro Municipio de Manizales. Disponible EN: [www.corpocaldas.gov.co/dynamic\\_page.aspx?p=401](http://www.corpocaldas.gov.co/dynamic_page.aspx?p=401)
- CORTÉS, Ana Cristina (2010). Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación en una ciudad de media montaña andina. Caso de estudio: Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura Departamento de Arquitectura y Urbanismo. Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo Disponible en: [www.bdigital.unal.edu.co/3584/1/anacristinacortescortes.2010.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/3584/1/anacristinacortescortes.2010.pdf)

- DUQUE, ESCOBAR, Gonzalo (2.010). Geotecnia y Medio Ambiente. Módulo Metodología de investigación. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Programa de Geología y Minas. Universidad de Caldas. Disponible en: [www.bdigital.unal.edu.co/1704/1/geotecniayma.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/1704/1/geotecniayma.pdf)
- DUQUE, ESCOBAR, Gonzalo (2.003). Manual de Geología Para Ingenieros. Movimientos Masales, capitulo 16. Disponible en: [www.bdigital.unal.edu.co/1572/19/geo16.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/19/geo16.pdf)
- ESCOBAR, Juan Sergio. REYES, PATIÑO, Iván (2.003). Zonificación de la Estabilidad de la ladera Noroccidental de la Quebrada el Perro, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Tesis de grado, geología y Minas, Universidad De Caldas. Disponible en: [201.234.78.173:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?...](http://201.234.78.173:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?...)
- GALLEGO, MEJÍA Carolina (2.005). Facultad de Educación Ambiental. Universidad de Caldas. Manizales. Disponible en: [boletincientifico.ucaldas.edu.co/downloads/Revista%209\\_19.pdf](http://boletincientifico.ucaldas.edu.co/downloads/Revista%209_19.pdf)
- GÓMEZ, Pedro Néel (2.007). Amenazas Naturales en los Andes Colombianos, Universidad Nacional. Sede Manizales. Disponible en: [www.medellin.unal.edu.co/cienciasagrarias/.../569-pedro-nel-gomez](http://www.medellin.unal.edu.co/cienciasagrarias/.../569-pedro-nel-gomez)

- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI Cartografía integrada del medio natural Chinchiná-Manizales (plancha No 205-206 escala 1:100000). Análisis geográficos No. 8. Bogotá: IGAC. 1987. P. 92.
- LANGBEIN, W. B. Y SCHUMM, S. A. (1958). Variación de la Producción de sedimentos en sistemas fluviales en función de la precipitación media anual. Disponible en: [tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/...3.../Elorza.pdf](http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/...3.../Elorza.pdf)
- Manejo y Estabilización de Taludes en Zonas de Ladera mediante Tratamientos de Bioingeniería. En: Avances Técnicos CENICAFÉ. Colombia. No. 291 (2001). P. 8. Disponible en: [www.cenicafe.org/es/publications/avt0291.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0291.pdf)
- Ministerio Del Medio Ambiente (2.002). Libro Rojo de Aves de Colombia.
- LINAEUS, p. (1.976). Myiozetetes Cayanensis: Familia: Tyrannidae. Manizales – Caldas. Disponible en: [es.wikipedia.org/wiki/Myiozetetes\\_cayanensis](http://es.wikipedia.org/wiki/Myiozetetes_cayanensis)

- NARANJO, José Luis. RÍOS, Pedro Antonio (1.989). Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos. En: Revista de la Universidad de Caldas. Vol.10, No. 1/3. P. 11.
- NEUENSCHWANDER, ALVARADO Aquiles (2.010). El Cambio Climático en el Sector Silvo-agropecuario de Chile Fundación para la Innovación Agraria. SALVIAT Impresores S.A.
- Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres (OMPAD, 2.010). “Levantada la Alerta Amarilla en Manizales”. En: Disponible en: [www.eje21.com.co/migra/index.php?...manizales...7...](http://www.eje21.com.co/migra/index.php?...manizales...7...)
- OSORNO Santiago (2.010). Informe sobre la Micro cuenca el Perro de la ciudad de Manizales.
- MORGAN, R. P. Y RICKSON, R. J (1995). Estudios de campo en laderas forestadas. Disponible en: [es.scribd.com/.../51416976-Memorias-I-Congreso-Nacional-de-Resta...](https://es.scribd.com/.../51416976-Memorias-I-Congreso-Nacional-de-Resta...)
- Plan de Ordenamiento Territorial de Manizales - Caldas (2.011). Revista tierra, REDIRIS, 2.010.

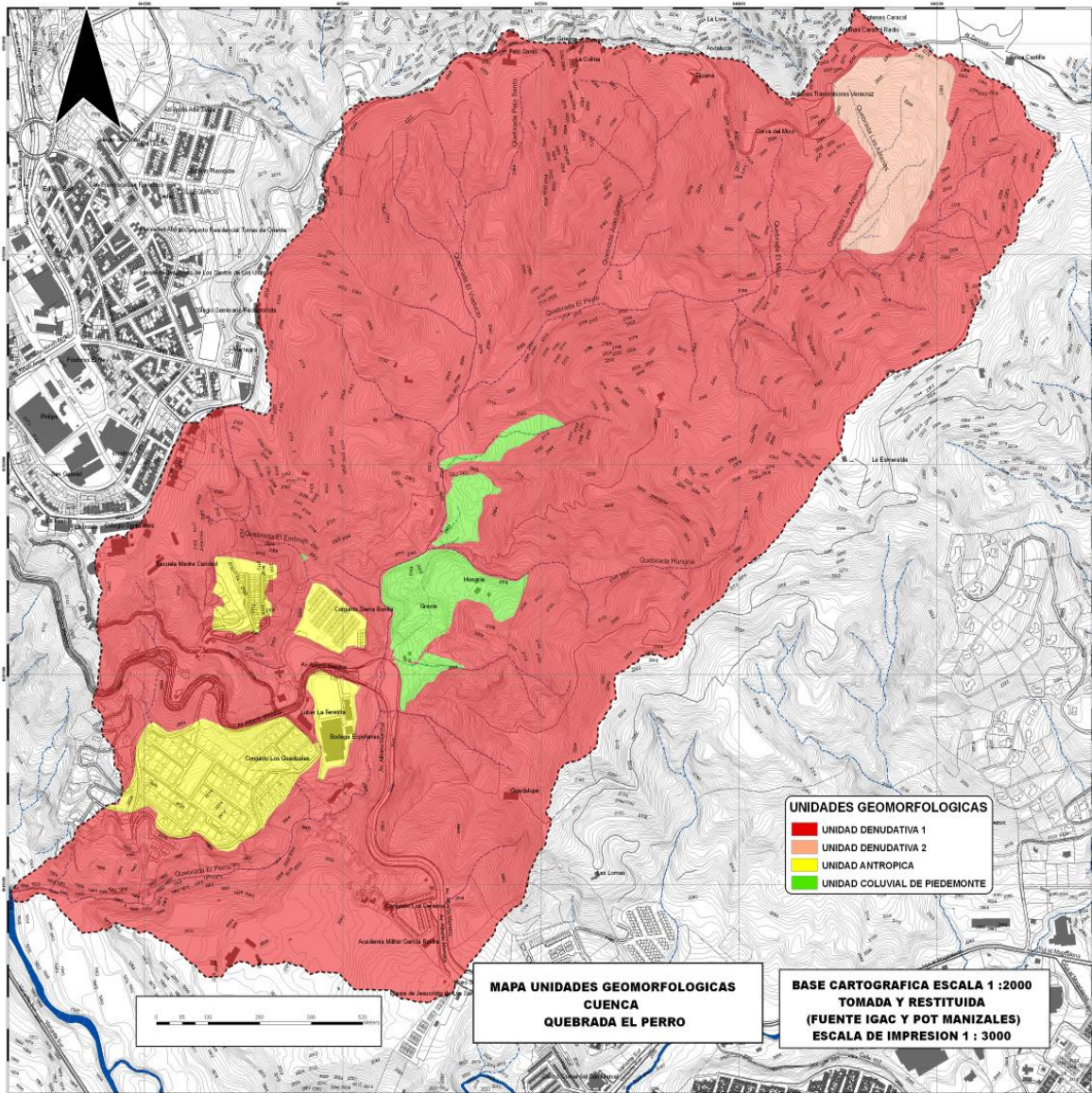
- RAMÍREZ, ORTIZ, Fernando Andrés (2.006). Evaluación del Riesgo por Erosión potencial de la Zona Cafetera Central del Departamento de Caldas, Universidad del Tolima. Tesis de Grado. Ibagué. Disponible en: [desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home\\_1/.../arc\\_5981.pdf](http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home_1/.../arc_5981.pdf)
- RIVERA P. J. H (1.998). Control de cárcavas remontantes en zonas de ladera mediante tratamientos biológicos. En: Avances Técnicos CENICAFÉ No 256. Colombia. P. 18.
- RIVERA, P. J. H (2.002). Construcción de trinchos vivos para la conducción de aguas de escorrentía en zonas tropicales de ladera. En: Avances Técnicos CENICAFÉ No 296. Colombia. P. 8.
- 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, POSADA José Horacio (2.006), Modulo Manejo Integrado del Medio Ambiente: Recurso Suelo.
- SALAZAR, Luis Fernando, HINCAPIÉ, Edgar (2.006). Causas de los movimientos en Manizales y erosión avanzada en la zona cafetera colombiana. Gerencia Técnica/ Programa de Investigación Científica. CENICAFÉ. Disponible en: [www.cenicafe.org/es/publications/avt0348.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0348.pdf)



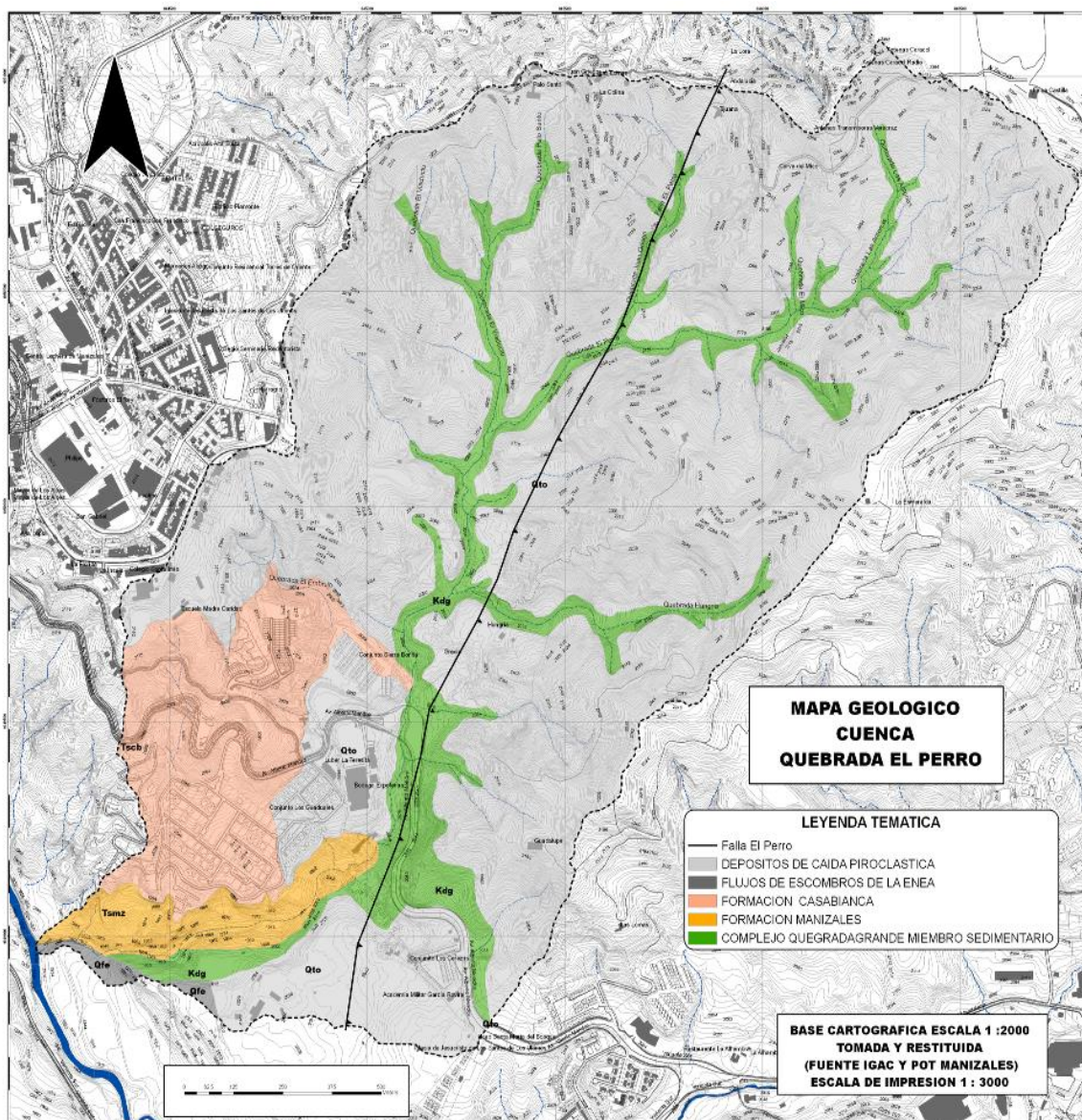
- SÁNCHEZ, Fernando, ING. Geotecnista (2.011). Docente Universidad de Caldas. Comunicación personal en: Entrevista concedida al autor del Proyecto de Grado. Comunicación personal.
- SCHUMM, S.A. (1965). Quaternary paleohydrology. En: The Quaternary of the United States (H.E. Wright y D.G Frey, Eds.). Princeton University Press, Princeton, NJ, 783-794.
- SUAREZ, Jaime. (1.987). Deslizamiento y estabilización de laderas en zonas tropicales. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Págs. 275-302.
- SUÁREZ, Jaime (1.992). Estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. P. 287.
- VARGAS, Mauricio (1.990). Estructura y deformación de la faja cretácica en los alrededores de Manizales. Manizales: Tesis de grado (Geólogo). Universidad de Caldas. Facultad de Geología y Minas. P. 85.
- WILSON, I.G. (1973). Variations in mean annual sediment yield as a function of mean annual precipitation. American Journal of Science. PP. 273, 333-349.

CAPITULO X: ANEXOS

**ANEXO 1: MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS CUENCA DE LA QUEBRADA EL PERRO**

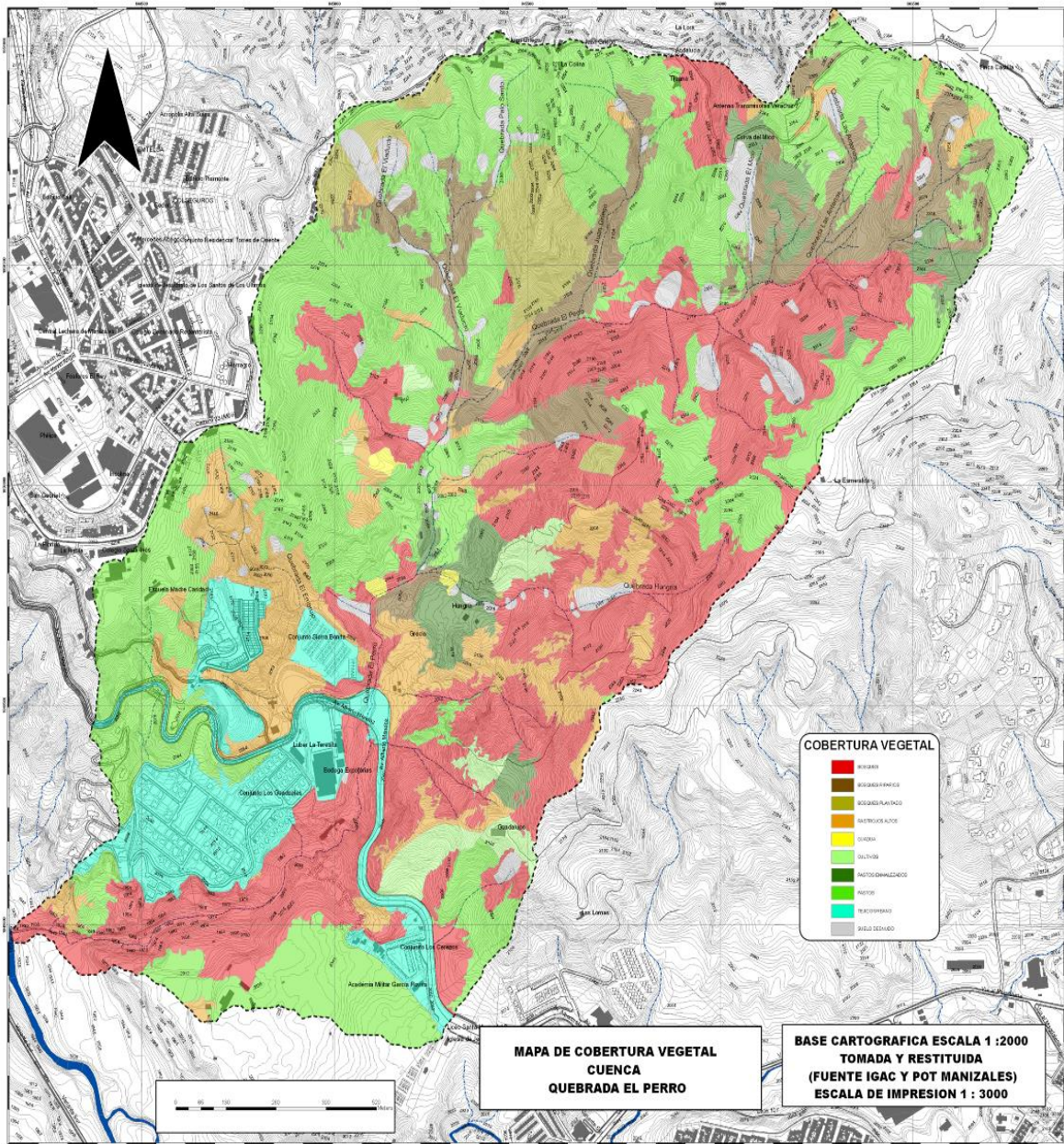


## ANEXO 2: GEOLOGÍA GENERAL DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA EL PERRO.

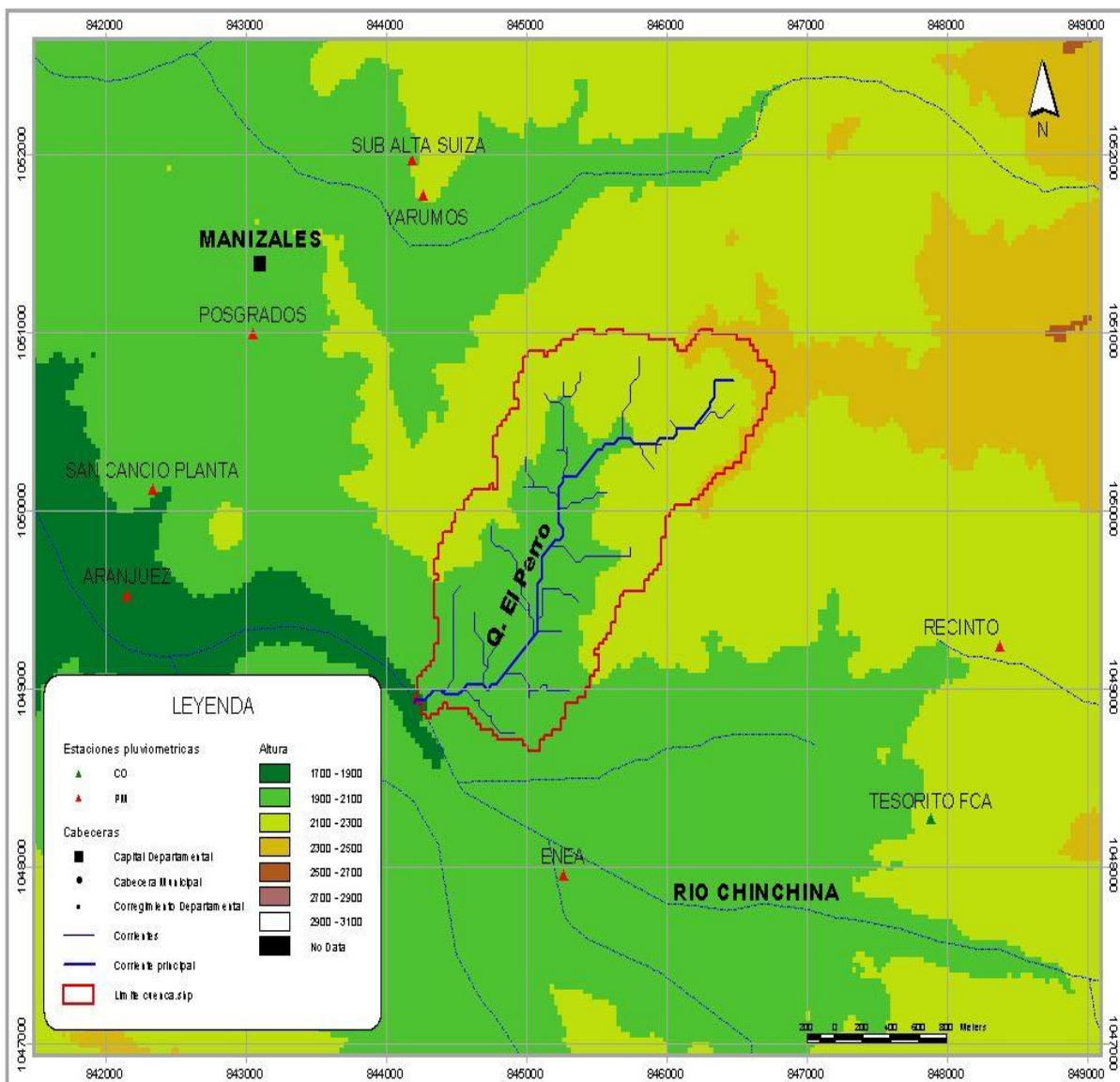


# ANEXO 3: MAPA DE COBERTURA VEGETAL DE LA CUENCA

## QUEBRADA EL PERRO

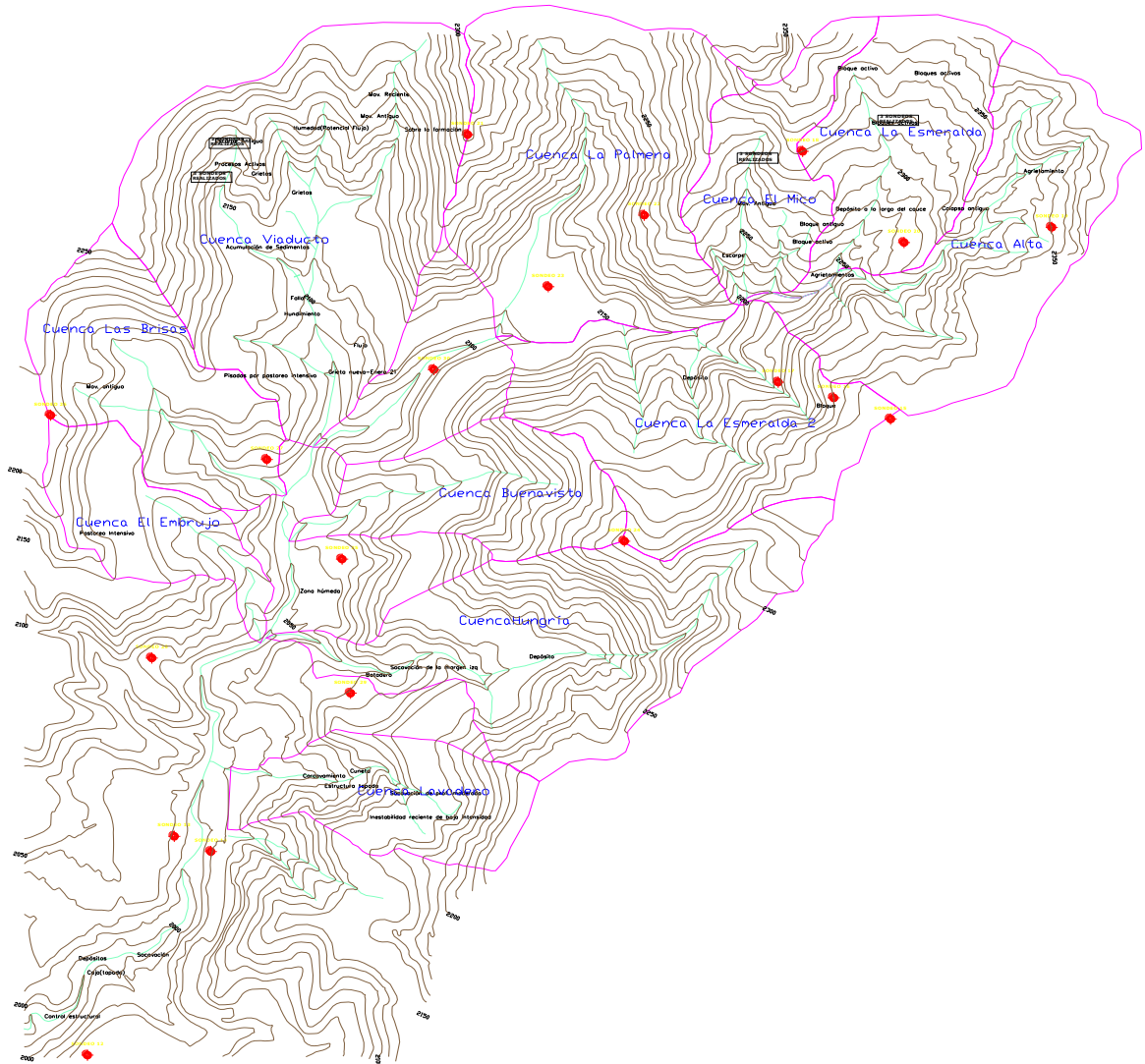


## ANEXO 4: ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS UBICADAS CERCA A LA QUEBRADA EL PERRO



FUENTE: IDEAM (2010)

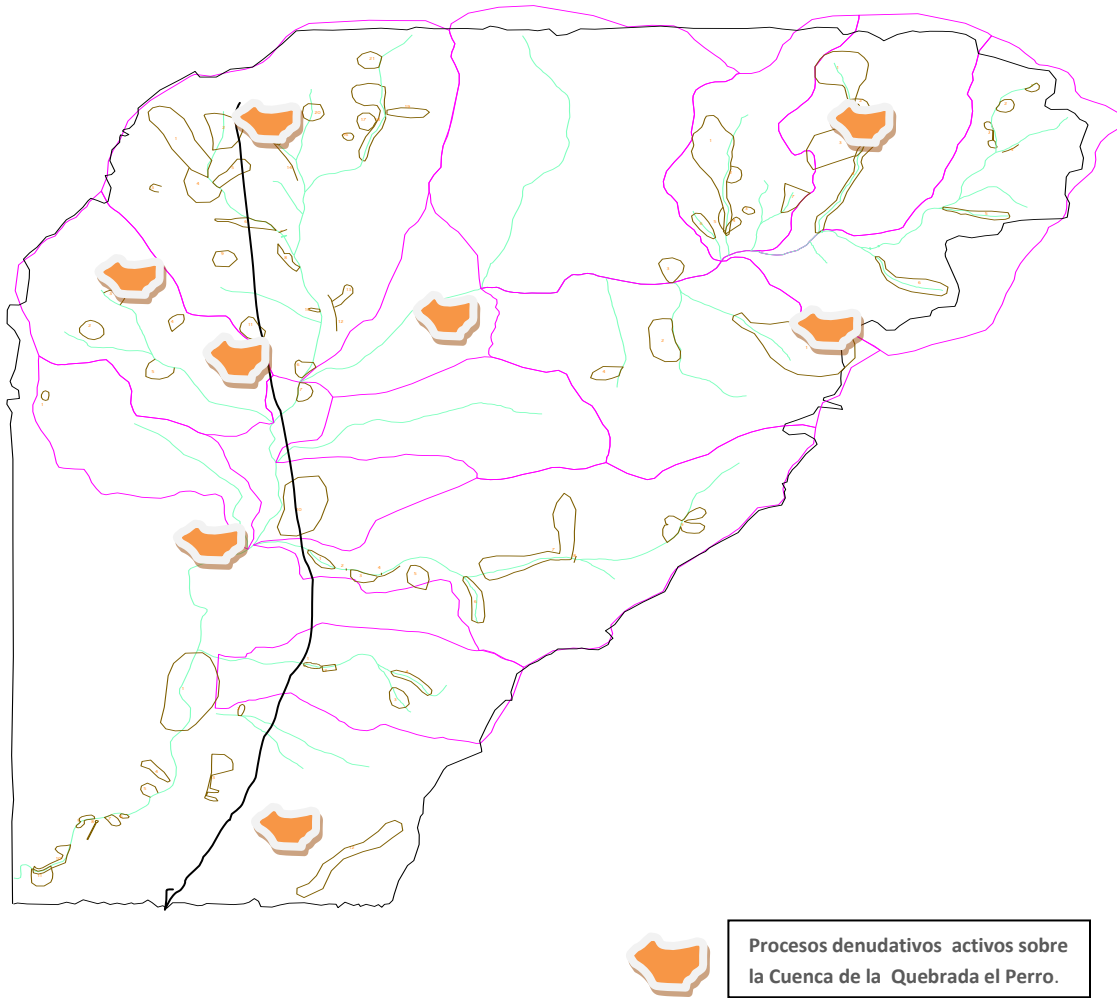
# ANEXO 5: CURVAS DE NIVEL DE LA PENDIENTE DE LAS MICROCUENCAS DE LA QUEBRADA EL PERRO



FUENTE: IGAC Y POT MANIZALES (2.010)

## ANEXO 6: PROCESOS DENUDATIVOS EN LA CUENCA

### QUEBRADA EL PERRO



FUENTE: RECORRIDO DE ANCIZAR BEDOYA LEDESMA. MARZO DE 2.012