

**ESTUDIOS PARA ESTABLECER PRACTICAS DE MANTENIMIENTO Y
PROTECCIÓN FORESTAL, EN AREAS SUSCEPTIBLES A LA EROSIÓN
DENTRO DE LAS OCHO PRINCIPALES MICROCUENCAS DEL MUNICIPIO DE
SAN JOSE DE MIRANDA, SANTANDER, COLOMBIA**

BARLEY JERDANY BOHÓRQUEZ FLÓREZ

ALEX GUSTAVO MERCHÁN SUÁREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
INSTITUTO DE PROYECCIÓN REGIONAL Y EDUCACIÓN A DISTANCIA
IPRED
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL
MÁLAGA
2017**

**ESTUDIOS PARA ESTABLECER PRACTICAS DE MANTENIMIENTO Y
PROTECCIÓN FORESTAL, EN AREAS SUSCEPTIBLES A LA EROSIÓN
DENTRO DE LAS OCHO PRINCIPALES MICROCUENCAS DEL MUNICIPIO DE
SAN JOSE DE MIRANDA, SANTANDER, COLOMBIA**

**BARLEY JERDANY BOHÓRQUEZ FLÓREZ
ALEX GUSTAVO MERCHÁN SUAREZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Forestal**

**Director
JOSE MANUEL MARIÑO GUECHA
Ingeniero Forestal**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
INSTITUTO DE PROYECCIÓN REGIONAL Y EDUCACIÓN A DISTANCIA
IPRED
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL
MÁLAGA
2017**

DEDICATORIA

“Todo tiene su tiempo, y todo lo que se quiere debajo del cielo tiene su hora”

Eclesiastés 3:1

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar Gracias al Dios de la vida quien nos brindó la oportunidad de estar aquí, seguidamente a la Universidad Industrial de Santander, Alcaldía de San José de Miranda y a nuestras familias que nos brindaron su apoyo y confianza para alcanzar este objetivo, el cual buscamos con esfuerzo, sacrificio y dedicación.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	32
1. PROBLEMA	33
2. JUSTIFICACIÓN	34
3. OBJETIVOS	35
3.1 OBJETIVO GENERAL	35
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	35
4. MARCO REFERENCIAL	36
4.1 MARCO TEORICO	36
4.1.1 Ubicación y división territorial del municipio de San José de Miranda	37
4.2 MARCO HISTORICO	38
4.2.1. Amenaza alta	42
4.2.2 Amenaza media	42
4.3 MARCO LEGAL	43
4.4 MARCO CONCEPTUAL	44
5. PROCESOS METODOLOGICOS	47
5.1 METODOLOGIA	48

5.1.1 Reconocimiento preliminar del terreno, con identificación de las características climáticas, sociales y topográficas relevantes	48
5.1.2 Fase de Diagnóstico	48
5.1.3 Fase de procesamiento	50
5.1.4 Fase de Prospectiva	52
6. RESULTADOS	54
6.1 FASE DE DIAGNÓSTICO	54
6.1.1 Descripción general de las Microcuencas:	54
6.1.2 Elaboración de la cartografía base	60
6.1.3 Componente Hidrológico	65
6.1.4 Sistematización de la Información	147
6.1.5 Componente Hidrográfico (Parámetros Morfométricos de las Microcuencas)	149
6.1.6 Descarga de imágenes raster (10 y 30 m de resolución espacial):	171
6.2 FASE DE PROCESAMIENTO	173
6.2.1 Procesamiento raster-digitalización de Coberturas para la aplicación del Número de curva (CN) metodología “SCS”:	173
6.2.2 Clasificación Supervisada para los patrones de coberturas:	175
6.2.3 Generación de base de datos especializada y salida cartográfica para cada una de las ocho principales Microcuencas:	176
6.2.4 Planteamiento de la Ecuación Universal de pérdidas de suelo (USLE)	200
6.2.5 Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo USLE	241
6.2.6 Cartografía de erosión	241
6.2.7 Análisis de erosión bajo condiciones normales de precipitación	243

6.2.8 Análisis de erosión en condiciones Extremas de Precipitación	270
6.3 FASE DE PROSPECTIVA	296
6.3.1 Validación del Análisis de Erosión Potencial USLE	296
6.3.2 Clasificación de Zonas de Vida según Holdridge	308
6.3.3 Necesidades de Información: Plantear técnicas y prácticas de Bioingeniería	330
6.3.4 Prevención de Erosión	331
7. ANALISIS DE RESULTADOS	336
8. CONCLUSIONES	338
7. RECOMENDACIONES	340
BIBLIOGRAFÍA	342

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Área de estudio	36
Figura 2. Diagrama de la metodología del proyecto	47
Figura 3. Mapa general del municipio de San José de Miranda	64
Figura 4 . Sección transversal irregular	66
Figura 5. Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Media Quebrada La Malagueña.	78
Figura 6. Sección Transversal Mitad. Parte Media Quebrada La Malagueña	79
Figura 7. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Media Quebrada La Malagueña	80
Figura 8. Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Baja Quebrada La Malagueña	84
Figura 9. Sección Transversal Mitad. Parte Baja Quebrada La Malagueña	85
Figura 10. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Baja Quebrada La Malagueña	86
Figura 11. Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Media Quebrada Los Cojos	97
Figura 12. Sección Transversal Mitad. Parte Media Quebrada Los Cojos	98
Figura 13. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Media Quebrada Los Cojos	99
Figura 14. Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Baja Quebrada Los Cojos	103
Figura 15. Sección Transversal Mitad. Parte Baja Quebrada Los Cojos	104
Figura 16. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Baja Quebrada Los Cojos	105
Figura 17 . Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Media Quebrada Sagamal	113

Figura 18. Sección Transversal Mitad. Parte Media Quebrada Sagamal	114
Figura 19. Sección Transversal Aguas abajo Parte Media Quebrada Sagamal	115
Figura 20. Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Baja Quebrada Sagamal	119
Figura 21. Sección Transversal Mitad. Parte Baja Quebrada Sagamal	120
Figura 22. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Baja Quebrada Sagamal	121
Figura 23. Sección Transversal Aguas Arriba Parte Media Quebrada Salado Bravo	127
Figura 24. Sección Transversal Mitad. Parte Media Quebrada Salado Bravo	128
Figura 25. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Media Quebrada Salado Bravo	129
Figura 26 . Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Media “Tabarlaque”	136
Figura 27. Sección Transversal Mitad. Parte Media “Tabarlaque”	137
Figura 28. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Media “Tabarlaque”	138
Figura 29. Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Baja “Tabarlaque”	142
Figura 30. Sección Transversal Mitad. Parte Baja “Tabarlaque”	143
Figura 31. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Baja “Tabarlaque”	144
Figura 32. Mapa de Pendiente Microcuenca La Malagueña	154
Figura 33. Mapa de Pendiente Microcuenca Chituli	156
Figura 34. Mapa de Pendiente Microcuenca Los Cojos	158
Figura 35. Mapa de Pendiente. Microcuenca Popagá	160
Figura 36. Mapa de Pendiente Microcuenca Sagamal	162
Figura 37. Mapa de Pendiente Microcuenca Salado Bravo	164
Figura 38. Mapa de Pendiente Microcuenca Tabarlaque	166
Figura 39. Mapa de la Pendiente Microcuenca Las Balsas	168

Figura 40. Clasificación Supervisada para la determinación de Coberturas Arbóreas, Praderas y Suelo Desnudo.	176
Figura 41. Mapa Coberturas Microcuenca La Malagueña	177
Figura 42. Mapa Coberturas. Microcuenca Chituli.	180
Figura 43 . Mapa Coberturas Microcuenca Los Cojos	183
Figura 44. Mapa Coberturas Microcuenca Popagá	186
Figura 45. Mapa Coberturas Microcuenca Sagamal	189
Figura 46 . Mapa Coberturas Microcuenca Salado Bravo	192
Figura 47. Mapa Coberturas Microcuenca Tabarlaque	195
Figura 48. Mapa Coberturas Microcuenca Las Balsas	198
Figura 49. Mapa Factor “C” de las ocho principales Microcuencas municipio San José de Miranda	203
Figura 50. Precipitación total multianual para el municipio San José de Miranda.	210
Figura 51. Mapa Factor R, para condiciones Normales de Precipitación para las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda	213
Figura 52. Mapa Factor R para condiciones Extremas de Precipitación en las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda	214
Figura 53 . Mapa Formación Geológica Microcuenca La Malagueña	217
Figura 54. Mapa Formación Geológica Microcuenca Chituli	219
Figura 55. Mapa Formación Geológica Microcuenca Los Cojos	222
Figura 56. Mapa Formación Geológica Microcuenca Popagá	224
Figura 57. Mapa Formación Geológica Microcuenca Sagamal	227
Figura 58. Mapa Formación Geológica Microcuenca Salado Bravo	230
Figura 59. Mapa Formación Geológica Microcuenca Tabarlaque	233

Figura 60 . Mapa Formación Geológica Microcuenca Las Balsas	236
Figura 61. Mapa Factor K para las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda	238
Figura 62. Mapa Factor LS para las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda	240
Figura 63. Mapa Factor A en condiciones Normales de precipitación para las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda	244
Figura 64. Mapa Erosión para condiciones Normales de Precipitación Microcuenca La Malagueña	250
Figura 65 . Mapa erosión para condiciones Normales de Precipitación Microcuenca Chituli	253
Figura 66. Mapa Erosión para condiciones Normales de Precipitación Microcuenca Los Cojos	256
Figura 67. Mapa Erosión para condiciones Normales de Precipitación Microcuenca Popagá	259
Figura 68. Mapa Erosión para condiciones Normales de Precipitación Microcuenca Salado Bravo	264
Figura 69. Mapa Erosión para condiciones Normales de precipitación Microcuenca Tabarlaque	266
Figura 70. Mapa Erosión para condiciones Normales de Precipitación Microcuenca Las Balsas	268
Figura 71. Mapa erosión en condiciones Extremas de Precipitación para las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda	271
Figura 72. Mapa erosión para condiciones Extremas de Precipitación Microcuenca La Malagueña	275
Figura 73. Mapa erosión para condiciones Extremas de Precipitación Microcuenca Chituli	278
Figura 74. Mapa Erosión para condiciones Normales de Precipitación Microcuenca Los Cojos	280

Figura 75. Mapa erosión para condiciones Extremas de Precipitación Microcuenca Popagá	283
Figura 76. Mapa erosión para condiciones Extremas de Precipitación Microcuenca Sagamal	286
Figura 77. Mapa erosión para condiciones Extremas de Precipitación Microcuenca Salado Bravo	289
Figura 78. Mapa erosión para condiciones Extremas de Precipitación Microcuenca Tabarlaque	291
Figura 79. Mapa erosión para condiciones Extremas de Precipitación Microcuenca Las Balsas	294
Figura 80. Mapa de Isotermas para el municipio de San José de Miranda	311
Figura 81. Mapa de Evapotranspiración potencial (ETP) para el municipio de San José de Miranda	313
Figura 82. Mapa de Balance Hídrico (BH) para el municipio de San José de Miranda	315
Figura 83. Diagrama para clasificación de zonas de vida	317
Figura 84. Estabilización de taludes utilizando vegetación (sistema radicular)	334
Figura 85. Distribución de especies vegetales sobre la pendiente.	334
Figura 86. Tipos de raíces vegetales	335

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Rangos de la Pendiente en porcentaje. Microcuenca La Malagueña.	155
Grafica 2. Rangos de la Pendiente en porcentaje. Microcuenca Chituli	157
Grafica 3. Rangos de la Pendiente en porcentaje Microcuenca Los Cojos.	159
Grafica 4. Rangos de la Pendiente en porcentaje Microcuenca Popagá.	161
Grafica 5. Rangos de la Pendiente en porcentaje Microcuenca Sagamal.	163
Grafica 6. Rangos de la Pendiente en porcentaje Microcuenca Salado Bravo.	165
Grafica 7. Rangos de la Pendiente en porcentaje Microcuenca Tabarlaque.	167
Grafica 8. Rangos de la Pendiente en porcentaje. Microcuenca Las Balsas.	169
Grafica 9. Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca La Malagueña.	179
Grafica 10. Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Chituli.	182
Grafica 11 Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Los Cojos.	185
Grafica 12. Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Popaga.	188
Grafica 13. Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Sagamal.	191
Grafica 14. Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Salado Bravo.	194
Grafica 15 . Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Tabarlaque.	197
Grafica 16. Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Las Balsas.	200
Grafica 17. Precipitación Total anual (mm) de los municipios que intervienen en el proceso de interpolación para un periodo de dieciséis años.	209
Grafica 18. Precipitación Min.y Max. para área total de San Jose de Miranda derivada del proceso de interpolación	212

Grafica 19. Índice modificado de Fournier para los modelos en condiciones Normales y Extremas de Precipitación	212
Grafica 20. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca La Malagueña.	218
Grafica 21. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Chituli.	220
Grafica 22. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Los Cojos.	223
Grafica 23. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Popagá.	225
Grafica 24. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Sagamal.	228
Grafica 25. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Salado Bravo.	231
Grafica 26. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Tabarlaque.	234
Grafica 27. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Las Balsas.	237
Grafica 28. Porcentaje de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las veredas de San José de Miranda.	246
Grafica 29. Porcentaje de erosión para condiciones Normales de Precipitación en las ocho principales Microcuencas de San José de Miranda.	248
Grafica 30. Diagrama erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca La Malagueña.	252
Grafica 31. Diagrama erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Chituli.	255
Grafica 32. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Los Cojos.	258
Grafica 33. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Popaga.	260

Grafica 34. Mapa Erosión para condiciones Normales de Precipitación Microcuenca Sagamal	261
Grafica 35. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Sagamal.	263
Grafica 36. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Salado Bravo.	265
Grafica 37. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Tabarlaque.	267
Grafica 38. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Las Balsas.	270
Grafica 39. Porcentaje de erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las veredas de San José de Miranda.	273
Grafica 40. Porcentaje de erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las ocho principales Microcuencas de San José de Miranda.	274
Grafica 41. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca La Malagueña.	277
Grafica 42. Diagrama erosión de coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Chituli.	279
Grafica 43. Diagrama erosión de Coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Los Cojos.	281
Grafica 44. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Popagá.	284
Grafica 45. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Sagamal.	288
Grafica 46. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Salado Bravo.	290
Grafica 47. Diagrama erosión de coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Tabarlaque.	292
Grafica 48. Diagrama erosión de coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Las Balsas.	295

LISTA DE IMAGENES

	Pág.
Imagen 1. Erosión en surcos, parte alta del deslizamiento quebrada “La Virgen”	41
Imagen 2. Afloramiento Quebrada La Malagueña	74
Imagen 3. Tramo canalizado vía San José de Miranda- Málaga Km 33+860 m	75
Imagen 4. Unión de las quebradas La Malagueña-La Magnolia	75
Imagen 5. Medición Sección Transversal Quebrada La Malagueña.	76
Imagen 6 . Método del Flotador Parte Media Quebrada La Malagueña.	77
Imagen 7 . Desembocadura Quebrada La Malagueña-Río Servitá.	81
Imagen 8. Medición Sección Transversal.	81
Imagen 9. Método del Flotador Parte Baja Quebrada La Malagueña-Río Servitá	82
Imagen 10. Panorámica afloramiento Quebrada Chituli	87
Imagen 11. Afloramiento quebrada Chituli	88
Imagen 12. Captación Afloramiento Quebrada Chituli	88
Imagen 13. Canal abierto km 32+ 293 m vía San José de Miranda- Málaga	90
Imagen 14. Aforo Volumétrico Parte Media “Chituli”	90
Imagen 15. Desembocadura quebrada Chituli al río Servita	91
Imagen 16. Aforo Volumétrico Parte Baja la Microcuenca Chituli.	92
Imagen 17. Afloramiento y Aforo volumétrico “Los Cojos”	93
Imagen 18. Salto de agua “La Cascada”	94
Imagen 19. Método del Flotador sector “La Cascada”	95

Imagen 20. Panorámica desembocadura quebrada Los Cojos-Río Servitá	100
Imagen 21. Medición Longitudinal del cauce.	101
Imagen 22 . Cárcava de terreno	106
Imagen 23. Desembocadura quebrada Popagá-Río Servitá	107
Imagen 24. Aforo volumétrico Parte Baja	108
Imagen 25. Aforo Volumétrico afloramiento quebrada Sagamal	109
Imagen 26. Método del Flotador Parte Media “Sagamal”	111
Imagen 27. Desembocadura al Río Servitá	116
Imagen 28. Método del Flotador Parte Baja “Sagamal”	117
Imagen 29. Cauce carretera arriba “Salado Bravo”	122
Imagen 30. Aforo volumétrico Parte Alta Salado Bravo	123
Imagen 31 . Método del Flotador Parte Media Salado Bravo	124
Imagen 32. Panorámica desembocadura al Río Servitá	130
Imagen 33. Aforo Volumétrico Parte Baja “Salado Bravo”	130
Imagen 34 . Afloramiento Tabarlaque	132
Imagen 35. Cruce de la quebrada Tabarlaque sobre vía veredal.	133
Imagen 36. Medida de profundidades	133
Imagen 37. Método del Flotador	134
Imagen 38. Desembocadura al río Chicamocha	139
Imagen 39. Método del Flotador	140
Imagen 40. Afloramiento quebrada Las Balsas	145
Imagen 41. Parte media Microcuenca Las Balsas	145
Imagen 42. Desembocadura quebrada Las Balsas-Río Chicamocha	146

Imagen 43. Vista en 3D del Modelo Digital de Elevación (DEM) manipulado en este estudio	151
Imagen 44. Digitalización de la divisoria de aguas por medio del relieve aportado por el DEM	153
Imagen 45. Recorte de imagen Sentinel-2A para el área de estudio	172
Imagen 46. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca La Malagueña. Coordenadas 1150295.81 Este 1230855.60 Norte.	297
Imagen 47. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca La Malagueña. Coordenadas 1149971.96 Este 1230792.10 Norte	297
Imagen 48. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Los Cojos. Coordenadas 1148037.06 Este y 1228799.12 Norte	298
Imagen 49. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Los Cojos. Coordenadas 1148313.02 Este y 1228941.20 Norte	298
Imagen 50. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Los Cojos. Coordenadas 1148589.24 Este y 1229171.71 Norte	299
Imagen 51. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Los Cojos. Coordenadas 1149274.66 Este y 1229205.49 Norte	299
Imagen 52. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Los Cojos. Coordenadas 1149154.01 Este y 1229093.31 Norte	300
Imagen 53. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Los Cojos. Coordenadas 1149154.01 Este y 1229093.31 Norte	300
Imagen 54. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Popagá. Coordenadas 1149636.94 Este y 1227792.65 Norte	301
Imagen 55. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Popagá. Coordenadas 1150125.76 Este y 1227563.79 Norte	301
Imagen 56. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Tabarlaque. Coordenadas 1146956.84 Este y 1223332.64 Norte	302
Imagen 57. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Tabarlaque. Coordenadas 1147174.86 Este y 1223209.88 Norte	302

Imagen 58. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Tabarlaque. Coordenadas 1147854.31 Este y 1223156.96 Norte	303
Imagen 59. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Tabarlaque. Coordenadas 1146511.08 Este y 1220181.40 Norte	303
Imagen 60. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Tabarlaque. Coordenadas 1146511.08 Este y 1220181.40 Norte	304
Imagen 61. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Tabarlaque. Coordenadas 1146274.64 Este y 1220000.06 Norte	304
Imagen 62. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Alta, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1145839.13 Este y 1222040.90 Norte	305
Imagen 63. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Alta, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1145515.28 Este y 1221634.50 Norte	305
Imagen 64. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Alta, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1146404.28 Este y 1221549.83 Norte	306
Imagen 65. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Alta, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1145818.86 Este y 1221221.81 Norte	306
Imagen 66. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1146084.77 Este y 1221113.00 Norte	307
Imagen 67. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1145603.61 Este y 1220428.63 Norte	307
Imagen 68. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1145670.02 Este y 1220174.10 Norte	308
Imagen 69. Especie Gramínea para implementar en todas las Microcuencas	327
Imagen 70. Vetiver en Colombia	329

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Hidrología de las Microcuencas de San José de Miranda año 2003	62
Tabla 2. Morfometría de las Corrientes del Municipio para el año 2003.	63
Tabla 3. Valores promedios del coeficiente de Manning (n) para un flujo de agua en canales abiertos	67
Tabla 4. Valores del coeficiente de rugosidad de Manning (n) para ser aplicado en su ecuación	67
Tabla 5. Máxima velocidad permitida en canales no recubiertos de vegetación	68
Tabla 6. Relación Temperatura / Viscosidad en agua dulce y agua de mar.	70
Tabla 7. Registro de medidas Secciones Transversales	76
Tabla 8. Datos Método del Flotador Parte Media “La Malagueña”	77
Tabla 9. Registro de medidas Secciones Transversales	82
Tabla 10. Datos Método del Flotador Parte Baja “La Malagueña”	83
Tabla 11. Tiempos registrados Aforo volumétrico nacimiento “Chituli”.	89
Tabla 12. Tiempos registrados Aforo volumétrico Parte Media “Chituli”	91
Tabla 13 . Tiempos registrados Aforo Volumétrico Parte Baja “Chituli”	92
Tabla 14. Tiempos registrados Aforo Volumétrico Nacimiento “Los Cojos”	94
Tabla 15. Registro de medidas Secciones Transversales	95
Tabla 16 . Datos Método del Flotador Parte Media “Los Cojos”	96
Tabla 17. Registro de medidas Secciones Transversales	101
Tabla 18. Datos Método del Flotador Parte Baja “Los Cojos”.	102

Tabla 19. Tiempos registrados Aforo Volumétrico Parte Baja “Popagá”	108
Tabla 20. Tiempos registrados Aforo Volumétrico Parte Alta afloramiento “Sagamal”	110
Tabla 21. Registro de medidas Secciones Transversales	111
Tabla 22. Datos Método del Flotador Parte Media “Sagamal”.	112
Tabla 23. Registro de medidas Secciones Transversales	117
Tabla 24. Datos Método del Flotador Parte Baja “Sagamal”.	118
Tabla 25. Tiempos registrados Aforo Volumétrico Parte Alta “Salado Bravo”	124
Tabla 26. Registro de medidas Secciones Transversales	125
Tabla 27. Datos Método del Flotador Parte Media “Salado Bravo”	125
Tabla 28. Aforo Volumétrico Parte Baja “Salado Bravo”.	131
Tabla 29 . Registro de medidas Secciones Transversales	134
Tabla 30. Datos Método del Flotador Parte Media “Tabarlaque”	135
Tabla 31. Registro de medidas Secciones Transversales	140
Tabla 32. Datos Método del Flotador Parte Baja “Tabarlaque”	141
Tabla 33. Caudales promedio de las Microcuencas de San José de Miranda. Mes de Noviembre de 2016	147
Tabla 34. Software utilizado por el componente SIG	148
Tabla 35. Ordenadores y Procesadores utilizados para la elaboración de la cartografía	148
Tabla 36. Hardware para trabajo en campo	148
Tabla 37. Coordenadas utilizadas para el procesamiento de datos espaciales	149
Tabla 38. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca La Malagueña.	155
Tabla 39. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Chituli.	157

Tabla 40. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Los Cojos.	159
Tabla 41. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Popagá.	161
Tabla 42. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Sagamal.	163
Tabla 43. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Salado Bravo.	165
Tabla 44. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Tabarlaque.	167
Tabla 45. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Las Balsas.	169
Tabla 46. Morfometría de las ocho principales Microcuencas del Municipio de San José de Miranda.	170
Tabla 47. Forma y Pendiente media de las ocho principales Microcuencas del Municipio de San José de Miranda.	170
Tabla 48. Número de Curva y Clasificación de unidades vegetales para las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda	175
Tabla 49. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca La Malagueña.	178
Tabla 50. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Chituli.	181
Tabla 51. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Los Cojos.	184
Tabla 52. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Popaga.	187
Tabla 53. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Sagamal.	190
Tabla 54. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Salado Bravo.	193
Tabla 55. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Tabarlaque.	196

Tabla 56. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Las Balsas.	199
Tabla 57. Aproximación para determinar el Factor “C”	201
Tabla 58. Coordenadas de las estaciones utilizadas en el proceso de interpolación.	206
Tabla 59. Registros de Precipitación.	207
Tabla 60. Registros de Precipitación municipio de San José de Miranda, derivados del proceso de Interpolación.	211
Tabla 61. Resumen de las unidades litológicas del municipio de San José de Miranda	216
Tabla 62 . Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje, Microcuenca La Malagueña.	218
Tabla 63. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje, Microcuenca Chituli.	220
Tabla 64. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje, Microcuenca Los Cojos.	223
Tabla 65. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje, Microcuenca Popagá	225
Tabla 66. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje, Microcuenca Sagamal	228
Tabla 67. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje, Microcuenca Salado Bravo.	231
Tabla 68. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje de las Microcuenca Tabarlaque.	234
Tabla 69. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje Microcuenca Las Balsas.	237
Tabla 70. Rangos de clasificación de la erosión potencial (USLE)	242
Tabla 71. Calificación de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las veredas de San José de Miranda.	245

Tabla 72. Porcentaje y Calificación de erosión para condiciones Normales de Precipitación en las ocho principales Microcuencas de San José de Miranda.	247
Tabla 73. Calificación y Porcentaje de erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca La Malagueña.	251
Tabla 74. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Chituli.	254
Tabla 75. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Los Cojos.	257
Tabla 76. Calificación y Porcentaje de erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Popagá.	260
Tabla 77. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Sagamal.	262
Tabla 78. Calificación y Porcentaje de erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Salado Bravo.	265
Tabla 79. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Tabarlaque.	267
Tabla 80. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Las Balsas.	269
Tabla 81. Calificación de erosión en condiciones Extremas de Precipitación para las veredas del municipio de San José de Miranda	272
Tabla 82. Calificación y Porcentaje de erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las ocho principales Microcuencas de San José de Miranda.	273
Tabla 83. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca La Malagueña.	276
Tabla 84. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Chituli.	279
Tabla 85. Calificación y Porcentaje de erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Los Cojos.	281
Tabla 86. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Popagá	284

Tabla 87. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Sagamal.	287
Tabla 88. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Salado Bravo.	290
Tabla 89. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Tabarlaque.	292
Tabla 90. Calificación y Porcentaje de erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Las Balsas.	295
Tabla 91. Ecuaciones de distribución espacial y temporal de la temperatura	309
Tabla 92. Elevación (m.s.n.m.) y temperatura de cada uno de los municipios	309
Tabla 93. Datos tenidos en cuenta para la clasificación de la Zona de Vida.	316
Tabla 94. Principales aspectos que afectan el fenómeno de erosión por lluvia	331
Tabla 95. Técnicas y Prácticas de bioingeniería en taludes, laderas y cauces	333

RESUMEN

TITULO: ESTUDIOS PARA ESTABLECER PRACTICAS DE MANTENIMIENTO Y PROTECCIÓN FORESTAL, EN AREAS SUSCEPTIBLES A LA EROSIÓN DENTRO DE LAS OCHO PRINCIPALES MICROCUENCAS DEL MUNICIPIO DE SAN JOSE DE MIRANDA, SANTANDER, COLOMBIA.*

AUTORES: BARLEY JERDANY BOHORQUEZ FLOREZ y ALEX GUSTAVO MERCHAN SUAREZ**

PALABRAS CLAVES: MICROCUENCA, EROSIÓN HIDRICA, RED HIDRICA PRINCIPAL

DESCRIPCIÓN:

Los regímenes elevados de precipitación, el relieve pronunciado y la poca protección forestal que presentan los ecosistemas pertenecientes a las Microcuencas del municipio de San José Miranda, han ocasionado en las últimas décadas, una serie de afectaciones naturales derivadas en su mayor parte de los procesos hídricos de erosión. El presente documento expone los factores propios de la metodología USLE para determinar las áreas con potencial erosivo dentro de las Microcuencas del municipio, haciendo énfasis en la red hídrica principal de cada una de ellas; esta evaluación se fundamenta en los escenarios bajo condiciones normales y extremas de precipitación, o fenómeno de la niña, donde con base en la utilización de herramientas del tipo SIG (Sistemas de Información Geográfica) se identificaron cartográficamente y en escala real las áreas con clasificación extrema de erosión para posteriormente formular acciones de protección forestal con bases de bioingeniería. La determinación de los factores de erodabilidad USLE, iniciaron con la digitalización de coberturas vegetales y antropizadas para el municipio, teniendo en cuenta la metodología de transformación lluvia - escorrentía planteada por Soil Conservation Service; seguido del análisis multitemporal de la información pluviométrica existente dentro del área influencia directa (mediante la generación e interpretación de Isoyetas para un periodo de 16 años) y el procesamiento de los componentes geológicos y de relieve propios de las Microcuencas para un resultado final de 80 ha con erosión extrema y superior a 250 Ton/ha/año.

* Trabajo de grado

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: José Manuel Mariño Guecha, Ingeniero Forestal.

ABSTRACT

TITLE: STUDIES FOR ESTABLISHING MAINTENANCE AND FOREST PROTECTION PRACTICES IN AREAS SUSCEPTIBLE TO EROSION WITHIN THE EIGHT MAIN MICROCUENCAS OF THE MUNICIPALITY OF SAN JOSE DE MIRANDA, SANTANDER, COLOMBIA *

AUTHORS: BARLEY JERDANY BOHORQUEZ FLOREZ and ALEX GUSTAVO MERCHAN SUAREZ**

KEYWORDS: MICROCUENIC, HYDRICAL EROSION, MAIN HYDRIC NETWORK.

DESCRIPTION:

The high precipitation regimes, pronounced relief and poor forest protection presented by the ecosystems belonging to the microbasins of the municipality of San José Miranda have, in the last decades, caused a series of natural conditions derived mostly from water processes of erosion. This paper presents the factors that are characteristic of the USLE methodology to determine the areas with erosive potential (ton / ha / year) within the municipality's micro-basins, with emphasis on the main water network of each one of them; This evaluation is based on the scenarios under normal and extreme conditions of precipitation, or phenomenon of the girl, where, based on the use of tools of the type GIS (Geographic Information Systems), the areas with extreme classification were identified cartographically and in real scale. Of erosion to later formulate actions of forest protection with bases of bioengineering. The determination of USLE erodibility factors began with the digitization of vegetation and anthropic coverages for the municipality, taking into account the methodology of rain - runoff transformation proposed by Soil Conservation Service; Followed by the multitemporal analysis of rainfall information within the area direct influence (through the generation and interpretation of isolettes for a period of 16 years) and the processing of the geological and relief components of the microbasins; For a final result of 80 ha with extreme erosion and above 250 ton / ha / year..

* Bachelor Thesis

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: José Manuel Mariño Guecha, Ingeniero Forestal.

INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo como recurso natural, es una de los problemas más recurrentes en muchas Microcuencas de San José de Miranda, especialmente en áreas con Pendientes pronunciadas y uso inadecuado del suelo por parte de sus habitantes. La alteración del ciclo hidrológico y deterioro de los ecosistemas ocasiona fenómenos erosivos, que impactan negativamente el medio ambiente, las comunidades y sus actividades económicas, impactos que se ven reflejados en bajo rendimiento de la producción rural, pérdida de coberturas vegetales, sedimentación de cauces, desestabilización de laderas, situaciones que también pueden generar destrucción de infraestructuras y hasta pérdidas humanas.

Este estudio se enfoca en la identificación de procesos erodabilidad potencial dentro de las Microcuencas del municipio de San José de Miranda, con base en la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE (Universal Soil Loss Equation) mediante las ventajas que brindan los sistemas de información geográfica SIG, como herramienta de análisis especializada para la compilación integral y precisa de datos. Estos aspectos comprenden la digitalización cartográfica de coberturas forestales, determinación de unidades geológicas, análisis multitemporal de datos pluviométricos y registros primarios y secundarios de información hidrológica. Posteriormente se propuso un análisis situacional bajo dos escenarios posibles de erosión hídrica, los cuales se basan en la evaluación de los modelos en condiciones normales y en condiciones extremas de precipitación, con el fin de determinar la incidencia de cada uno de ellos, su ubicación a escala real y las posibilidades de generar acciones de protección forestal, las cuales se plantearon a manera de bioingeniería en áreas con erodabilidad extrema y con influencia directa a la red hídrica principal de cada una de las ocho Microcuencas.

1. PROBLEMA

Degradación de la cobertura vegetal y de los suelos, por acciones antrópicas y naturales, en distintos puntos a lo largo de las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda.

2. JUSTIFICACIÓN

La disminución de la vegetación natural en las cuencas y Microcuencas trae consigo graves consecuencias al medio ambiente, ocasionando el deterioro del recurso hídrico, el paisaje, la flora, la fauna y el suelo, lo cual no garantiza la sostenibilidad de los recursos naturales. La disminución acentuada del régimen de caudales dentro de la dinámica natural de las quebradas presentes en el municipio de San José de Miranda, se debe a la destrucción de la cobertura boscosa ocasionada por efectos antrópicos de deforestación, aumento de la frontera agrícola y tala indiscriminada de bosques, acciones que disminuyen la capacidad productiva del suelo y facilitan procesos erosivos que estimulan problemas más serios como deslizamientos de material que afectan viviendas e infraestructuras.

En la mayor parte de las Microcuencas del municipio de San José de Miranda se pueden distinguir considerables áreas de terreno desprovistas de vegetación y por consiguiente susceptibles a la erosión, erosión originada por la lluvia y su posterior transformación en escorrentía que remueve las partículas del suelo y modifican su estructura. Por lo que se hace necesario adoptar medidas que contribuyan de manera directa a la sostenibilidad del recurso y a mitigar el riesgo de desastres naturales asociados con eventos erosivos.

La alcaldía de San José de Miranda a través de sus planes de desarrollo basados en los planes gubernamentales, deben incluir la sostenibilidad de los recursos naturales para sus municipios, y es allí donde profesionales como los de Ingeniería Forestal pueden contribuir como se hace en este estudio que es base para un proyecto más grande que incluye a la máxima autoridad ambiental del departamento de Santander CAS.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar las áreas con potencial erosivo dentro de cada una de las ocho Microcuencas del municipio de San José de Miranda, aplicando la ecuación universal de pérdida de suelo USLE.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Actualizar la cartografía base de las Microcuencas aplicando la metodología de Soil Conservation Service (SCS) para el cálculo de la transformación de lluvia-escorrentía

Aplicar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE para cada una de las Microcuencas, bajo los modelos planteados en condiciones normales y condiciones extremas de precipitación o fenómeno de la niña

Analizar el balance hídrico presente en las Microcuencas con base en operaciones algebraicas de Temperatura y Evapotranspiración potencial según el postulado de Holdridge.

Recomendar especies arbóreas, arbustivas y/o gramíneas de protección en las áreas con problemas erosivos dentro de las ocho principales Microcuencas del municipio.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEORICO

Este proyecto se enfoca a la determinación de áreas con potencial erosivo dentro de las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda y contribuye al cumplimiento de los objetivos de tipo ambiental trazados en el Plan de Desarrollo municipal, promoviendo un medio ambiente sano y sostenible.

Figura 1. Área de estudio



Fuente: Wikipedia, 2017.

4.1.1 Ubicación y división territorial del municipio de San José de Miranda:

(EOT. 2003)¹. El municipio de San José de Miranda cuenta con una extensión territorial de 85 km² y se halla localizado en la zona sur oriental del departamento de Santander, en la provincia de García Rovira a 6° (grados) 39´ (minutos) Latitud Norte y a 72° (grados) 49´ (minutos) Longitud Oeste, según el Ecuador y el meridiano de Greenwich que rige para Colombia, su casco urbano se encuentra situado a una altura de 1980 m.s.n.m. y una temperatura media de 17 ° C.

El municipio limita de sur a norte con los municipios de Capitanejo, Covarachía (Boyacá) y Málaga, y con los municipios de Enciso y Molagavita por el oriente y occidente.

Dentro de cada Microcuenca se pretende identificar las zonas más críticas para su respectivo análisis, en especial aquellas próximas al cauce principal, estas son:

- Microcuenca La Malagueña
- Microcuenca Chituli
- Microcuenca Los Cojos.
- Microcuenca Popagá
- Microcuenca Sagamal
- Microcuenca Salado Bravo
- Microcuenca Tabarlaque
- Microcuenca Las Balsas

Estas Microcuencas se hallan ubicadas dentro del siguiente intervalo de coordenadas (Magna Colombia Bogotá)

¹ ALCALDÍA MUNICIPAL DE SAN JOSE DE MIRANDA, SANTANDER. Esquema de Ordenamiento Territorial Miranda Santander 2003. [Online] San José De Miranda, Colombia: Alcaldía Municipal de San José de Miranda, Santander, 2003. p.3 [Citado en octubre de 2016] Disponible en: http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/eot_esquema%20de%20ordenamiento%20territorial_miranda_santander_2003.pdf

Este: 1.144.000 - 1.151.400

Norte: 1.219.800 - 1231.500

(Bork, H.-R., 2004) En todo el mundo el fenómeno de la erosión y su estudio ha adquirido fuerza debido al constante crecimiento de las áreas erosionadas en diferentes regiones del planeta². (Valentin,C; Poesen, J; Yon,Li, 2005; citado por Houben, P.2008) Las causas del origen de la erosión son atribuidas a diferentes factores que impulsan los procesos erosivos como la erosión interna, el cárcavamiento y eventualmente la degradación del suelo³. (Bodna'r, F. & De Graaff, J, 2003) El conocimiento y análisis de la naturaleza de los factores que intervienen en la generación de problemas de erosión en laderas y taludes, ha generado el desarrollo de nuevas y mejores técnicas para el control de este fenómeno, permitiendo a la vez la obtención de mejores resultados al combinar con métodos convencionales⁴

(Smith. 2011; citado por Suarez, D. 2002) La selección de una técnica o método en particular responde a las características específicas de los suelos presentes en las áreas, regiones o países en los cuales se pretendan implementar las alternativas tendientes a controlar los problemas de erosión.⁵

4.2 MARCO HISTORICO

Los procesos erosivos que conllevan a deslizamientos repentinos, son una de las afectaciones más frecuentes en zonas de alta pendiente, en la parte rural de San

² VALENTÍN, C.; POESEN, J.; YONG LY. Gully Erosion: Impacts, factors and control. En: ELSEVIER, 2005, vol. 63 no 1. p. 132-153.

³ Ibíd. 133

⁴ BODNA'R, F.; DE GRAAFF, J. Factors influencing adoption of soil and water conservation in Southern Malí. En: Land Degradation & Development, 2003, vol. 14 no. 1., p. 515-525.

⁵ EROSION.COM.CO. GEOTECNOLOGIA S.A.S. [sitio web] Bogotá: EROSION.COM.CO. GEOTECNOLOGIA S.A.S. [Citado 28 de febrero de 2017] Disponible en http://www.erosion.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=45:materiales-para-el-control-de-erosion&catid=27

José de Miranda la deforestación y las actividades agropecuarias son los principales factores que contribuyen a que dichos eventos se presenten con mayor impacto en épocas de lluvia.

Un ejemplo de ello sucedió cerca al casco urbano sobre la vía troncal del Norte en el km 30 +298, que comunica con el municipio de Málaga, entre los años 2010-2011 este evento origino graves problemas de movilidad debido a deslizamientos de tierra.

(PLAN MUNICIPAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES 2013) El evento perjudico a la población urbana y rural, quienes perdieron sus medios de subsistencia, de manera indirecta perjudico a los comerciantes locales, altero el desarrollo de actividades cotidianas de educación.⁶

(Caballero, M; Coronado; M. 2008) En el territorio de la región del Municipio de San José de Miranda se presentan problemas de deforestación, pérdida de suelos, deslizamientos, sobre-explotación de tierra, manejo inadecuado de áreas especiales como los páramos y nacientes de agua. El ciclo del agua se encuentra bastante alterado por acciones diversas como la tala generalizada de árboles para pastos, lo cual redundo en escasez de este recurso principalmente en verano y la erosión va de moderada a muy severa debido a todos los aspectos anteriormente mencionados y la pendiente de porcentaje alto. En San José de Miranda el hombre es el principal agente de la erosión porque la produce, la acelera o la facilita cuando desarrolla sus actividades principalmente agropecuarias. Los sectores de ladera de alta productividad y por ello altamente susceptible a la degradación. En algunos de estos sectores ya se muestran evidencias claras de la degradación como es la erosión caminos de granada y terracetas. Bajo el grado de utilización actual de la tierra y con las inadecuadas técnicas de labranza que incluyen en el arado mecánico con tractor el poco descanso de las tierras y el

⁶ ALCALDIA MUNICIPAL DE MIRANDA. Plan municipal de gestión del riesgo de desastres. Miranda: Concejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2013.p. 1-63

desmante de la vegetación nativa, es muy probable que los fenómenos actuales de erosión se manifiesten de manera generalizada en detrimento de la producción agropecuaria futura. El área sometida a este tipo y grado de amenaza se localiza en las Microcuencas de las quebradas Popagá, Salado Bravo, Tabarlaque, Las Balsas y La Virgen.⁷

(Caballero, M; Coronado; M. 2008) A pesar de su potencial hídrico, el municipio debe procurar una mayor protección de sus fuentes hídricas, así como de los afloramientos existentes, toda vez que la tendencia observada es a utilizar las áreas donde estos se encuentran como zonas de cultivo. Además ya se empiezan a presentar problemas por la mala distribución y la escasez en ciertas épocas del año. En razón a las anteriores causas se presenta una deficiencia en el abastecimiento de agua para los acueductos rurales y urbano; se generan bajos nivel de productividad agropecuaria, debido a que no hay puntos importantes de captación para distritos de riego, fuerte presión sobre las fuentes hídricas existentes y se da una tendencia hacia un incremento en la escasez de agua afectando la sostenibilidad a futuro del municipio de San José de Miranda, de no tomar acciones significativas que garanticen el suministro del líquido vital. La problemática de contaminación hídrica se refiere por una parte al desmejoramiento de la calidad del recurso hídrico por la presencia de agentes contaminantes sólidos en suspensión, ocasionada por los procesos erosivos en las quebradas y ríos.⁸

Los efectos más representativos de estas afectaciones, se registran a gran escala principalmente en la Microcuenca Los Cojos y específicamente en el afluente de la quebrada denominada La Virgen, donde erosiones de tipo traslacional, rotacional, reptación y caídas en roca se vienen presentando de manera progresiva.

⁷ CABALLERO, Luis Martín; CORONADO; Miguel Ernesto. Estudio para priorizar la descontaminación hídrica de la Cuenca del Río Chicamocha. Tesis de Especialista en Química Ambiental. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias, 2008.p.60

⁸ Ibíd., p.70

Imagen 1. Erosión en surcos, parte alta del deslizamiento quebrada “La Virgen”



Fuente: VESGA, C. 2009.

Imagen 1. Deslizamiento rotacional, parte baja de la Microcuenca “La Virgen”



Fuente: VESGA, C. 2009.

El último caso de erosión severa, se reportó en el año 2012, (Cárdenas, M.2012) donde Los movimientos de tierra, dejaron 300 familias damnificadas ya que sus casas fueron destruidas o registran fallas estructurales.⁹

Según estudios de geotécnica realizados para el área rural del municipio, se han identificado áreas de riesgo considerables (Fundación Dinco. 2015.) El suelo rural del municipio de San José de Miranda presenta amenaza por movimientos en masa, las cuales se pueden evidenciar mediante 3 mecanismos.

1. Caída y volcamientos de roca
2. Deslizamientos rotacionales sobre suelos residuales
3. Hundimientos y erosión por cárcavas y surcos

A continuación se describe la categoría de la amenaza para el suelo urbano según las consideraciones y localización que se deben tener en cuenta en el Decreto 1807 de 2014.

4.2.1. Amenaza alta: se evidencian procesos avanzados de erosión laminar y en surcos hasta cárcavas de 10 m de ancho. Se localiza principalmente sobre el eje vial desde la zona urbana hacia la vereda Moralito. La zona de mayor influencia se encuentra hacia la parte alta de la vereda Cruz de Piedra, vereda Cucharito y la zona media de la vereda El Pozo. La segunda de mayor influencia corresponde a pequeños depósitos de coluvión ubicados en la parte baja de los drenajes que aportan caudal a los ríos Servitá y Chicamocha.

4.2.2 Amenaza media: corresponde a las zonas con mejor influencia de procesos erosivos, pero por sus características áridas y baja cobertura vegetal conllevan a la generación de surcos y posteriormente deslizamientos sobre los suelos

⁹ CARDENAS MATEUS, Luis Alfonso. Inestabilidad de terrenos en San José de Miranda deja 300 familias damnificadas. En: Vanguardia liberal. Bucaramanga 13, septiembre, 2012. Sec. 2. p.2. col. 1-12

residuales. Actualmente se pueden evidenciar sobre la vereda Carbonera principalmente, y parte de la vereda Cucharito, la categoría de amenaza media también aplica actualmente a la vía que conduce desde San José de Miranda hacia Málaga, estas zonas actualmente cuentan con obras de ingeniería tipo pantallas ancladas, box culvert para drenajes y un nuevo puente sobre la quebrada La Virgen.¹⁰

4.3 MARCO LEGAL

Decreto 2811 de 1974, en su Artículo 177, hace referencia a la protección de los cauces naturales de ríos y quebradas.

Decreto 1449 de 1977 que reglamenta parcialmente el inciso 1 del numeral 5 del artículo 56 de la ley 135 de 1961 y el decreto 2811 de 1974. Artículo 7 numeral 2: proteger los suelos mediante técnicas adecuadas de cultivos y manejo de suelos, que eviten la salinización, erosión, contaminación o revenimiento y en general la pérdida o degradación de los suelos.

Decreto Ley 919 de 1989 facultó a los municipios para organizar sus propios sistemas de prevención y atención de desastres. Con este Decreto Ley se crea el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

Ley 489 de 1998: "Por el cual se establece la obligatoriedad del uso de los parámetros y estándares establecidos por la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales -- ICDE para la producción, intercambio y disposición de productos geográficos por parte de entidades del Estado y se dictan otras disposiciones".

Sistema de Información Geográfica -SIG-, es una herramienta que permite satisfacer las necesidades de información a nivel interno y externo, dando soporte

¹⁰FUNDACIÓN DINCO. Estudio de amenaza, riesgo y vulnerabilidad dentro del marco del decreto 1807 de gestión del riesgo para ser adoptado en el esquema de ordenamiento territorial del municipio de San José De Miranda (Santander). Bucaramanga: Fundación Dinco, 2015. p.108.

a las diferentes instituciones nacionales que conforman el Sistema de Información Nacional Ambiental –SINA-, bajo estándares establecidos por la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales –ICDE.

Decreto Ley 919 de 1989 facultó a los municipios para organizar sus propios sistemas de prevención y atención de desastres. Con este Decreto Ley se crea el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

Resolución 068 del 28 de enero de 2005 por la cual se adopta como único datum oficial de Colombia el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia: MAGNA-SIRGAS.

El Plan de Desarrollo del Municipio de San José de Miranda contempla como eje estratégico en la parte ambiental: “Tomar las medidas necesarias para el control, la prevención y atención de desastres y la defensa del medio ambiente en el municipio, en coordinación con la Corporación Autónoma Regional de Santander CAS)”.

La implementación del Sistema de Información Geográfica –SIG- atiende al cumplimiento del Decreto 3573 del 27 de septiembre de 2011, numeral 8 del Art. 14 en el que se expresa la necesidad de diseñar e implementar un Sistema de Información Geográfica, como herramienta informativa para la administración, el manejo y uso de la información como un verdadero instrumento de gestión.

4.4 MARCO CONCEPTUAL

Amenazas naturales: (Chardon, C; Gonzales, J.2003) se definen como aquellos elementos del ambiente biofísico que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él. Diferentes estudios revisados acogen y trabajan el concepto de "amenazas naturales" como a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos (especialmente sísmicos y volcánicos) y a

los incendios que por su ubicación, severidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, a sus estructuras y a sus actividades. Se hace un énfasis en que la condición de "natural" excluye a todos los fenómenos causados exclusivamente por el hombre como la contaminación y los eventos naturales inducidos por el hombre a partir de sus condiciones sociales; exclusión que deja a las investigaciones en curso carentes de otras formas¹¹

Prevención: (Chardon, C; Gonzales, J.2003) en teoría, corresponde al conjunto de medidas y acciones estructurales y no-estructurales que buscan evitar la creación de una situación de riesgo: es una visión prospectiva. Las medidas se aplican a la amenaza y/o a la vulnerabilidad. La visión actual de la prevención es realista y no utopista, pues no pretende que no se generen riesgos, sino que se crean niveles de riesgo los más bajos posibles. La prevención también es considerada por ciertos autores como el conjunto de medidas y acciones que, al contrario de la preparación, son estructurales, incluyendo las medidas legislativas y de ordenamiento territorial.¹²

Riesgo: (Chardon, C; Gonzales, J.2003) podemos considerar que el riesgo corresponde a un valor relativo probable de pérdidas de toda índole en un sitio específico vulnerable a una amenaza particular, en el momento del impacto de ésta y durante todo el período de recuperación y reconstrucción que le sigue. De manera general, los distintos autores consultados demostraron la evolución del concepto a los largo de las últimas dos décadas. Maskrey (1993) propone la siguiente definición: Primero asimilando el riesgo a la amenaza, diciendo que es un fenómeno de origen natural o humano que significa un cambio en el medio

¹¹ CHARDON, C., et al. Programa de información e indicadores de Gestión de Riesgos BID - CEPAL – IDEA. [en línea] Manizales: Banco Interamericano De Desarrollo, 2003. p.18 [Citado en noviembre de 2016] Disponible en: <http://idea.unalmz.edu.co/documentos/02%20Fundamentos%20Metodologicos%20Indicadores%20OBID-IDEA%20Fase%20I.pdf>

¹² Ibíd., p.16

ambiente que ocupa una comunidad determinada. Agrega que existen distintos niveles de riesgo: Riesgo aceptable, razonable, factible.¹³

Vulnerabilidad: (Chardon, C; Gonzales, J.2003) la probabilidad de que un sujeto o elemento expuesto a una amenaza natural, tecnológica o antrópica más generalmente, sufra daños y pérdidas humanas como materiales en el momento del impacto del fenómeno, teniendo además dificultad en recuperarse de ello, a corto, mediano o largo plazo. Esto significa que la vulnerabilidad también expresa la ineptitud en anticipar, la inflexibilidad del elemento expuesto y su incapacidad a resistir o absorber el impacto (Resistencia) y adaptarse a los cambios de toda índole que éste genera, a fin de recuperarse y restablecer sus medios de vida (Resiliencia).¹⁴

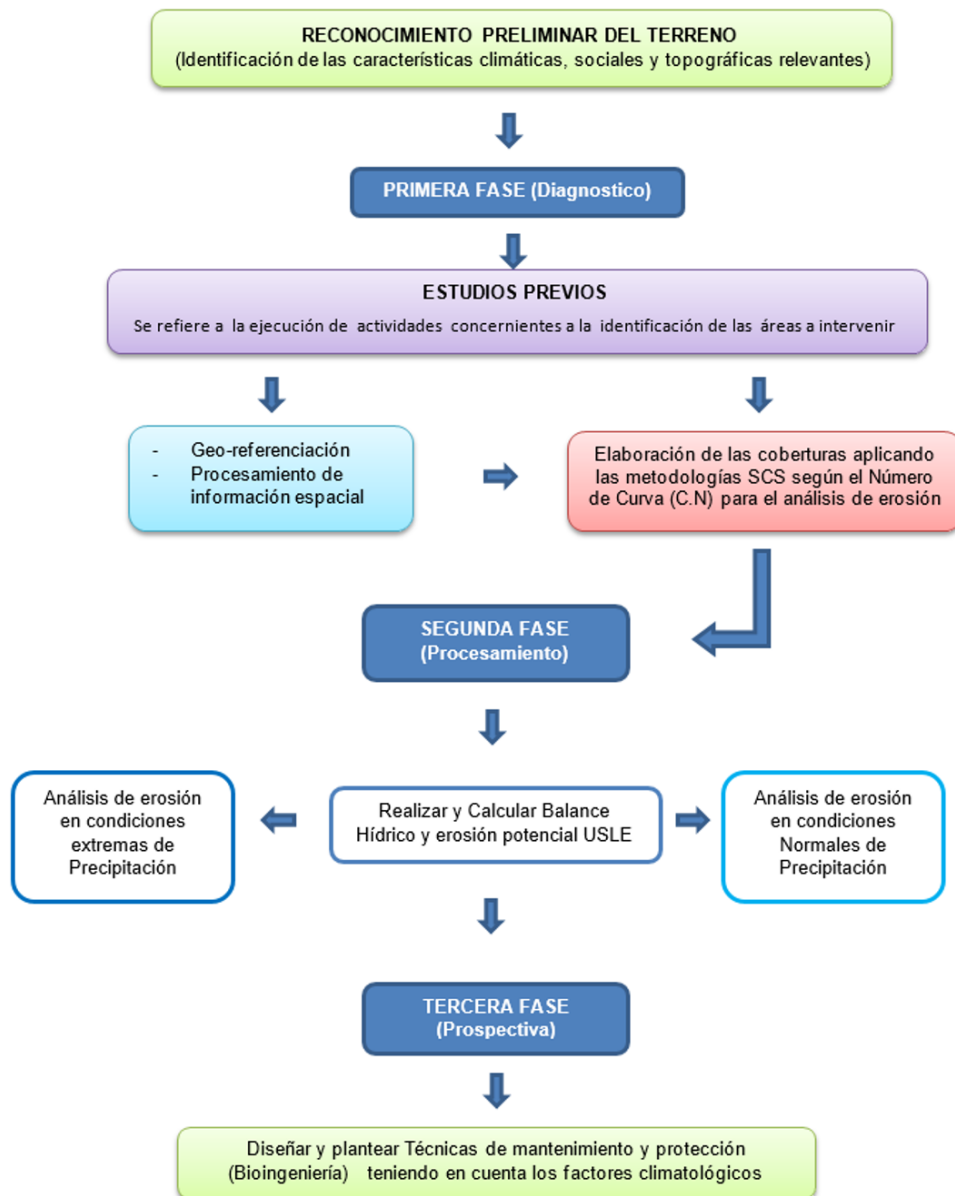
¹³ *Ibíd.*, p.22

¹⁴ *Ibíd.*, p.7

5. PROCESOS METODOLOGICOS

Dentro de la metodología establecida por el proyecto, se establecen tres fases, las cuales se encuentran graficadas en el siguiente diagrama de flujo.

Figura 2. Diagrama de la metodología del proyecto



5.1 METODOLOGIA

5.1.1 Reconocimiento preliminar del terreno, con identificación de las características climáticas, sociales y topográficas relevantes: se efectuarán visitas a campo para determinar las cualidades más relevantes del terreno, tales como perímetro del terreno, pendientes, características climáticas, flora y caudal de las redes hídricas principales, con el fin de generar un modelo aproximado del área a intervenir.

Para el desarrollo del presente proyecto se comprenderán las siguientes fases:

- a) Diagnóstico
- b) Procesamiento
- c) Prospectiva

5.1.2 Fase de Diagnóstico: dirigida a establecer la situación ambiental actual de cada Microcuenca con el fin de identificar los puntos o zonas más degradadas a causa de la erosión, partiendo de una delimitación acertada del área de trabajo, características de coberturas y su respectiva red hídrica.

Elaboración de la Cartografía base: correspondiente a los elementos de la base de datos propia del proyecto (Geodatabases, Feature Classes, Relaciones, etc.) que son consideradas como relevantes y cuya información varía significativamente a lo largo del tiempo. Todos los elementos de la Cartografía Base se agrupará en datasets, del mismo nombre con la Geodatabase, pero diferentes a los features class y Shapes, ya que estos llevan las nomenclaturas según la cobertura que distinga la metodología SCS en función del Número de Curva, para aplicar el análisis de erosión USLE con su Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, para determinar el potencial erosivo en el área de influencia directa a las Microcuencas y realización de mapas, con representaciones gráficas y a escalas solicitadas en un rango de 1:3000 a 1:25000

Componente Hidrológico: es de suma importancia identificar la acumulación de flujo presente en cada Microcuenca, con el fin de determinar la longitud principal de sus redes hídricas, así como el flujo de agua que es transportado por sus respectivos sistema de drenajes

Geo-referenciación de áreas e identidades relevantes: durante las salidas de campo, con el fin de realizar la respectiva geo-referenciación de áreas y puntos de interés, se utilizaran GPS garmin, los cuales dentro de su sistema operativo abarca un error para un intervalo de más o menos dos metros (+/- 2 m) a más o menos quince metros (+/- 15m).

Sistematización de información espacial: este procedimiento se llevara a cabo mediante la utilización varios software de descarga directa para GPS Garmin tales como MapSource y Base camp, basados en la cuadrícula propiamente definida por el usuario, a fin de coincidir el origen de longitud con las coordenadas de interés requeridas

La transformación de coordenadas geográficas con entrada Datum 186 WGS 1984 a planas, se configuraran con base al Agustín Codazzi (IGAC) según los requerimientos del sistema de coordenadas proyectado a MAGNA-SIRGAS (Magna Colombia Bogotá)

Componente Hidrográfico (Parámetros Morfométricos de las Microcuencas): partiendo de la cartografía aportada por la entidad municipal (EOT) se re estableció de manera general la morfometría para cada una de las áreas de estudio, teniendo en cuenta que los factores físicos como componentes de las Microcuencas son los aspectos más importantes dentro del presente estudio.

Descarga de Modelos Digitales de Elevación (DEM): los DEM para la elaboración de la cartografía base serán obtenidos gracias a la página de la NASA para el Sistema de Observación de la Tierra Mundial de Sistemas (GEOSS), los datos ASTER GDEM V2, y SRTM ya que estos están disponibles de

forma gratuita a los usuarios de todo el mundo a partir de los procesos de la tierra Distributed Active Archive Center (LP DAAC) y J-Space systems, para luego elaborar las coberturas aplicando la metodología SCS para el Número de Curva (C.N)

Descarga de imágenes raster: este punto hace referencia a la descarga de imágenes tridimensionales, que facilite el establecimiento de una limitación topográfica y la elaboración de un medio de coberturas según la metodología planteada.

Descarga de imágenes del satélite Landsat 8 y Sentinel 2^a en formato ecw.: este proceso se lleva a cabo de manera gratuita posterior a un registro dentro de la página oficial de la NASA mediante el portal USGS, permitiendo el acceso a la variedad de imágenes presentadas por este satélite.

Las imágenes con formato .ecw y en resoluciones de hasta 5 m (24 zoom) son obtenidas gratuitamente gracias a enlaces de múltiples servidores satelitales, en torno a algunos Software de origen ruso. Para obtener una imagen de alta calidad se hace necesario realizar unos mosaicos de imágenes mediante el procesamiento de ortofotos abarcando la mayor cantidad de los puntos de referencias de las Microcuencas.

5.1.3 Fase de procesamiento

Procesamiento raster-digitalización de coberturas para la aplicación del Número de Curva (CN) metodología “SCS”: la digitalización cartográfica de unidades vegetales es un aspecto fundamental al momento de definir la metodología a trabajar, para este caso se utilizó la teoría establecida por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) Y el Soil Conservation Service (SCS) donde se aplica el Número de Curva a las coberturas de la tierra, es decir se tiene en cuenta los valores de la lluvia de escorrentía

precipitada, efecto importante al momento de definir los efectos de la erosión hídrica.

Aplicación de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE): el objetivo de este ítem es calcular la erosión hídrica potencial para cada una de las Microcuencas del municipio, a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

Para efectos de la presente práctica, se pretende aplicar la metodología USLE la cual permite una Identificación clara y precisa en metros cuadrados (m²) o hectáreas (ha), de las áreas con erosión potencial severa, cercanas a la red hídrica de cada una de las ocho Microcuencas del municipio.

(Guía técnica para la formulación de los Planes de Organización y Manejo de Cuencas Hidrográficas. POMCAS. 2014.) Es necesario aclarar que, en la realización de la cartografía de riesgos, se deben considerar como mínimo dos escenarios posibles los cuales responden a temporadas climáticas y meteorológicas de gran impacto y que diferencian la aparición de este tipo de eventos: estos son el riesgo bajo condiciones normales y bajo condiciones extremas de precipitación.¹⁵

Realizar y calcular el Balance Hídrico: (Pereira et al., 2002 citado por Lozada, B; Senthelas, P. 2003). El Balance Hídrico climatológico (BHC) es la contabilización del agua del suelo, resultante del principio de conservación de la materia en un determinado volumen de suelo con vegetación, y representa el balance entre el agua que entró y la que salió de dicho ámbito. Este puede ser calculado con valores medios o normales climatológicos y se le denomina BHC

¹⁵ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Guía técnica para la formulación de los Planes de Organización y Manejo de Cuencas Hidrográficas: POMCAS. [en línea] Bogotá.D.C.: Ministerio Del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2014. p. 36 [Citado en Noviembre de 2016] Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Gu%C3%ADa_POMCAS/1._Gu%C3%ADa_T%C3%A9cnica_pomcas.pdf

normal, o con valores secuenciales a lo largo de uno o varios años, denominado BHC secuencial o seriado.¹⁶ El Balance Hídrico normal no considera la variación interanual del clima, específicamente de la precipitación. En ese sentido, (Pascale y Damario 1977) señalan que el balance hidrológico climático normal es insuficiente cuando se requiere conocer las probabilidades de ocurrencias de déficits o excesos de una determinada región, sugiriendo como solución el uso del balance hidrológico seriado.¹⁷

5.1.4 Fase de Prospectiva: (Aguilar & Mendoza, 2002 citado por Alarcon y Reyes 2013) la zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza a la erosión es una herramienta útil y es usada en casi todos los lugares del mundo donde existe propensión a los movimientos de masa¹⁸.

Con base en el procesamiento anterior, se confirmaron los resultados del análisis de erosión potencial llevando a cabo la correspondiente referenciación en campo de las áreas críticas, afectadas con erosión extrema y apreciables a simple vista, llevando el debido registro fotográfico, de igual forma se determinaron los aspectos climatológicos requeridos para el óptimo desarrollo de las especies vegetales a recomendar.

Síntesis ambiental: (Guía técnica para la formulación de los Planes de Organización y Manejo de Cuencas Hidrográficas. POMCAS. 2014.) en la síntesis ambiental se deben identificar y analizar los principales problemas y conflictos por el uso y manejo de los recursos naturales, la determinación de áreas críticas y la

¹⁶ LOZADA, Beatriz; SENTELHAS, Paulo. Relaciones entre deficiencias y excedentes hídricos estimados a partir de los balances hídricos normal y secuencial. En Biagro. Septiembre, 2003, vol. 15 no. 3, p.209. ISSN 1316-3361.

¹⁷ PASCALE, A. J.; DAMARIO E. A. El balance hidrológico seriado y su utilización en estudios agroclimáticos. En: Revista de la Facultad de Agronomía, Marzo, 1977, vol.2, no.3.p. 15.

¹⁸ ALARCÓN MURIEL, Sandra L.; REYES TRUJILLO, Aldemar. Evaluación de la erodabilidad de los suelos TYPIC DYSTRUDEPTS, TYPIC HAPLUDANDS y ANDIC DYSTRUDEPTS mediante simulador de lluvia en la Microcuenca La Centella (Dagua – Valle Del Cauca). En: Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Enero-Diciembre, 2013, vol.12 no. 1. p.49-57. ISSN: 1692-9918

consolidación de indicadores del diagnóstico. A partir del análisis situación actual de las Microcuencas, de la caracterización de los componentes biofísico, socioeconómico, administrativo y de gestión del riesgo.¹⁹

Necesidades de información. Planteamiento de técnicas de Bioingeniería: se plantearon técnicas de protección forestal, con el fin de reducir el riesgo de erosión en las áreas previamente identificadas.

(Monroy, 2002) La Bioingeniería se originó en el campo forestal con diferentes tipologías y criterios de intervención, para proteger suelos de ladera, recuperar ambientalmente las minas, controlar la erosión en botaderos y otras áreas degradadas y embellecer el paisaje. Se usan las plantas, combinadas o no con materiales inertes, con el fin de proteger de la erosión o reforzar los taludes, re vegetalizar las laderas y recuperar los cauces frente a socavación, mediante obras de fijación de orillas o control torrencial. Como un valor agregado muy atractivo, además de servir para recuperar o preservar la estabilidad del terreno, la bioingeniería reduce el impacto visual de las obras de ingeniería en general, con beneficios ecológicos, paisajísticos, económicos (menor costo) y sociales (mayor mano de obra), y en algunos casos con el aprovechamiento de los cultivos incorporados.²⁰

¹⁹ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Óp. Cit. p.69

²⁰ SEMINARIO DE BIOINGENIERÍA. La bioingeniería en la protección y estabilidad de taludes, laderas y cauces en zonas urbanas [en línea] Bogotá: IDIGER, 2011.p.2. [citado en septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.idiger.gov.co/documents/10180/57156/La+bioingenieria+en+la+proteccion+y+estabilida+d+de+talud.pdf/75692199-c3da-4ccf-98fb-5e3a292feedc>.

6. RESULTADOS

6.1 FASE DE DIAGNÓSTICO

Esta fase permitió una identificación acertada de los principales factores que determinan el comportamiento físico de las Microcuencas; a continuación se presentan una descripción detallada de cada una de ellas y posteriormente una serie de parámetros recopilados para el desarrollo del escenario planteado partiendo de los datos aportados por la alcaldía municipal y el EOT. 2003.

6.1.1 Descripción general de las Microcuencas: el municipio de San José de Miranda pertenece a la hoya hidrográfica del río Magdalena, la red hidrográfica está comprendida por la Sub cuenca del río Servitá afluentes de la cuenca del río Chicamocha junto con las Microcuencas Tabarlaque o Barrerana o Barreno y las Balsas o Balserana. La Sub cuenca del río Servitá está conformada por las Microcuencas Quebrada Seca o la Malagueña, Quebrada Chituli, Quebrada Los Cojos o La Virgen, Quebrada Popagá, Quebrada Sagamal y la Quebrada Salado Bravo

Debido a las características del clima y el relieve la red hidrográfica es muy parecida, con recorridos en su mayoría de occidente a oriente a excepción de las Quebrada Tabarlaque y Quebrada Las Balsas que tiene un recorrido de norte a sur, en todas las Microcuencas hay corrientes rápidas y altas pendientes clasificado como torrentes.

La red hidrográfica de San José de Miranda, presenta durante el período de lluvias grandes caudales y lo contrario durante el periodo seco, lo que ocasiona déficit del recurso agua durante largos periodos del año y que en ciertas regiones se presenten problemas erosivos cuando se inician las lluvias.

Cuenca del Río Chicamocha: la cuenca del río Chicamocha, se caracteriza porque posee aspectos morfo métricos especiales, al entrar al departamento de Santander después de recibir por la margen derecha las aguas del río Nevado. Su hoya hidrográfica se torna de características abruptas, con una profunda y angosta incisión en la Cordillera Oriental, tipificando un paisaje de características muy especiales, con depresiones y laderas desprovistas de vegetación, clima muy seco y erosión superficial severa.

Microcuenca Quebrada Tabarlaque: la Microcuenca quebrada Tabarlaque se encuentra localizada en la parte sur del municipio, limita al norte con la Microcuenca quebrada de Salado Bravo, al oriente con la Sub cuenca del río Servita y al occidente con la Microcuenca quebrada Las Balsas y con el municipio de Molagavita, su recorrido está orientado de norte a sur.

La quebrada Tabarlaque nace en la vereda de Cruz de Piedra a 2800 m.s.n.m. recorre una longitud de 2,85 km., posee un área de 14,21 km² que equivalen al 17.8 % del área del municipio, la cual cobija parte de las veredas Cruz de Piedra, Moralito y Cucharito, para luego desembocar en la cuenca del río Chicamocha.

Los principales afluentes de está Microcuenca son las quebradas agua colorada y otras acequias.

Esta Microcuenca posee un caudal máximo de 95 Lit/s tomado en el mes de noviembre de 1999.

La pendiente media superficial de esta Microcuenca es de 32.76 %, es una pendiente fuertemente quebrada, por lo tanto necesita protección a lo largo de todo el cauce, posee una forma oval - redonda a oval-oblonga.

Microcuenca Quebrada Las Balsas: la Microcuenca quebrada Las Balsas se encuentra localizada en la parte sur del municipio, limita al norte con la

Microcuenca quebrada Tabarlaque, al oriente con la misma Microcuenca quebrada Tabarlaque y al occidente con el municipio de Molagavita, su recorrido está orientado de norte a sur.

La quebrada Las Balsas nace en la vereda de Cucharito a 2200 m.s.n.m. En límites con el municipio de Molagavita, recorre una longitud de 8,85 km., presenta un área de 2,84 km² que equivalen al 3.55 % del área del municipio, la cual cobija parte de la vereda Cucharito, para luego desembocar en la cuenca del río Chicamocha.

Esta Microcuenca posee un caudal máximo de 50 Lit/s, tomado en el mes de noviembre de 1999.

La pendiente media superficial de esta Microcuenca es de 47.05 %, es una pendiente fuertemente quebrada, por lo tanto necesita protección a lo largo de todo el cauce, posee una forma compacta a redonda.

Sub cuenca del río Servitá: el río Servitá nace a los 4000 m.s.n.m. en el sitio llamado el páramo del Almorzadero, perteneciente al municipio del Cerrito, sus aguas atraviesan gran parte del municipio del Cerrito y el municipio de Concepción, y se convierte además en límite del municipio de Málaga - Enciso, Enciso - San José de Miranda y San José de Miranda - Capitanejo, para finalmente desembocar en la cuenca del río Chicamocha hacia los 950 m.s.n.m.

El río desciende por un valle estrecho, formando meandros y terrazas aluviales en las cuales se cultivan principalmente tabaco, tomate, maíz y melón principalmente en las partes bajas. El agua de este río es utilizada por los habitantes de los seis municipios que se localizan en su cuenca: Cerrito, Concepción, Málaga, San José de Miranda, y Enciso y una pequeña parte del municipio de Capitanejo. En esta Sub cuenca se encuentra la zona Sub urbana de Peña Colorada.

Microcuenca Quebrada Seca o Malagueña: la Microcuenca Quebrada Seca o Malagueña se encuentra localizada en la parte norte del municipio, esta fija el

límite del municipio de Málaga y el municipio de San José de Miranda, limita al norte con el municipio de Málaga, al sur con la Microcuenca quebrada Chituli, al oriente con el cauce del río Servitá y al occidente con el municipio de Molagavita y realiza su recorrido de occidente a oriente.

La quebrada Seca o Malagueña nace en la vereda Yerbabuena en los límites con el municipio de Málaga a 2770 m.s.n.m. Recorre una longitud de 4,52 kilómetros, el área de esta Microcuenca es de 1.63 km², que equivale el 2.04 % de totalidad del área del municipio, esta área cobija parte de las veredas Yerbabuena, Tequia, Versalles y Tierra Blanca para finalmente desembocar en la Sub cuenca del río Servitá.

Esta Microcuenca presenta un caudal máximo de 100 Lit/s, tomado en el mes de noviembre de 1999

Esta Microcuenca no presenta afluentes dentro del municipio San José de Miranda. La pendiente media del cauce es de 20.37 %, es una pendiente fuertemente inclinada, por lo tanto necesita protección a lo largo de todo el cauce. Posee una forma oval-oblonga a rectangular.

Microcuenca Quebrada Chituli: la Microcuenca Chituli se encuentra localizada al norte del municipio, limita al norte con la Microcuenca quebrada La Malagueña, al sur con la Microcuenca quebrada los Cojos o salado al oriente con el cauce del río Servita al occidente con las Microcuencas quebradas La Malagueña y Los Cojos, su recorrido está orientado de occidente a oriente.

La quebrada Chituli nace en la vereda Yerbabuena a 2400 m.s.n.m., recorre una longitud de 4,37 km, el área de influencia de esta Microcuenca es de 3.06 km² que equivalen al 3.82 % del área del municipio, esta área cobija parte de las veredas Yerbabuena, Tequia, Versalles y Tierra Blanca para finalmente desembocar en la Sub cuenca del río Servitá.

Esta Microcuenca posee un caudal máximo 50 Lit/s, tomado en el mes de noviembre de 1999.

Los afluentes de esta Microcuenca son pequeñas acequias y cañadas. La pendiente media del cauce es de 19.10 %, es una pendiente fuertemente inclinada, por lo tanto necesita protección a lo largo de todo el cauce, posee una forma oval-oblonga a rectangular.

Microcuenca Quebrada Los Cojos: la Microcuenca quebrada Los Cojos, se encuentra localizada en la parte norte del municipio, limita al norte con la Microcuenca quebrada Chituli y La Malagueña, al sur con la Microcuenca quebrada Popagá y la Microcuenca Sagamal, al occidente con el municipio de Molagavita, su recorrido está orientado de occidente a oriente.

La quebrada Cojos nace en la vereda de Yerbabuena a 2830 m.s.n.m. recorre una longitud de 6,02 km, posee un área de 12.62 km² que equivalen al 15.80 % del área del municipio, la cual cobija parte de las veredas Yerbabuena, Lucusguta, El Pozo, Sagamal, Tequia, Cutaligua, Versalles, Tierra Blanca, para finalmente desembocar en el río Servitá.

Los principales afluentes de esta Microcuenca son las quebradas Puente de Piedra, El Volador, Naorila, Santa Bárbara, La Virgen, El Injerto y los Cojos a la cual le debe su nombre. Esta Microcuenca posee un caudal máximo de 400 Lit/s, tomado en el mes de noviembre de 1999.

La pendiente media superficial de esta Microcuenca es de 22.69 %, es una pendiente fuertemente inclinada, por lo tanto necesita protección a lo largo de todo el cauce, posee una forma oval - redonda a oval - oblonga.

Microcuenca Quebrada Popagá: la Microcuenca Popagá lleva la quebrada del mismo nombre se encuentra localizada al nororiente del municipio, limita al norte con la Microcuenca quebrada Los Cojos, al sur con la Microcuenca quebrada

Sagamal, al occidente con la Microcuenca quebrada Sagamal y Los Cojos; y al oriente con el cauce del río Servitá, su recorrido está orientado de occidente a oriente.

La quebrada Popagá nace en la vereda Cutaligua a 1830 m.s.n.m. Recorre una longitud de 1.94 km, el área de influencia de esta Microcuenca es de 0.92 km², que equivalen al 1.15 % del área del municipio, esta área cobija parte de las veredas Cutaligua, Popagá y Tierra Blanca, esta Microcuenca desemboca en el cauce de la Sub cuenca del río Servitá.

La quebrada Popagá presenta un caudal máximo de 27 Lit/s tomado en el mes de noviembre de 1999.

Esta Microcuenca solo presenta un cauce principal, tiene una pendiente media de 20 %, es una pendiente fuertemente inclinada por lo tanto necesita protección a lo largo de todo su cauce y presenta una forma compacta a redonda.

Microcuenca Quebrada Sagamal: la Microcuenca quebrada Sagamal se encuentra localizada en el centro - norte del municipio, al sur del casco urbano, limita al norte con las Microcuencas quebradas Popagá y Los Cojos, al sur con la Microcuenca quebrada de Salado Bravo, al occidente con las Microcuencas quebradas Los Cojos y Salado Bravo al oriente con el cauce del río Servitá, su recorrido está orientado de occidente a oriente.

La quebrada Sagamal nace en la vereda el Pozo a 2555 m.s.n.m., recorre una longitud de 4.35 km, el área de influencia de esta Microcuenca es de 5.71 km² que equivalen al 7.14 % del área del municipio, la cual cobija parte de las veredas el Pozo, Sagamal, Cutaligüa, Cucurucho, Popagá y Salado Bravo.

Los principales afluentes de esta Microcuenca son las quebradas Cutaligua y el Tambor. La quebrada Sagamal presenta un caudal máximo de 70 Lit/s tomado en el mes de noviembre de 1999.

Tiene una pendiente 24.55 %, es una pendiente fuertemente inclinada necesita cobertura vegetal permanente y presenta una forma oval-redonda a oval-oblonga.

Microcuenca Quebrada Salado Bravo: la Microcuenca quebrada Salado Bravo se encuentra localizada en la parte central del municipio, al sur del casco urbano, limita al norte con la Microcuenca Sagamal, al sur con la Microcuenca Tabarlaque, al oriente con el cauce del río Servita y al occidente el municipio de Molagavita, su recorrido está orientado de occidente a oriente

La quebrada Salado Bravo nace en la vereda el Pozo a 2920 m.s.n.m., recorre una longitud de 6.90 km, el área de esta Microcuenca dentro del municipio es de 12.96 km² que equivalen al 16.20 % del área total del municipio, esta área cobija parte de las veredas del Pozo, Cucurucho, Cruz de Piedra, Moralito y Salado Bravo, para luego desembocar en la Sub cuenca del río Servitá.

Esta Microcuenca posee un caudal máximo de 102 Lit/s tomado en el mes de noviembre de 1999.

Posee una pendiente media del cauce de 25.84 %, es una pendiente fuertemente quebrada, por lo tanto necesita protección a lo largo de todo el cauce, posee una forma oval - redonda a oval - oblonga. Los principales afluentes de esta Microcuenca son, la quebrada Cucurucho, pequeñas acequias, entre otras.

6.1.2 Elaboración de la cartografía base: como punto de partida se llevó a cabo un proceso de unificación de parámetros cartográficos del tipo vectorial, que permitió la ubicación espacial de cada una de las Microcuencas pertenecientes al municipio de San José de Miranda, su delimitación y distribución hidrográfica, teniendo en cuenta los siguientes aspectos.

Verificación y evaluación del estado de datos geospaciales, cartografía digital y base de datos: dentro de los estudios correspondientes a la elaboración

de la cartografía para este sector, se desarrollaron una serie de actividades que permitieron el procesamiento de la información topográfica evaluando y confirmando los diseños elaborados dentro del Esquema de Organización Territorial (EOT). Siguiendo los lineamientos propuestos para la conformación de un Sistema de Información Geográfica para el área de estudio del presente proyecto, fue necesario realizar diversas tareas de evaluación de información:

- Cartografía existente (EOT) en diferente escala, analógico y digital
- Datos existentes, en papel y tabla de datos digitales (EOT)

Esta evaluación se centró para los datos en formato analógico, con el objeto de establecer la calidad y precisión temática de su presentación, extensión geográfica, su factibilidad y utilidad para ser incorporada al banco de datos geoespaciales; dando como resultado una manipulación factible y rápida ya que el total de su presentación está dada en formatos vectoriales .dwg, en escalas apropiadas para el tamaño de digitalización 1:25.000, en verdadera magnitud y con el origen de longitud adecuado (Magna Colombia Bogotá.) Ver figura 3

Tabla 1. Hidrología de las Microcuencas de San José de Miranda año 2003

MICROCUENCA	Nº DE ORDEN	Nº DE CAUCES	LONGITUD CAUCE (km)	CAUDAL (Lit/s)*	FORMA	PENDIENTE (%)
SUBCUENCA DEL RIO SERVITA						
MALAGUEÑA	1	2	5.05	100*	Oval Oblonga a Rectangular	20.37
	2	1	2.5			
	TOTAL	3	7.55			
CHITULI	1	4	3.39	50*	Oval Oblonga a Rectangular	10.1
	2	1	3.1			
	TOTAL	5	6.49			
LOS COJOS	1	11	9.02	400*	Oval Redonda a Oval Oblonga	22.69
	2	3	7.51			
	3	1	5.46			
	TOTAL	15	21.99			
POPAGÁ	1	1	1.94	27*	Compacta a Redonda	20
	TOTAL	1	1.94			
SAGAMAL	1	6	5.2	70*	Oval Redonda a Oval Oblonga	24.55
	2	3	3.3			
	3	1	3.84			
	TOTAL	10	12.34			
SALADO BRAVO	1	15	9.51	102*	Oval Redonda a Oval Oblonga	25.84
	2	2	5.8			
	3	1	6.5			
	TOTAL	18	21.81			
SUBCUENCA DEL RIO CHICAMOCHA						
TABARLAQUE	1	12	9.2	95*	Oval Redonda a Oval Oblonga	32.76
	2	3	3.03			
	3	1	8.5			
	TOTAL	16	20.73			
LAS BALSAS	1	4	3.11	50*	Compacta a Redonda	47.05
	2	1	1.48			
	TOTAL	5	4.59			

*Los registros de caudales que se presentan fueron tomados para el mes de Noviembre del año 1999

Fuente: Adaptado EOT. 2003.

La siguiente tabla (Tabla 2) Muestra la Morfometría para las corrientes del municipio, a la cual fue posible acceder mediante la fase de diagnóstico del

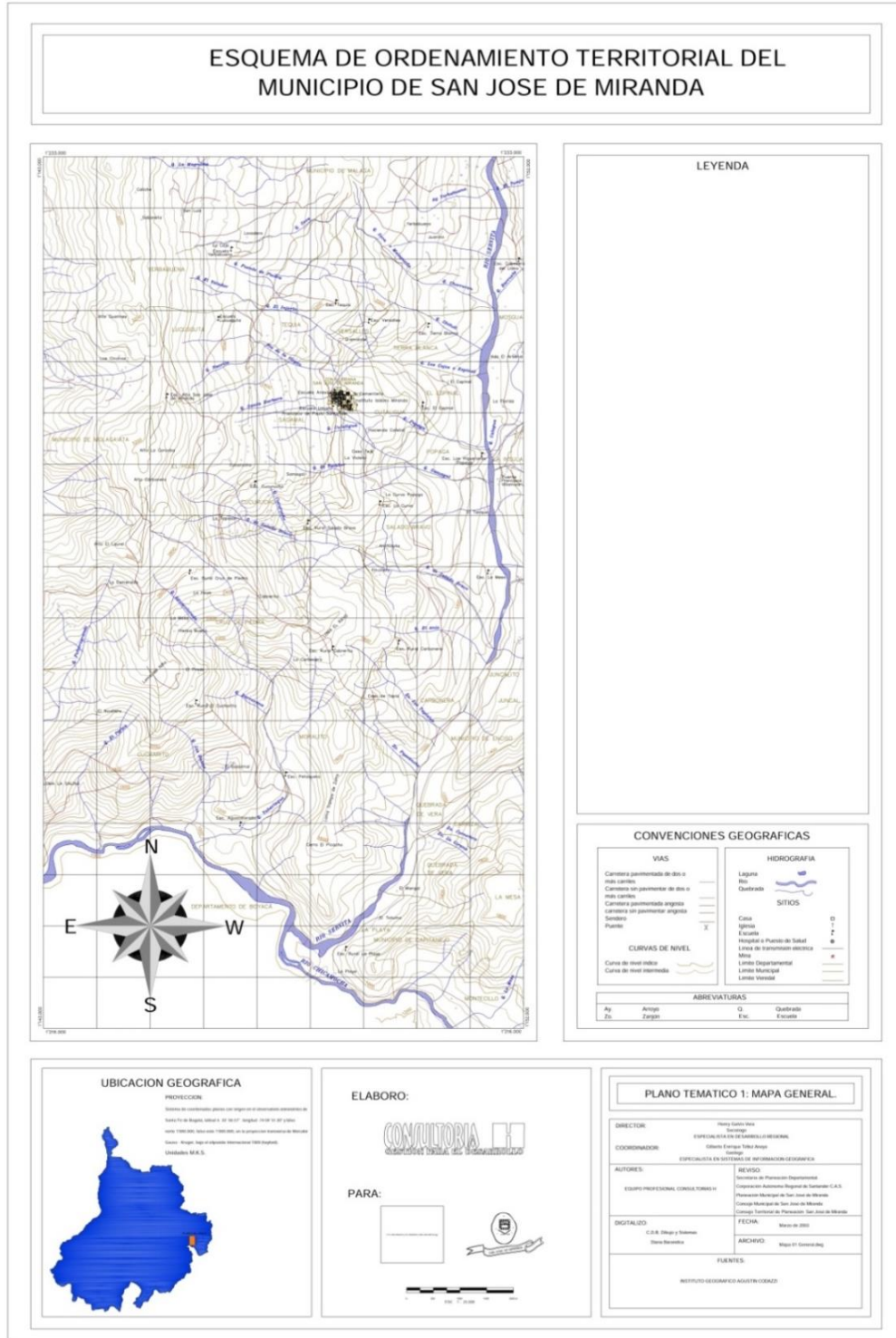
componente ambiental establecido dentro del Esquema de Organización Territorial del municipio.

Tabla 2. Morfometría de las Corrientes del Municipio para el año 2003.

PARÁMETRO	Q TABARLAQUE	Q. SECA O MALAGUEÑA	Q. CHITULI	Q. COJOS	Q. POPAGÁ	Q. SAGAMAL	LAS BALSAS	SALADO BRAVO
Área (Km ²)	14.21	1.63	3.05	12.62	0.92	5.71	2.84	12.96
Perímetro Km	19.59	12.29	10.38	17.63	4.08	11.42	7.24	18.62
Longitud axial Km	6.41	6.87	4.71	6.61	2.25	5.09	2.55	7.73
Ancho promedio Km	1.05	0.97	1.63	1.18	1.08	1.75	1.11	1.67
Longitud del cauce principal Km	2.85	4.52	4.37	6.02	1.94	4.35	8.58	6.9
Longitud de drenajes Km	20.73	7.55	6.49	21.99	1.94	12.34	4.59	21.81
Densidad de drenajes Km	1.45	2.44	2.12	1.74	2.1	2.16	1.61	1.68
Factor de forma	0.34	0.06	0.13	0.28	0.18	0.21	0.43	0.21
Cota superior m.s.n.m.	3100	2950	2450	3000	1850	2600	2450	3200
Cota inferior m.s.n.m.	1000	1550	1550	1500	1400	1350	1000	1200
Pendiente media del cauce %	32.76	20.37	19.1	22.69	20	24.55	47.05	25.84
Coefficiente compacidad	1,46	1,97	1,67	1,40	1,20	1,34	1,21	1,45

Fuente: EOT. 2003

Figura 3. Mapa general del municipio de San José de Miranda



Fuente: EOT. 2003

Para el componente Hidrológico, fue necesaria la siguiente información

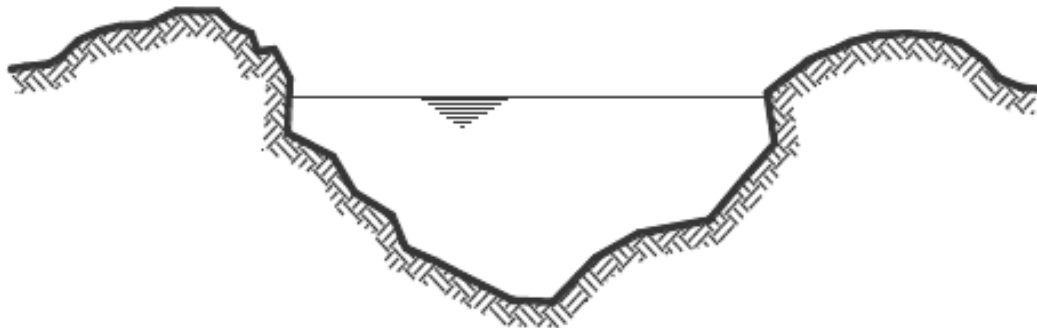
6.1.3 Componente Hidrológico: hace referencia a la actualización en cuanto a la toma y registro de caudales en el mes de Noviembre de 2016, es decir, 13 años después del registro aportado por el EOT. El procedimiento para determinar de forma acertada el flujo que circula por las redes principales de cada una de las Microcuencas se presenta a continuación.

Medición de Caudales: la mayor parte del recurso hídrico del municipio se transporta a través de canales abiertos naturales, los cuales presentan una relación directa entre el flujo de agua, la superficie de conducción y su inclinación o pendiente. Los canales naturales (Rodríguez, P. 2008) Incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, ríos pequeños y grandes, arroyos, lagos y lagunas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales.

La sección transversal de un canal natural es generalmente de forma muy irregular y variable durante su recorrido, lo mismo que su alineación y las características y aspereza de los lechos.²¹

²¹ RODRÍGUEZ RUIZ, Pedro. Hidráulica de canales. Oaxaca: Civilgeeks, 2008.p.6.

Figura 4 . Sección transversal irregular



Fuente: Rodríguez, P. 2008.

Para efectos del presente estudio se optó por aplicar la metodología planteada por Manning con el objeto de definir las características más representativas de los flujos pertenecientes a la red principal de cada una de las Microcuencas.

Parte del análisis de la fórmula de velocidad propuesta por Manning: $V = 1/n * R^{2/3} * S^{1/2}$, donde n es el coeficiente de rugosidad de, R radio hidráulico y S pendiente del pelo de agua. Requiere de un tramo del río lo más recto posible, uniforme en la conformación de la sección de escurrimiento, dos secciones específicas y la medición de la altura hidrométrica del río en el lugar. Con el promedio de las dos secciones y los dos radios hidráulicos, calculando la pendiente con el desnivel de agua dividido la longitud de separación entre secciones, y considerando que el Δh es la suma de la altura de agua más altura de velocidad más la altura de turbulencia, despreciando estas últimas por poca significación, se puede calcular el caudal multiplicando la sección de escurrimiento promedio por la velocidad según Manning. La precisión se obtiene con la seguridad de definición del coeficiente de rugosidad n .²²

²² MARBELLO PÉREZ, Ramiro. Flujo uniforme y determinación de la rugosidad en canales. [En línea] Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2011. p.165. [Citado en Diciembre 2016] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/12697/60/3353962.2005.Parte%2011.pdf>

En las siguientes tablas (Tablas 3, 4 y 5) se muestran coeficientes de Manning (n) según el material que conforma los diferentes canales por donde corre el flujo.

Tabla 3. Valores promedios del coeficiente de Manning (n) para un flujo de agua en canales abiertos

Material de las paredes del canal	n
A. Canales Excavados en tierra	
Limpio	0.22
Grava	0.025
Con raíces de maleza	0.03
Con piedras, adoquines	0.035
B. Canales naturales	
Limpio y recto	0.03
De flujo lento con fondos profundos	0.04
Ríos grandes	0.035
Corrientes de montaña	0.05
C. Llanuras inundables	
Pastadero, terreno agrícola	0.035
Con poca maleza	0.05
Con mucha maleza	0.075
Con árboles	0.15

Fuente: Tomado de Chow (1959).

Tabla 4. Valores del coeficiente de rugosidad de Manning (n) para ser aplicado en su ecuación

Tipo de Material	Valores		
	Mínimo	Normal	Máximo
Roca (con saliente y sinuosa)	0.035	0.040	0.050
Tepetate (liso y uniforme)	0.025	0.035	0.040
Tierra	0.017	0.020	0.025
Mampostería seca	0.025	0.030	0.033
concreto	0.013	0.017	0.020
Polietileno (PVC)	0.007	0.008	0.009

Fuente: Rodríguez, P. 2008.

Tabla 5. Máxima velocidad permitida en canales no recubiertos de vegetación

<u>MATERIAL DE LA CAJA DEL CANAL</u>	<u>"n"</u> <u>Manning</u>	Agua limpia	Agua con partículas Coloidales	Agua transportando arena, grava o fragmentos
Arena fina coloidal	0.02	1.45	0.75	0.45
Franco arenoso no coloidal	0.02	0.53	0.75	0.6
Franco limoso no coloidal	0.02	0.6	0.9	0.6
Limos aluviales no coloidales	0.02	0.6	1.05	0.6
Franco consistente normal	0.02	0.75	1.05	0.68
Ceniza volcánica	0.02	0.75	1.05	0.6
Arcilla consistente muy coloidal	0.025	1.13	1.5	0.9
Limo aluvial coloidal	0.025	1.13	1.5	0.9
Pizarra y capas duras	0.025	1.8	1.8	1.5
Grava fina	0.02	0.75	1.5	1.13
Suelo franco clasificado no coloidal	0.03	1.13	1.5	0.9
Suelo franco clasificado coloidal	0.03	1.2	1.65	1.5
Grava gruesa no coloidal	0.025	1.2	1.8	1.95
Gravas y guijarros	0.035	1.8	1.8	1.5

Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978

Estados de Flujo: el Flujo puede ser Laminar, Turbulento o Transicional según el efecto de la viscosidad en relación con la inercia.

Flujo Laminar: el Flujo es Laminar si las fuerzas viscosas son muy fuertes en relación con las fuerzas inerciales, de tal manera que la viscosidad juega un papel importante en determinar el comportamiento del flujo. En el Flujo laminar, las partículas de agua se mueven en trayectorias suaves definidas o líneas de corriente, y las capas de fluido con espesor infinitesimal parecen deslizarse sobre capas adyacentes, es decir, el movimiento de las partículas del fluido se produce siguiendo trayectorias bastante regulares, separadas y perfectamente definidas dando la impresión de que se tratara de láminas o capas más o menos paralelas entre sí, las cuales se deslizan suavemente unas sobre otras, sin que exista mezcla macroscópica o intercambio transversal entre ellas.

Flujo Turbulento: este tipo de flujo es el que más se presenta en la práctica de ingeniería. El Flujo es Turbulento si las fuerzas viscosas son débiles en relación con las fuerzas inerciales. En flujo turbulento, las partículas del agua se mueven en trayectorias irregulares, que no son suaves ni fijas, pero que en conjunto todavía representan el movimiento hacia adelante de la corriente entera. Factores que hacen que un flujo se torne turbulento:

- La Alta Rugosidad superficial de la superficie de contacto con el flujo, sobre todo cerca del borde de ataque y a altas velocidades, irrumpe en la zona laminar de flujo y lo vuelve turbulento.
- Alta Turbulencia en el flujo de entrada. En particular para pruebas en túneles de viento, hace que los resultados nunca sean iguales entre dos túneles diferentes.
- Gradientes de presión adversos como los que se generan en cuerpos gruesos, penetran por atrás el flujo y a medida que se desplazan hacia delante lo "arrancan".
- Calentamiento de la superficie por el fluido, asociado y derivado del concepto de entropía, si la superficie de contacto está muy caliente, transmitirá esa energía al fluido y si esta transferencia es lo suficientemente grande se pasará a flujo turbulento.

Entre los estados de Flujo Laminar y Turbulento existe un estado mixto o Transicional: el efecto de la viscosidad en relación con la inercia puede representarse mediante el *Número de Reynolds*, si se usa como longitud característica el radio hidráulico, el número de Reynolds es:

$$Re = \frac{VL}{\mu} = \frac{VR}{\mu}$$

Dónde:

V= velocidad media del flujo, en m/s

L= longitud característica, en m

μ =viscosidad cinemática del agua, en m^2/s

Y los valores límites son:

Flujo Laminar $Re < 500$

Flujo Turbulento $Re > 1000$

Flujo de Transición $500 < Re < 1000$

La siguiente tabla (Tabla 6) se muestra algunos valores de viscosidad del agua a diferentes temperaturas.

Tabla 6. Relación Temperatura / Viscosidad en agua dulce y agua de mar.

Temp. °C	Viscosidad S=0°/∞ $10^{-6} m^2/s$	Viscosidad S=35°/∞ $10^{-6}m^2/s$	Temp. °C	Viscosidad S=0°/∞ $10^{-6} m^2/s$	Viscosidad S=35°/∞ $10^{-6}m^2/s$
5	1.519	1607	16	1.112	1192
6	1.472	1561	17	1.084	1163
7	1.428	1516	18	1.057	1135
8	1.386	1474	19	1.031	1108
9	1.346	1434	20	1.007	1082
10	1.308	1395	21	0.983	1057
11	1.272	1357	22	0.96	1033
12	1.237	1321	23	0.938	1009
13	1.204	1287	24	0.917	0.988
14	1.172	1254	25	0.896	0.967
15	1.141	1223	26	0.876	0.946

Fuente: Osorio Arias & Álvarez Silva, 2006

Debe aclararse que en experimentos se ha demostrado que el régimen de flujo puede cambiar de laminar a turbulento con valores entre 500 y 12500 cuando se ha trabajado con el radio hidráulico como longitud característica, por lo que algunos aceptan los siguientes límites:

Flujo Laminar $Re < 500$

Flujo Turbulento $Re > 12500$

Flujo de Transición $500 < Re < 12500$

*El límite superior no está definido.

Si se usa como longitud característica un valor de cuatro veces el radio hidráulico

$L = 4r$

$$Re = \frac{4VR}{\mu}$$

Y se aceptan los siguientes límites:

Flujo Laminar $Re < 2000$

Flujo Turbulento $Re > 4000$

Flujo de Transición $2000 < Re < 4000$

El régimen de flujo en canales es usualmente Turbulento.

El Número de Reynolds es un parámetro adimensional cuyo valor es idéntico independientemente del sistema de unidades, siempre y cuando las unidades utilizadas sean consistentes.

Efecto de la gravedad: el efecto de la gravedad sobre el estado de flujo se representa por la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales. Esta relación está dada por el **Número de Froude**, definido como:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gd}} = \frac{V}{\sqrt{g\frac{A}{T}}}$$

Dónde:

F= número de Froude

V=velocidad media del flujo, en m/s

g=aceleración de la gravedad, 9.81 m/s² o 32.4 pies/s²

d=tirante medio del agua, en m

A=área hidráulica, en m²

T =espejo de agua o ancho superficial, en m.

(Cengel, y; Cimballa, J. 2006.) Donde g es la aceleración gravitacional, V es la velocidad promedio del líquido en la sección transversal, y d es la longitud característica, la cual se toma como la profundidad del flujo y para canales rectangulares anchos. El Número de Froude es un parámetro importante que gobierna el tipo del flujo en canales abiertos. El flujo se clasifica como:

$Fr < 1$ Flujo Sub crítico o Tranquilo

$Fr = 1$ Flujo Crítico

$Fr > 1$ Flujo Supercrítico o Rápido

Por lo tanto, el flujo en un canal abierto es dominado por las fuerzas de inercia en un flujo rápido y por las fuerzas de gravedad en flujos tranquilos.

Por consiguiente, a *velocidades de flujo lentas* ($Fr < 1$), una pequeña alteración viaja corriente arriba (con una velocidad V_{co} relativa al observador en reposo) y afecta las condiciones de flujo corriente arriba, este se llama flujo **Tranquilo** o **Sub crítico**. Pero, a *velocidades de flujo altas* ($Fr > 1$), una pequeña alteración no puede viajar corriente arriba (de hecho, la onda es llevada corriente abajo con una velocidad $V - v_{co}$ relativa al observador en reposo) así que las condiciones de flujo corriente arriba no pueden ser influidas por las condiciones de flujo corriente abajo, este se llama flujo **Rápido** o **Supercrítico**, y el flujo en este caso es controlado por las condiciones corriente arriba. Por lo tanto, una onda superficial viaja corriente arriba cuando $Fr < 1$, y es arrastrada corriente abajo cuando $Fr > 1$, y parece congelada sobre la superficie cuando $Fr = 1$. También, la velocidad de la onda superficial se incrementa con la profundidad del flujo y , y una alteración sobre la superficie se propaga más rápido en canales profundos que en canales poco profundos.²³

²³ CENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M. Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones. Bogotá: McGraw Hill, 2006.p.684

Para los casos donde se efectuó el Aforo volumétrico la metodología fue la siguiente:

- Se registraron varias mediciones de tiempo para el llenado de distintos recipientes con volumen definido.

Para los casos donde se efectuó el método del flotador la metodología fue la siguiente:

- Se selecciona un tramo regular donde un flotador pueda circular cierta distancia (10 metros).
- El tramo previamente seleccionado se divide en dos Aguas Arriba (AA) y Aguas abajo (Aa), para registrar los tiempos que el flotador hace su recorrido, en estas secciones.
- Se calculó el área promedio para cada una de las secciones correspondientes a cada transecto, (mediante software de diseño gráfico), esto con base en la medición de las profundidades respectivas a intervalos de 30 cm entre sí.
- Teniendo en cuenta las dimensiones, material del canal, Número de Froude y Tipo de Flujo se calcula el caudal para el tramo previamente seleccionado.

Determinación de Caudal Quebrada La Malagueña

Instrumentos:

- Cronometro
- Regla
- Cinta métrica
- Flotador (ping pong)
- Cámara fotográfica
- Lápiz y Cuaderno de registro

Parte Alta

Coordenadas: 6°41'4.63" N 72°45'38.15" O

Altura: 2867 m.s.n.m

Vereda Yerbabuena (Imagen 4)

Imagen 2. Afloramiento Quebrada La Malagueña



En este punto se encuentra el afloramiento de la quebrada La Malagueña, la cual no presenta caudal visible, por lo tanto no hubo un aforo o cálculo de caudal.

Parte Media

Coordenadas: 6°41'24.15" N 72°43'51.52" O

Altura: 2153 m.s.n.m.

Sector Naranjitos (municipio de Málaga) (Imagen 4 y 5)

Imagen 3. Tramo canalizado vía San José de Miranda- Málaga Km 33+860 m



En esta imagen se observa la quebrada “La Malagueña” antes de unirse con la quebrada conocida como La Magnolia evidenciando el no aporte de caudal o flujo a esta última.

Imagen 4. Unión de las quebradas La Malagueña-La Magnolia



En este punto (Imagen 6) se unen las quebradas, donde, La Malagueña no aporta flujo o caudal a la Quebrada La Magnolia; por lo tanto se realizó el procedimiento metros más abajo.

Imagen 5. Medición Sección Transversal Quebrada La Malagueña.



Se seleccionó un tramo regular de 10 metros de longitud ubicado metros más abajo de la unión de las dos Quebradas. (Imagen 7).

Tabla 7. Registro de medidas Secciones Transversales

QUEBRADA LA MALAGUEÑA PARTE MEDIA										
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (cm)	INTERVALO (cm)	REGISTRO DE PROFUNDIDADES (cm)							
Aguas Arriba	210	30	12	12	13	11	10.5	10.5	10	10
Mitad	120	30	18	18	19	19	18	*	*	*
Aguas abajo	120	30	18	17	16	16	15	*	*	*
Promedio	150	30								

Imagen 6 . Método del Flotador Parte Media Quebrada La Malagueña.



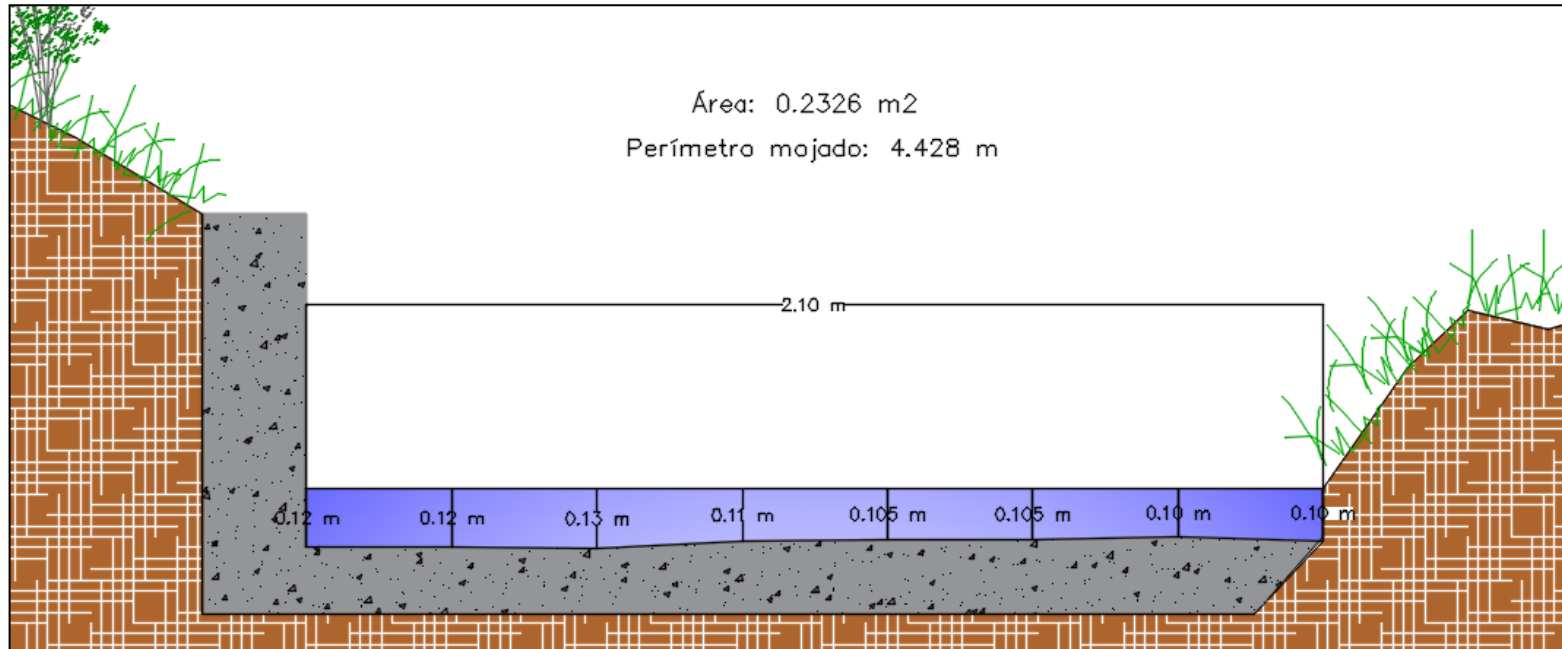
Se contabilizo el recorrido del flotador (Imagen 7) en cinco oportunidades para cada una de las dos secciones; Aguas Arriba (AA) y Aguas abajo (Aa), en el tramo seleccionado obteniendo los siguientes datos (Tabla 8):

Tabla 8. Datos Método del Flotador Parte Media “La Malagueña”

QUEBRADA LA MALAGUEÑA PARTE MEDIA						
Tramo	Recorrido N°	Aguas Arriba (5 m)	Aguas abajo (5m)	Σ (AA+Aa)	Velocidad AA (m/s)	Velocidad Aa (m/s)
10 metros	1	8,34	7,37	15,71	0,59952038	0,67842605
	2	8	9,37	17,37	0,625	0,53361793
	3	9,2	6,88	16,08	0,54347826	0,72674419
	4	8,57	8,28	16,85	0,58343057	0,60386473
	5	8,73	6,33	15,06	0,57273769	0,78988942
PROMEDIO		8,568	7,646	16,214	0,58483338	0,66650846

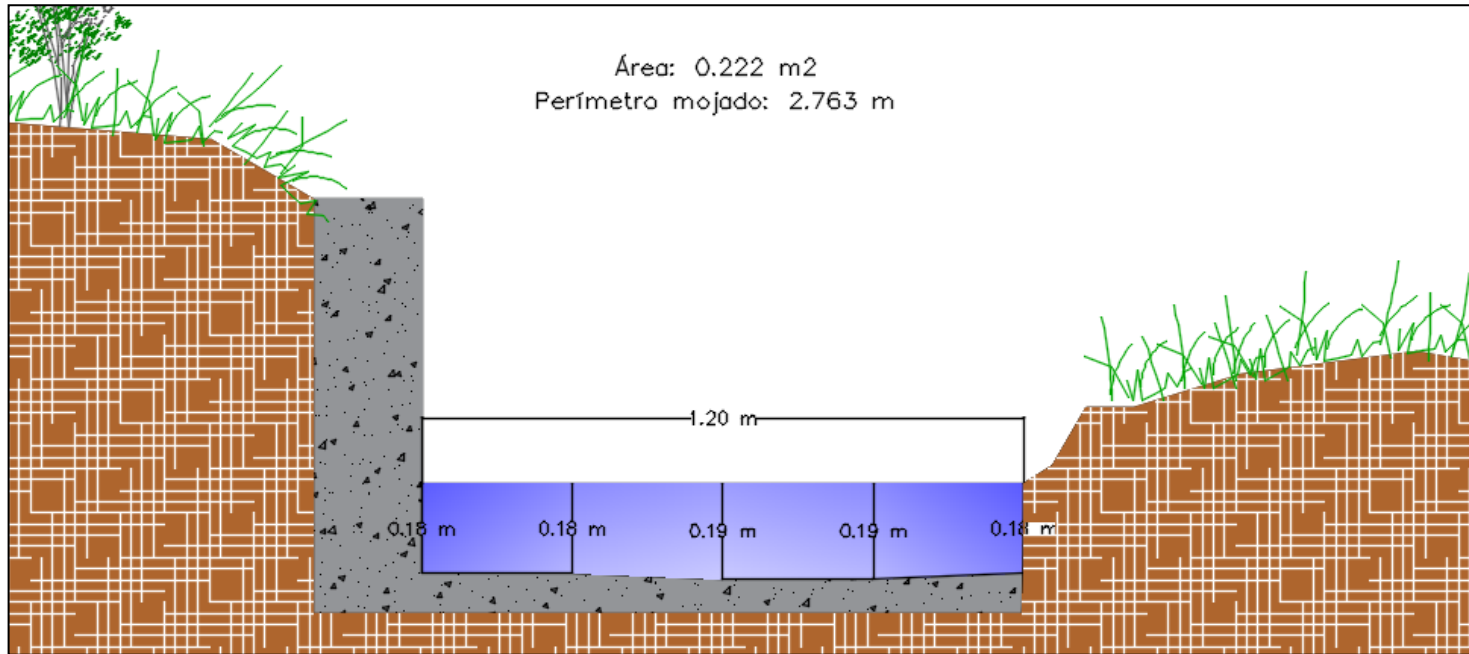
Resultados: a través de una hoja de cálculo de Excel se ingresaron los datos obtenidos y se aplicaron las formulas correspondientes, obteniendo:

Figura 5. Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Media Quebrada La Malagueña.



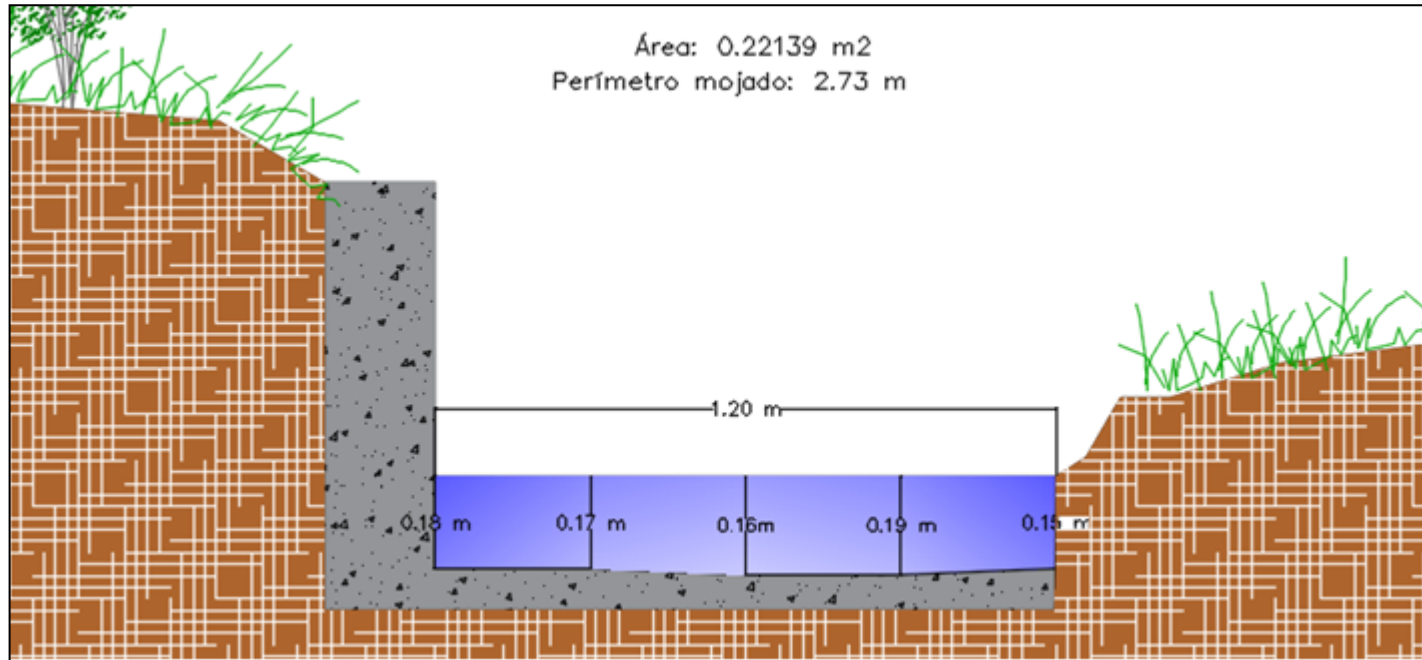
Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,2273	0,585	0,93349323	3,596	2,415	0,06321791	0,09412008	28266,0128	Turbulento	0,60894485	Sub Crítico	0,95	0,126286	0,21218301

Figura 6. Sección Transversal Mitad. Parte Media Quebrada La Malagueña



La constante K utilizada para la determinación del caudal varía en datos de 1 para corrientes altas y 0,95 para corrientes medias. La viscosidad del flujo trabajada fue de 1.308×10^{-6} m²/s correspondiente a una temperatura de 10°C. Para la ecuación de Manning se asumió un valor (Normal) de 0.017 de coeficiente de rugosidad. Material "Concreto". (Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978)

Figura 7. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Media Quebrada La Malagueña



Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,22165	0,667	0,83721393	4,128	2,745	0,05369428	0,08074681	27360,6223	Turbulento	0,7492555	Super Crítico	0,95	0,140345	0,18556847

Parte Baja

Coordenadas: 6°40'39.52" N 72°42'29.97" O

Altura: 1529 m.s.n.m.

Tierra Blanca

Imagen 7 . Desembocadura Quebrada La Malagueña-Río Servitá.



En la imagen anterior (Imagen 7) se observa la entrega de flujo de la Quebrada La Malagueña al río Servitá.

Imagen 8. Medición Sección Transversal.



Debido a la irregularidad y gran cantidad de piedras en esta parte de la Quebrada se seleccionó un tramo de ocho metros para realizar las mediciones de área transversal, profundidades y posterior registro de velocidades (Tabla 9)

Tabla 9. Registro de medidas Secciones Transversales

QUEBRADA LA MALAGUEÑA PARTE BAJA										
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (cm)	INTERVALO (cm)	REGISTRO DE PROFUNDIDADES (cm)							
Aguas Arriba	210	30	0	16	25	32	7	14	16	0
Mitad	180	30	0	15	24	30	13	16	0	*
Aguas abajo	180	30	0	10	15	16	23	8	0	*
Promedio	190	30								

Imagen 9. Método del Flotador Parte Baja Quebrada La Malagueña-Río Servitá



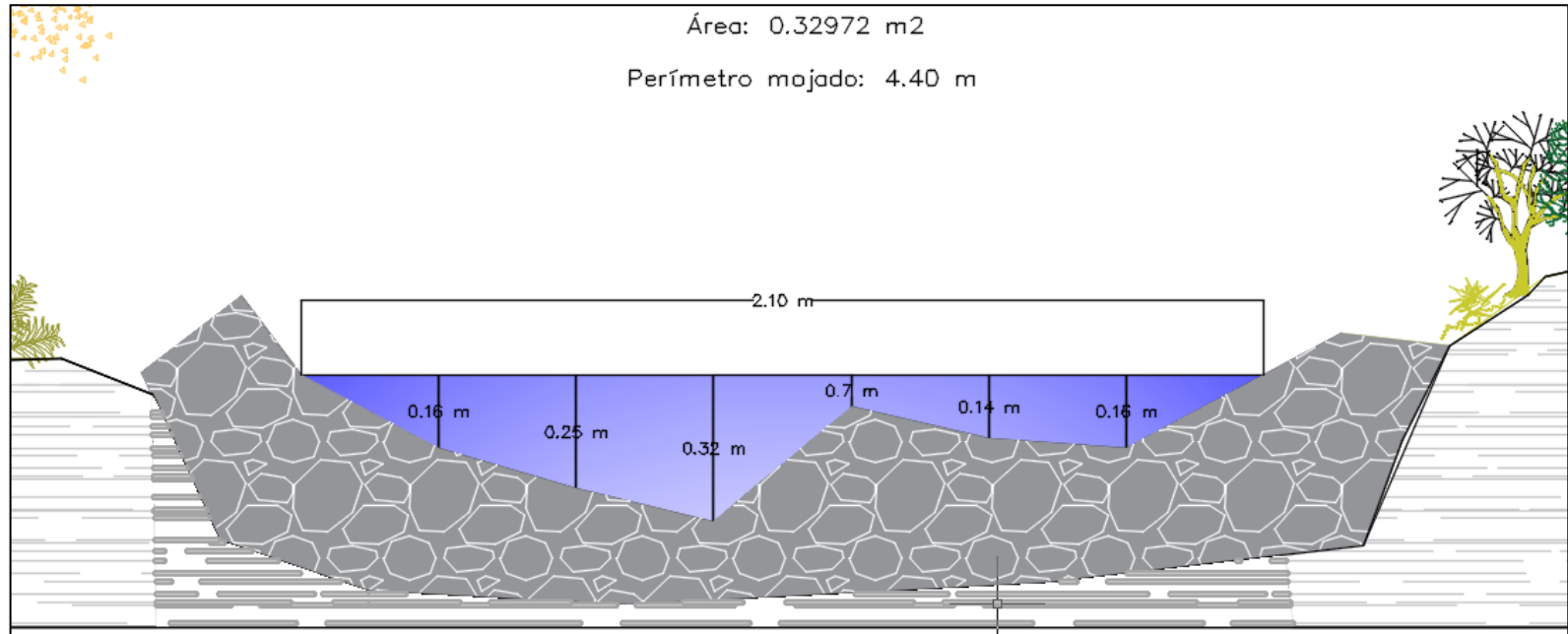
En esta sección se contabilizó el recorrido del flotador (Imagen 10) en cinco oportunidades para cada una de las dos secciones; Aguas Arriba (AA) y Aguas abajo (Aa), en el tramo de 8 m seleccionado obteniendo los siguientes datos (Tabla 10):

Tabla 10. Datos Método del Flotador Parte Baja “La Malagueña”

QUEBRADA LA MALAGUEÑA PARTE BAJA						
Tramo	Recorrido N°	Aguas Arriba (4 m)	Aguas abajo (4 m)	Σ (AA+Aa)	Velocidad AA (m/s)	Velocidad Aa (m/s)
8 metros	1	4,5	4,49	8,99	0,88888889	0,8908686
	2	4,77	4,07	8,84	0,83857442	0,98280098
	3	4,31	4,48	8,79	0,92807425	0,89285714
	4	4,28	4,47	8,75	0,93457944	0,89485459
	5	4,67	4,33	9	0,85653105	0,92378753
PROMEDIO		4,506	4,368	8,874	0,88932961	0,91703377

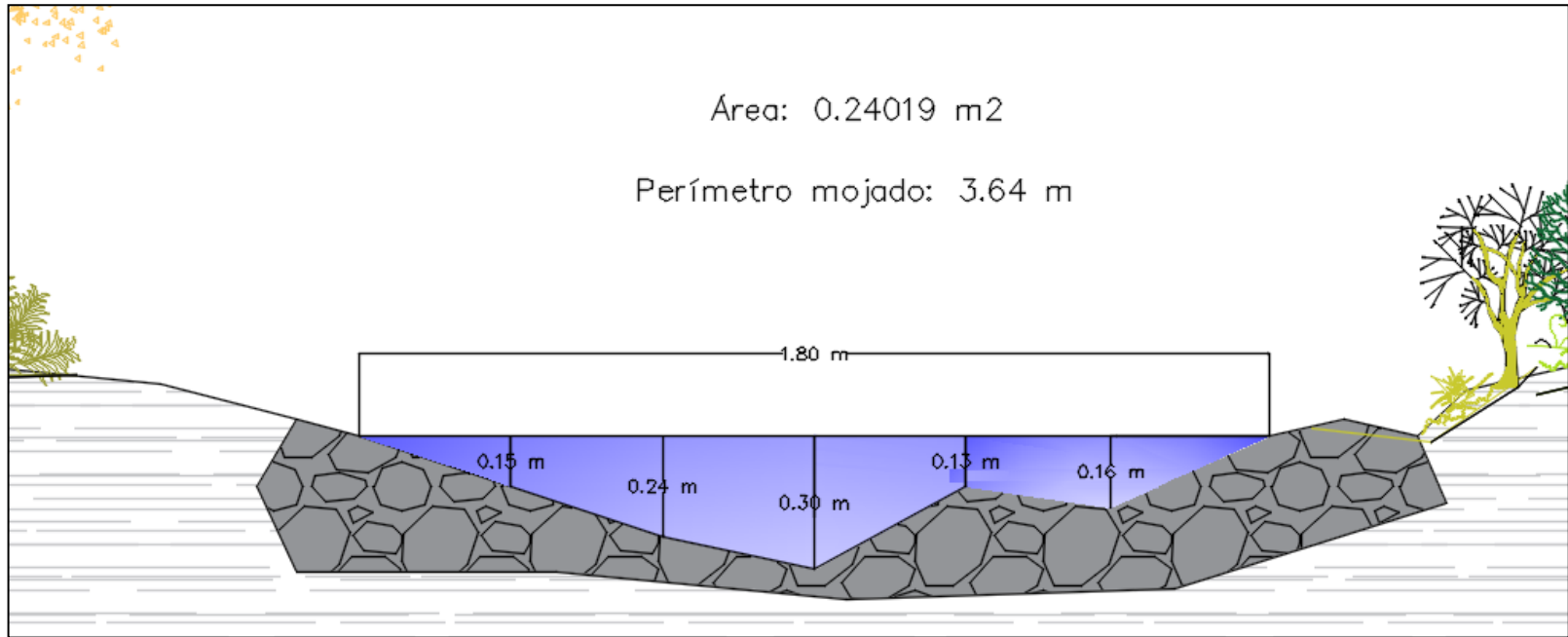
Resultados: a través de una hoja de cálculo de Excel se ingresaron los datos obtenidos y se aplicaron las formulas correspondientes, obteniendo:

Figura 8. Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Baja Quebrada La Malagueña



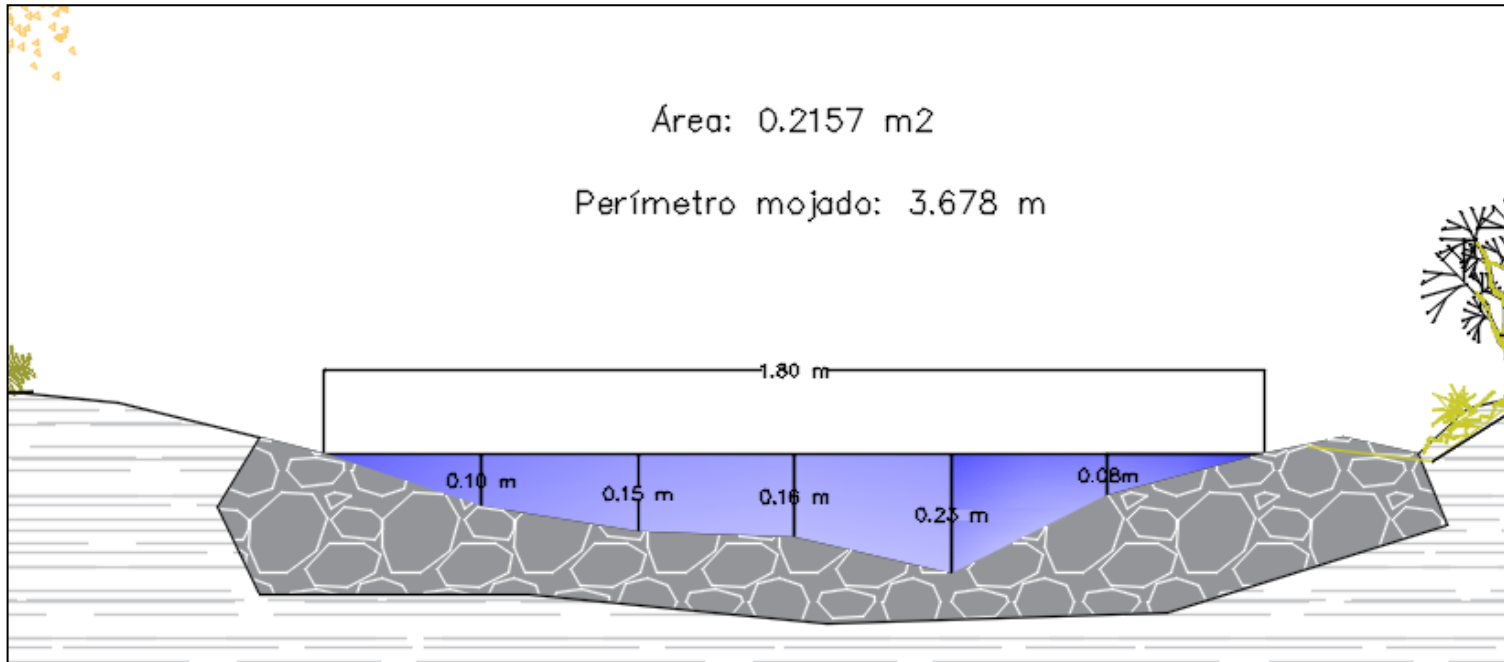
Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,28491	0,889	0,85629702	4,020	1,95	0,07087313	0,14610769	55240,6458	Turbulento	0,74321279	Sub Critico	0,95	0,24071	0,24396758

Figura 9. Sección Transversal Mitad. Parte Baja Quebrada La Malagueña



La constante K utilizada para la determinación del caudal varía en datos de 1 para corrientes altas y 0,95 para corrientes medias. La viscosidad del flujo trabajada fue de 1.141×10^{-6} m²/s correspondiente a una temperatura de 15°C. Para la ecuación de Manning se asumió un valor (Normal) de 0.02 de coeficiente de rugosidad. Material "Arena Fina Coloidal" (Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978)

Figura 10. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Baja Quebrada La Malagueña



Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	# Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,2279	0,917	0,6002498	5,479	1,8	0,04159518	0,12661111	33430,4874	Turbulento	0,8232588	Sub Crítico	0,95	0,198542	0,13679693

Determinación de Caudal Quebrada Chituli

Instrumentos:

- Cronometro
- Regla
- Cinta métrica
- Flotador (ping pong)
- Cámara fotográfica
- Lápiz y Cuaderno de registro
- Recipientes de diferentes capacidades

Parte Alta

Coordenadas: 6°40'51.4" N 72°44'40.9" O

Altura: 2375 m.s.n.m.

Vereda Yerbabuena

Imagen 10. Panorámica afloramiento Quebrada Chituli



En la imagen anterior (Imagen10) se observa el afloramiento y el comienzo del recorrido de la quebrada Chituli en la Parte alta de la vereda Yerbabuena.

Imagen 11. Afloramiento quebrada Chituli



En la imagen anterior (imagen 11) se observa el nacimiento de la Quebrada Chituli y una captación a través de un tubo de 3 pulgadas que conduce a un tanque.

Imagen 12. Captación Afloramiento Quebrada Chituli



A este tanque llega el líquido captado desde el afloramiento el cual tiene un desagüe que permite que el agua siga su curso normal (Ver imagen 12).

Debido a que no se pudo hacer el aforo directamente en el afloramiento y que al continuar su recorrido no había una parte apropiada para realizar el Método del Flotador, se efectuó un Aforo Volumétrico en el desagüe del tanque con un recipiente de 3 Litros de capacidad obteniendo los siguientes datos (Ver tabla 11).

Tabla 11. Tiempos registrados Aforo volumétrico nacimiento “Chituli”.

QUEBRADA CHITULI PARTE ALTA		
Aforo Volumétrico	Tiempo N°	Tiempo (S)
Recipiente de 3 Litros	1	3,63
	2	3,74
	3	3,99
	4	3,89
	5	3,9
PROMEDIO		3,83

$$Q = 0.783 \frac{(1\text{Lit})}{(\text{Seg})} \left(\frac{(0.001)\text{m}^3}{(1\text{Lit})} \right) = 7.83 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Parte Media

Coordenadas: 6°40'46.0" N 72°43'55.0" O

Altura: 3120 m.s.n.m.

Vereda Versalles

Imagen 13. Canal abierto km 32+ 293 m vía San José de Miranda- Málaga



En la imagen anterior (Imagen 13) se observa el poco flujo que trae la quebrada Chituli, además de una manguera que viene desde metros más arriba y pasa justo debajo del canal.

Imagen 14. Aforo Volumétrico Parte Media “Chituli”



Debido al poco flujo se hizo un aforo volumétrico (Ver Imagen 14) en este punto en un recipiente con capacidad para ocho Litros, obteniendo los siguientes tiempos (Tabla 12):

Tabla 12. Tiempos registrados Aforo volumétrico Parte Media “Chituli”

QUEBRADA CHITULI PARTE MEDIA		
Aforo Volumétrico	Tiempo N°	Tiempo (S)
Recipiente de 8 Litros	1	3.29
	2	3.29
	3	3.39
	4	2.96
	5	3.16
PROMEDIO		3.21

$$Q = 2.492 \frac{(1\text{Lit})}{(\text{Seg})} \left(\frac{(0.001)\text{m}^3}{(1\text{Lit})} \right) = 2.492 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Parte Baja

Coordenadas: 6°40'29.47" N 72°42'31.32" O

Altura: 1465 m.s.n.m.

Vereda Tierra blanca (Imagen 17 y 18)

Imagen 15. Desembocadura quebrada Chituli al río Servita



En la imagen anterior (Imagen 15) se observa el poco flujo que llega al río Servitá.

Imagen 16. Aforo Volumétrico Parte Baja la Microcuenca Chituli.



En esta imagen se observa el Aforo Volumétrico realizado con un recipiente que tiene una capacidad de 2 Litros, obteniendo los siguientes tiempos (Tabla 13):

Tabla 13 . Tiempos registrados Aforo Volumétrico Parte Baja “Chituli”

QUEBRADA CHITULI PARTE BAJA		
Aforo Volumétrico	Tiempo N°	Tiempo (S)
Recipiente de 2 Litros	1	1.23
	2	1.4
	3	1.19
	4	1.4
	5	1.35
PROMEDIO		1.31

$$Q = 1.526 \frac{(1\text{Lit})}{(\text{Seg})} \left(\frac{(0.001)\text{m}^3}{(1\text{Lit})} \right) = 1.526 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Determinación de Caudal Quebrada Los Cojos

Instrumentos:

- Cronometro
- Regla
- Cinta métrica
- Flotador (Ping pong)
- Camara fotografica
- Lápiz y cuaderno de registro
- Recipientes de diferentes capacidades

Parte Alta

Coordenadas 6° 40' 49.72" N 72° 45' 34.98" O

Altura: 2825 m.s.n.m.

Vereda Yerbabuena Parte Alta (Imagen 19)

Imagen 17. Afloramiento y Aforo volumétrico “Los Cojos”



En este punto se encuentra el nacimiento de la red principal de la Quebrada Los Cojos, el cual presentó un flujo escaso por lo que se realizó un aforo volumétrico con un recipiente de ½ Litro.

Debido a ese poco flujo se utilizó un plástico para conducir el agua hacia el recipiente. En la tabla 14 se observan los registros tomados para este punto:

Tabla 14. Tiempos registrados Aforo Volumétrico Nacimiento “Los Cojos”

QUEBRADA LOS COJOS PARTE ALTA		
Aforo Volumétrico	Tiempo N°	Tiempo (S)
Recipiente de ½ Litro	1	23.88
	2	26.64
	3	25.45
	4	23.87
	5	26.38
PROMEDIO		25.24

Según los datos anteriores se encontró un $Q = 1.980 \times 10^{-5}$

$$Q = 0.0198 \frac{(1\text{Lit})}{(\text{Seg})} \left(\frac{(0.001)\text{m}^3}{(1\text{Lit})} \right) = 1.98 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Parte Media

Coordenadas: 6° 39' 47.28" N 72° 44' 02.31" O

Altura: 1888 m.s.n.m.

Vereda Sagamal (Imagen 20 y 21)

Imagen 18. Salto de agua “La Cascada”



Metros más abajo de este salto de agua conocido como “La Cascada” (Imagen 20) se seleccionó el tramo para efectuar la medición de secciones y profundidades (Tabla 15) obteniendo:

Tabla 15. Registro de medidas Secciones Transversales

QUEBRADA LOS COJOS PARTE MEDIA																				
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (cm)	REGISTRO DE PROFUNDIDADES (cm) CADA TREINTA CENTIMETROS																		
Aguas Arriba	270	1	2.5	5	3.5	4.5	6	14.5	14	7	0	*	*	*	*	*	*	*	*	
Mitad	540	0	4	1	1	0	11	11	5	3	0	0	0	3	15	15	20	13	2	0
Aguas abajo	210	14	25	18	5	8	6.5	11	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Promedio	340																			

En esta parte de la quebrada se escogió un tramo de 12 metros para el recorrido del flotador y realizar las mediciones de las secciones.

Imagen 19. Método del Flotador sector “La Cascada”



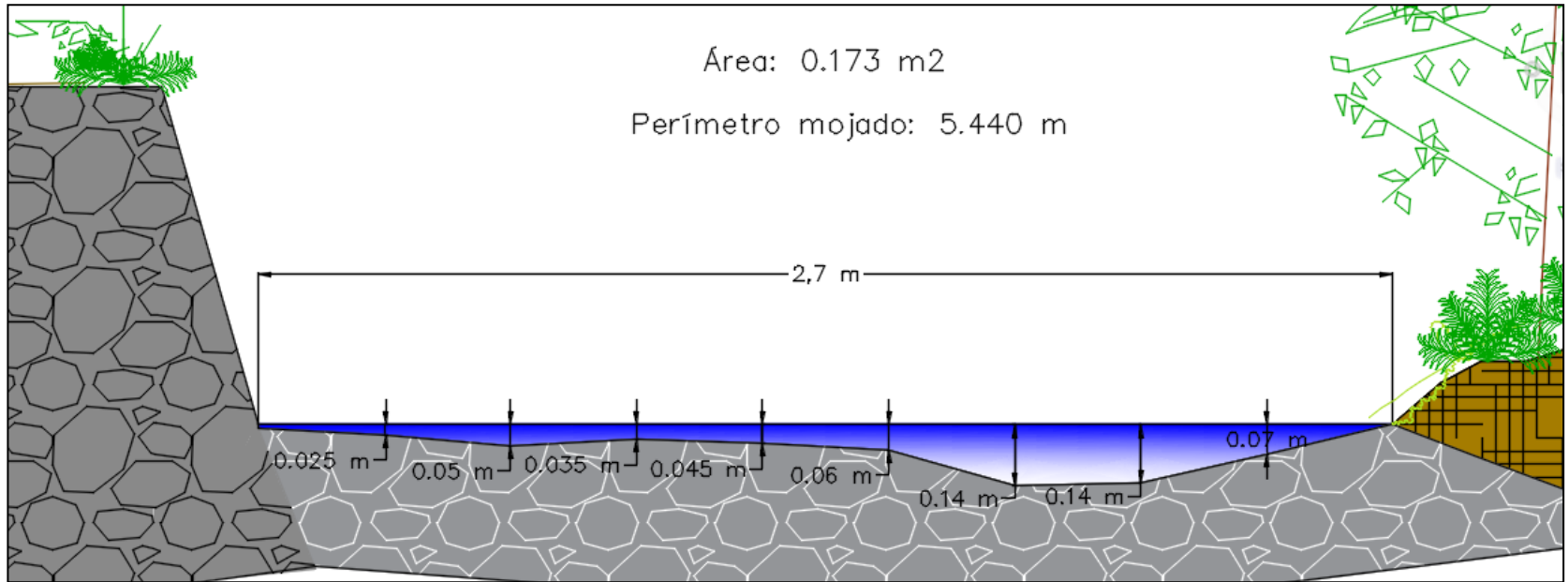
En la imagen anterior (Imagen 19) se observa el tramo donde se realizó la medición de caudal mediante el Método del Flotador, este se realizó en cinco oportunidades obteniendo los siguientes datos (Tabla 16):

Tabla 16 . Datos Método del Flotador Parte Media “Los Cojos”

QUEBRADA LOS COJOS PARTE MEDIA						
Tramo	Recorrido Nº	Aguas Arriba (6 m)	Aguas abajo (6 m)	Σ (AA+Aa)	Velocidad AA (m/s)	Velocidad Aa (m/s)
12 metros	1	9	9,16	18,16	0,66666667	0,65502183
	2	8,54	11,78	20,32	0,70257611	0,50933786
	3	7,62	9,24	16,86	0,78740157	0,64935065
	4	8,78	10,91	19,69	0,6833713	0,54995417
	5	9	9,21	18,21	0,66666667	0,6514658
PROMEDIO		8,588	10,06	18,648	0,70133646	0,60302606

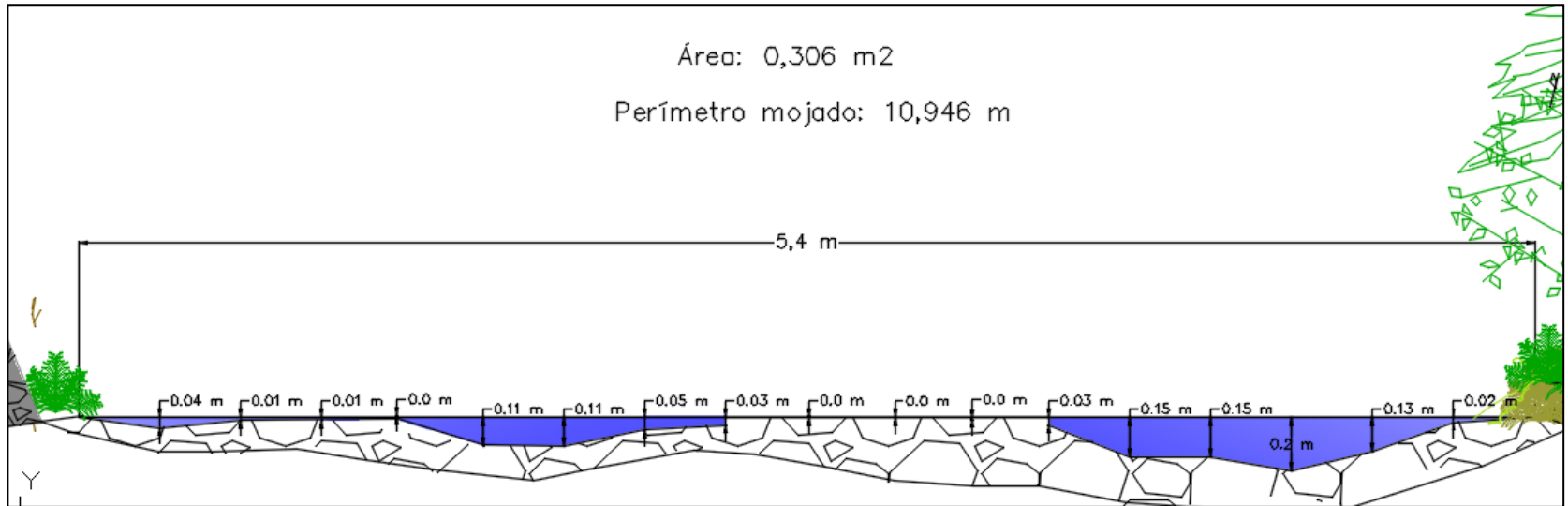
Resultados: a través de una hoja de cálculo de Excel se ingresaron los datos obtenidos y se aplicaron las formulas correspondientes, obteniendo:

Figura 11. Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Media Quebrada Los Cojos



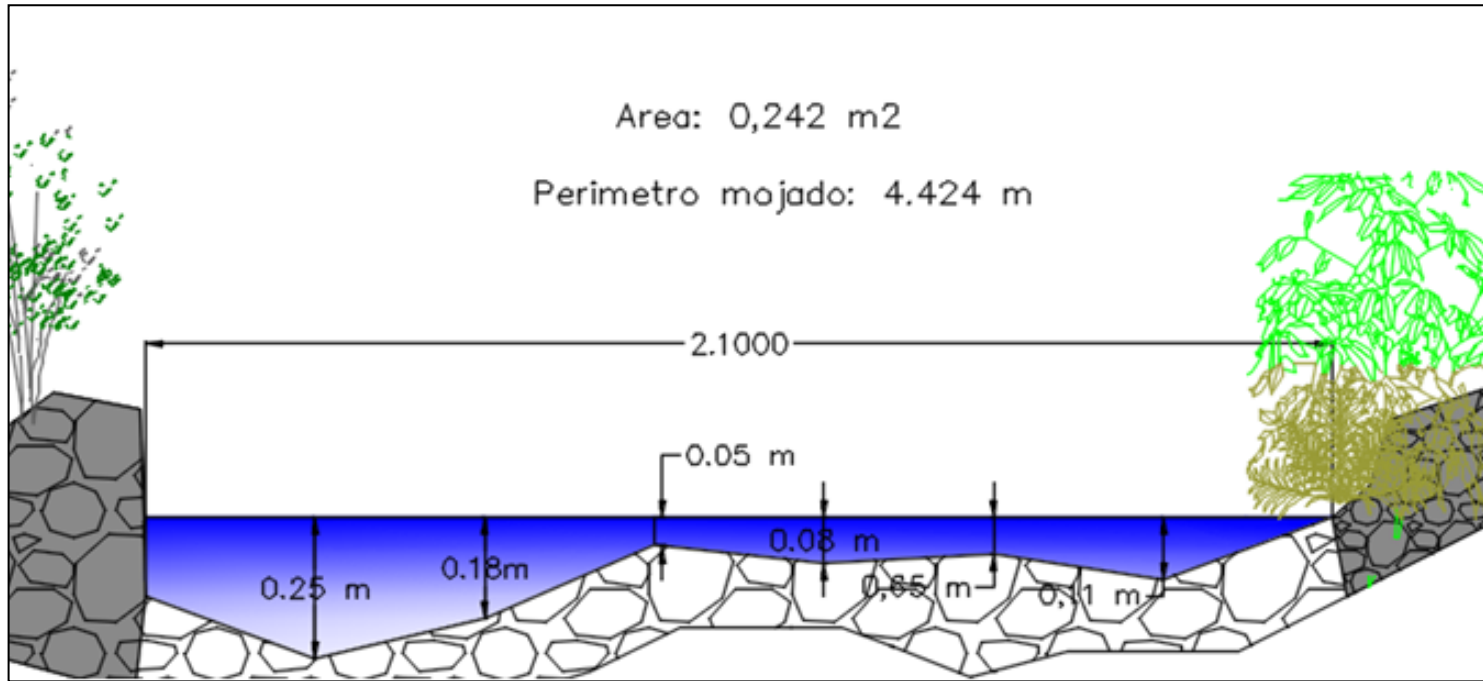
Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,2395	0,701	0,37957858	8,193	4,05	0,02923227	0,0591358	15674,0504	Turbulento	0,92127256	Sub Crítico	0,95	0,159572	0,09090907

Figura 12. Sección Transversal Mitad. Parte Media Quebrada Los Cojos



La constante K utilizada para la determinación del caudal varía en datos de 1 para corrientes altas y 0,95 para corrientes medias.
La viscosidad del flujo trabajada fue de 1.308×10^{-6} m²/s correspondiente a una temperatura de 10°C
Para la ecuación de Manning se asumió un valor (Normal) de 0.035 de coeficiente de rugosidad. Material "Grava gruesa no Coloidal"
(Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978)

Figura 13. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Media Quebrada Los Cojos



Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	# Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,274	0,603	0,30276136	13,158	3,75	0,02082383	0,07306667	9600,39317	Turbulento	0,71262884	Sub Crítico	0,95	0,156968	0,08295661

Parte Baja

Coordenadas: 6° 39' 45.31" N 72° 42' 37.18" O.

Altura: 1441 m.s.n.m.

Vereda El Espinal (Imagen 21 y 22)

Imagen 20. Panorámica desembocadura quebrada Los Cojos-Río Servitá



En la imagen anterior (Imagen 20) se observa la unión de la quebrada con el río Servitá desde dos ángulos diferentes.

Debido a la irregularidad y gran cantidad de piedras en esta parte de la quebrada se seleccionó un tramo un poco más arriba (Imagen 22) de la unión de la quebrada y el río, para realizar las mediciones pertinentes para efectuar el Método del Flotador (Tabla 17 y 18).

Imagen 21. Medición Longitudinal del cauce.



Tabla 17. Registro de medidas Secciones Transversales

QUEBRADA LOS COJOS PARTE BAJA													
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (cm)	INTERVALO (cm)	REGISTRO DE PROFUNDIDADES (cm)										
Aguas Arriba	160	32	8	30	23	20	7	3	*	*	*	*	*
Mitad	210	30	0	10	22	24	27	11	8	0	*	*	*
Aguas abajo	300	30	8	11	16	17	20	29	7	5	21	2	0
Promedio	223,3	30,7											

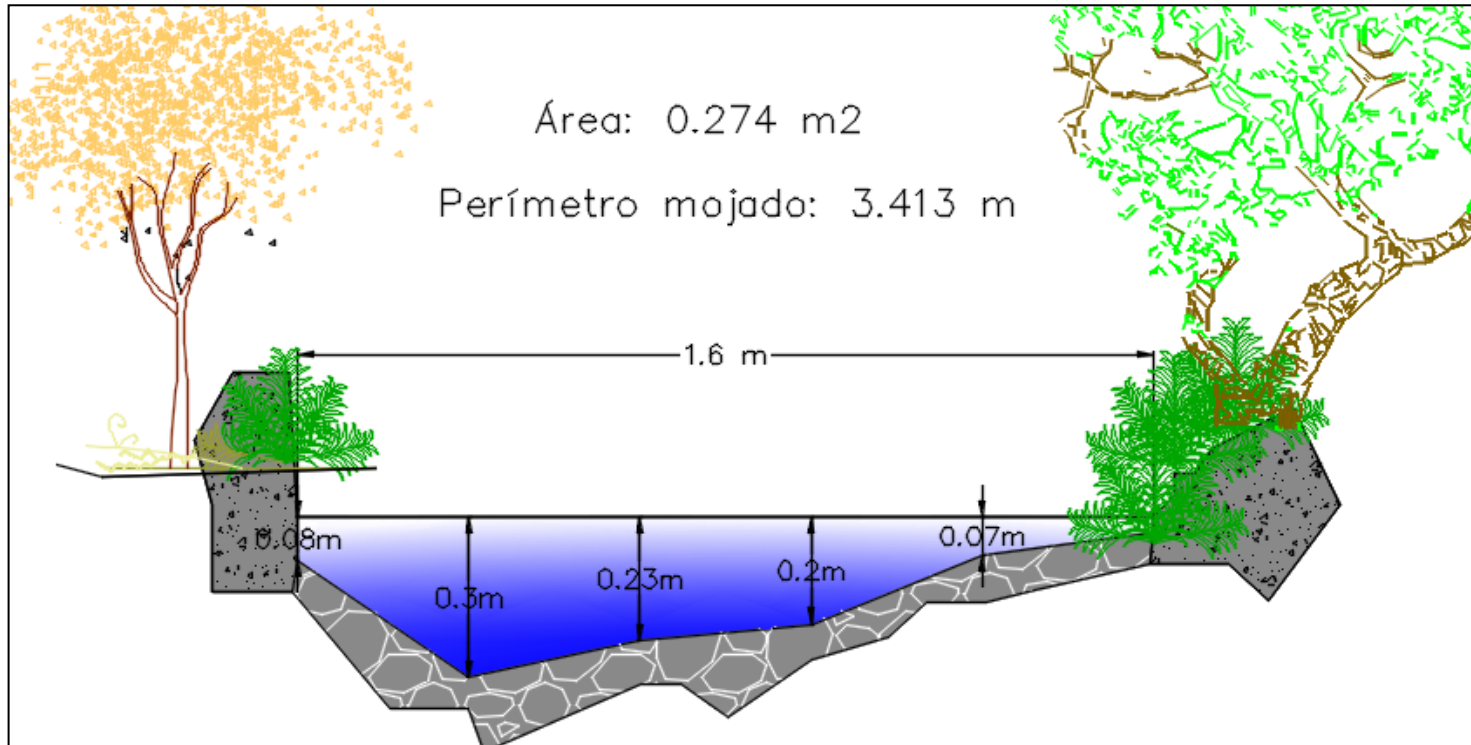
Luego del recorrido del flotador para un tramo de 8 metros se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 18. Datos Método del Flotador Parte Baja “Los Cojos”.

QUEBRADA LOS COJOS PARTE BAJA						
Tramo	Recorrido N°	Aguas Arriba (4 m)	Aguas abajo (4 m)	Σ (AA+Aa)	Velocidad AA (m/s)	Velocidad Aa (m/s)
8 metros	1	2,4	2,35	4,75	1,66666667	1,70212766
	2	2,35	2,18	4,53	1,70212766	1,83486239
	3	2,31	1,99	4,3	1,73160173	2,01005025
	4	2,72	1,88	4,6	1,47058824	2,12765957
	5	2,22	2,66	4,88	1,8018018	1,5037594
PROMEDIO		2,4	2,212	4,612	1,67455722	1,83569185

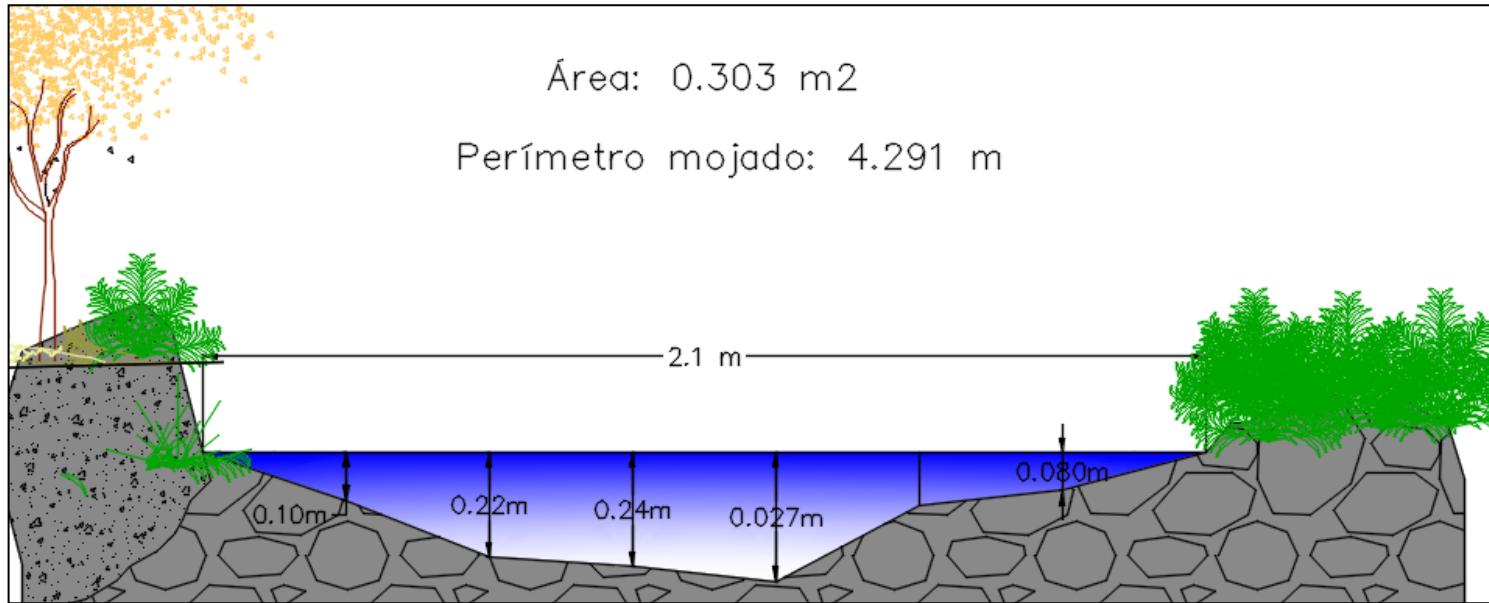
Resultados: a través de una hoja de cálculo de Excel se ingresaron los datos obtenidos y se aplicaron las formulas correspondientes, obteniendo:

Figura 14. Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Baja Quebrada Los Cojos



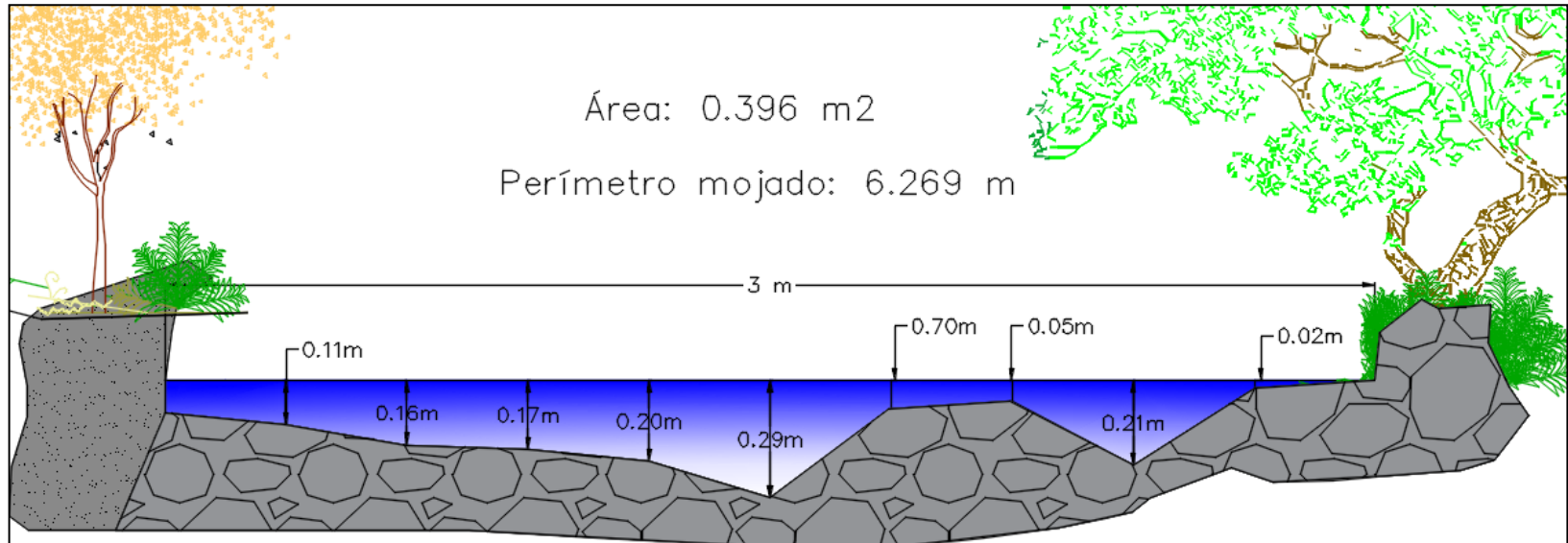
Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,2885	1,675	0,71072188	3,852	1,85	0,07489616	0,15594595	109919,283	Turbulento	1,35456519	Super Crítico	0,95	0,458954	0,20504326

Figura 15. Sección Transversal Mitad. Parte Baja Quebrada Los Cojos



La constante K utilizada para la determinación del caudal varía en datos de 1 para corrientes altas y 0,95 para corrientes medias.
La viscosidad del flujo trabajada fue de 1.141×10^{-6} m²/s correspondiente a una temperatura de 15°C
Para la ecuación de Manning se asumió un valor (Normal) de 0.035 de coeficiente de rugosidad. Material "Grava gruesa no Coloidal"
(Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978)

Figura 16. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Baja Quebrada Los Cojos



Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,3495	1,836	0,52144396	7,426	2,55	0,04706754	0,13705882	75724,3604	Turbulento	1,58392	Super Crítico	0,95	0,609496	0,18224466

Determinación de Caudal Quebrada Popagá

Instrumentos:

- Cronometro
- Regla
- Cinta métrica
- Flotador (Ping pong)
- Camara fotografica
- Lapiz y cuaderno de registro
- Recipientes de diferentes capacidades

Popagá como tal no es un curso natural de agua, en realidad es una concavidad o gran cárcava de terreno similar a la de una quebrada que recoge agua de escorrentía natural y de zanjones de fincas aledañas que formaron un cauce que llega al río Servitá (Imagen 23)

Imagen 22 . Cárcava de terreno



Coordenadas 6° 39' 25.69" N 72° 43' 16.33" O

Altura: 1751 m.s.n.m.

Vereda El Espinal

A la altura del km 23 + 827 m de la vía central que comunica a los municipios de Capitanejo y San José de Miranda se observa la ausencia de flujo hídrico a través de la cárcava formada por el paso de escorrentía y aguas superficiales (Imagen 24).

Imagen 23. Desembocadura quebrada Popagá-Río Servitá



En la fotografía (Imagen 24) se observa la llegada de este curso de agua denominada como Popagá al río Servitá.

Imagen 24. Aforo volumétrico Parte Baja



Coordenadas 6° 38' 59.60" N 72° 42' 34.38" O

Altura: 1366 m.s.n.m.

Vereda Popagá

Debido al muy poco flujo se hizo un aforo volumétrico con un balde (Imagen 25) con una capacidad de 13.5 Litros obteniendo los registros presentes en la tabla 19.

Tabla 19. Tiempos registrados Aforo Volumétrico Parte Baja “Popagá”

QUEBRADA POPAGA PARTE BAJA		
Aforo Volumétrico	Tiempo N°	Tiempo (S)
Recipiente (balde) de 13,5 Litros	1	26,26
	2	25,93
	3	25,82
	4	25,32
	5	25,75
PROMEDIO		25,81

$$Q = 0.523 \frac{(1\text{Lit})}{\text{Seg}} \left(\frac{(0.001)\text{m}^3}{(1\text{Lit})} \right) = 5.23 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

Determinación de Caudal Quebrada Sagamal

Instrumentos:

- Cronometro
- Regla
- Cinta métrica
- Flotador (Ping pong)
- Camara fotografica
- Lapiz y cuaderno de registro
- Recipientes de diferentes capacidades

Parte Alta

Coordenadas 6° 39' 08.31" N 72° 44' 46.46" O.

Altura: 2406 m.s.n.m.

Vereda Yerbabuena Parte Alta (Imagen 26)

Imagen 25. Aforo Volumétrico afloramiento quebrada Sagamal



En la imagen se observa el afloramiento de agua de la quebrada Sagamal con su respectivo encerramiento y un aforo volumétrico con un recipiente de capacidad de 2 Litros. Se utilizó la ayuda de un plástico para direccionar el flujo de manera regular y uniforme, para posteriormente tomar los tiempos de llenado (Tabla 20) obteniendo.

Tabla 20. Tiempos registrados Aforo Volumétrico Parte Alta afloramiento “Sagamal”

QUEBRADA SAGAMAL PARTE ALTA		
Aforo Volumétrico	Tiempo Nº	Tiempo (S)
Recipiente de 2 Litros	1	3.66
	2	3.41
	3	3.19
	4	3.45
	5	3.44
PROMEDIO		3.43

Según los datos anteriores se encontró un caudal de:

$$Q = 0.583 \frac{(1\text{Lit})}{\text{Seg}} \left(\frac{(0.001)\text{m}^3}{(1\text{Lit})} \right) = 5.83 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

Parte Media

Coordenadas 6° 38' 54.47" N 72° 43' 32.10" O.

Altura: 1716 m.s.n.m.

Vereda El Espinal (Imagen 27)

Imagen 26. Método del Flotador Parte Media “Sagamal”



Para la Parte Media de la Quebrada Sagamal se eligió un tramo canalizado (Imagen 28) a la altura del km 25 + 232 m de la vía que comunica al municipio de Capitanejo con San José de Miranda, allí justo debajo pasa la Quebrada donde se obtuvo los datos tabulados a continuación (Tabla 21).

Tabla 21. Registro de medidas Secciones Transversales

QUEBRADA SAGAMAL PARTE MEDIA													
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (cm)	INTERVALO (cm)	REGISTRO DE PROFUNDIDADES (cm)										
Aguas Arriba	336	33	0	5	5	6	7	6	8	4	3	1	0
Mitad	350	35	0	5	6	6	5	7	7	7	7	4	0
Aguas abajo	356	35	0	3	3	4	6	6	5	6	5	6	0
Promedio	347,3	34,3											

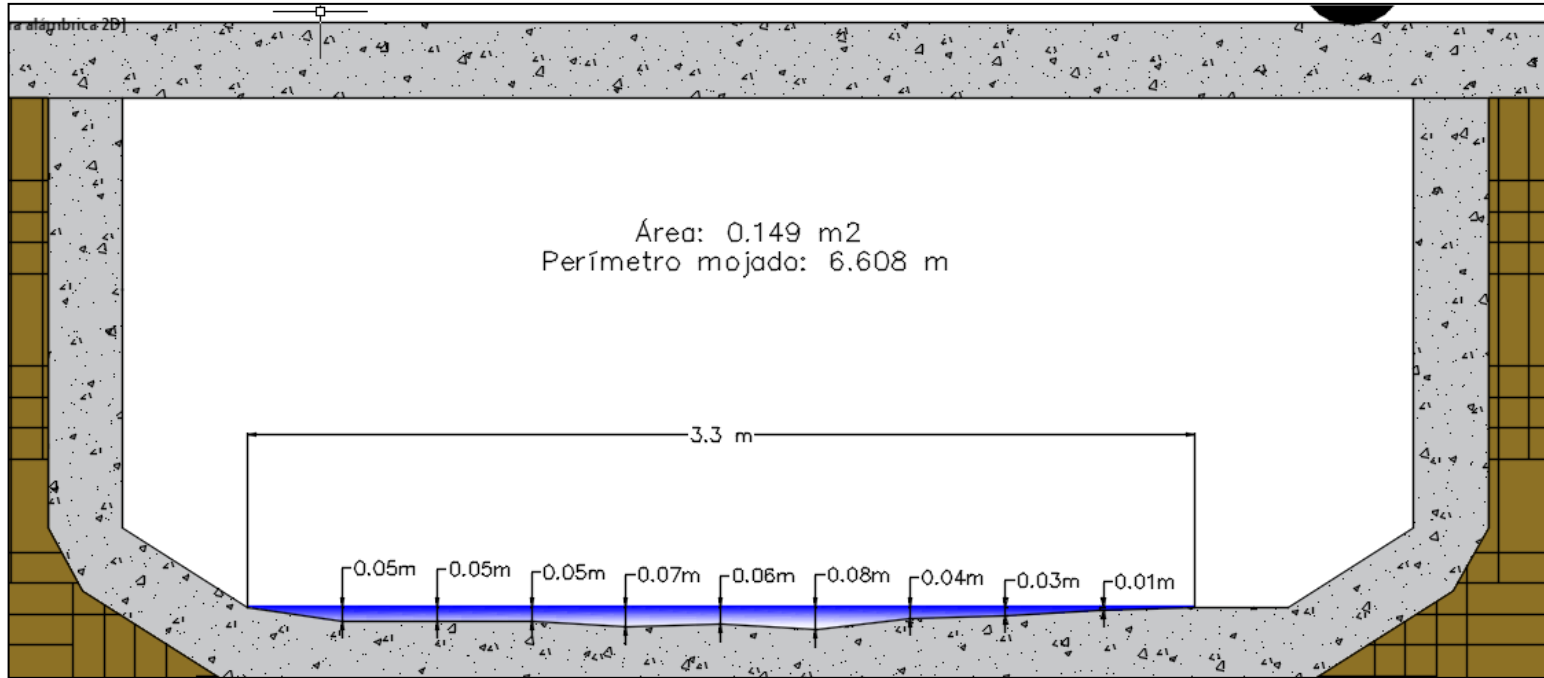
El tramo canalizado fue de 10 metros donde se registró el recorrido del flotador en cinco oportunidades obteniendo los siguientes datos (Tabla 22).

Tabla 22. Datos Método del Flotador Parte Media “Sagamal”.

QUEBRADA SAGAMAL PARTE MEDIA						
Tramo	Recorrido N°	Aguas Arriba (5 m)	Aguas abajo (5 m)	Σ (AA+Aa)	Velocidad AA (m/s)	Velocidad Aa (m/s)
10 metros	1	5,35	5,8	11,15	0,93457944	0,86206897
	2	5,33	5,26	10,59	0,9380863	0,95057034
	3	5,42	5,98	11,4	0,92250923	0,8361204
	4	5,31	6,43	11,74	0,94161959	0,77760498
	5	5,5	6,08	11,58	0,90909091	0,82236842
PROMEDIO		5,382	5,91	11,292	0,92917709	0,84974662

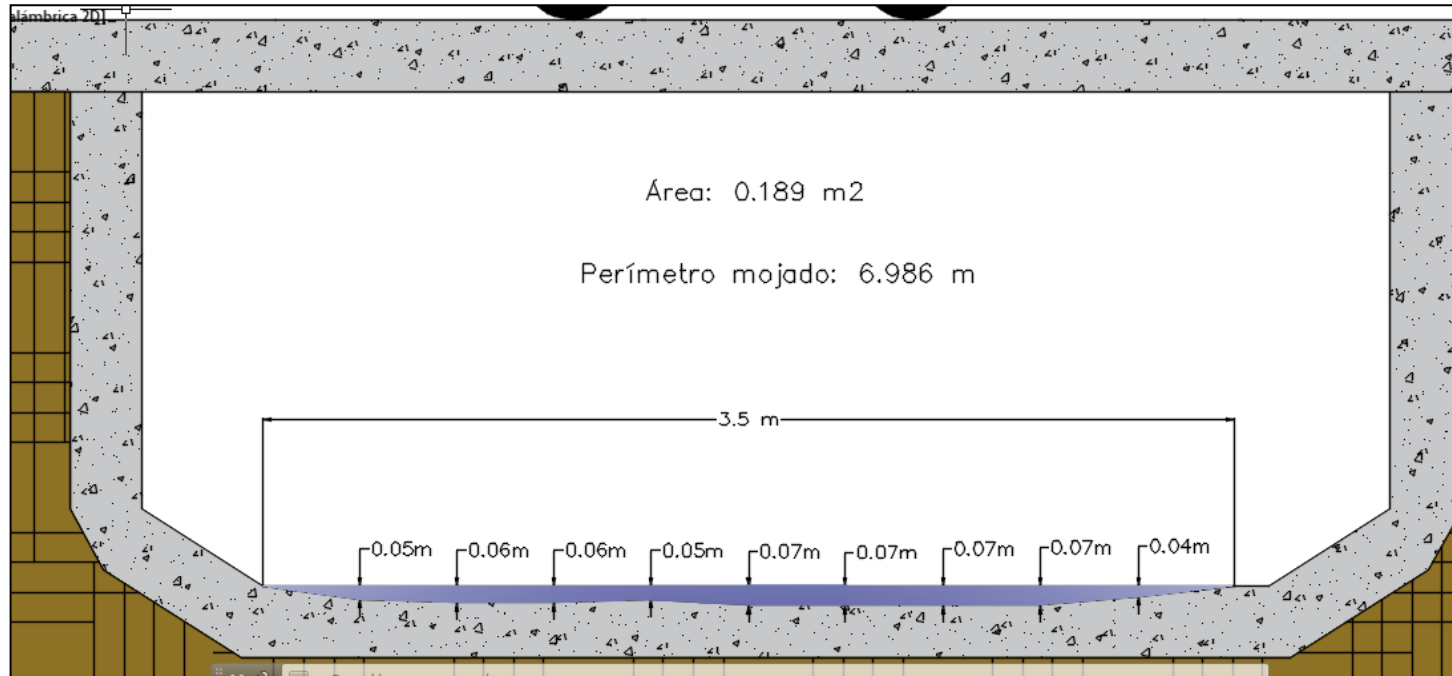
Resultados: a través de una hoja de cálculo de Excel se ingresaron los datos obtenidos y se aplicaron las formulas correspondientes, obteniendo:

Figura 17 . Sección Transversal Aguas Arriba.Parte Media Quebrada Sagamal



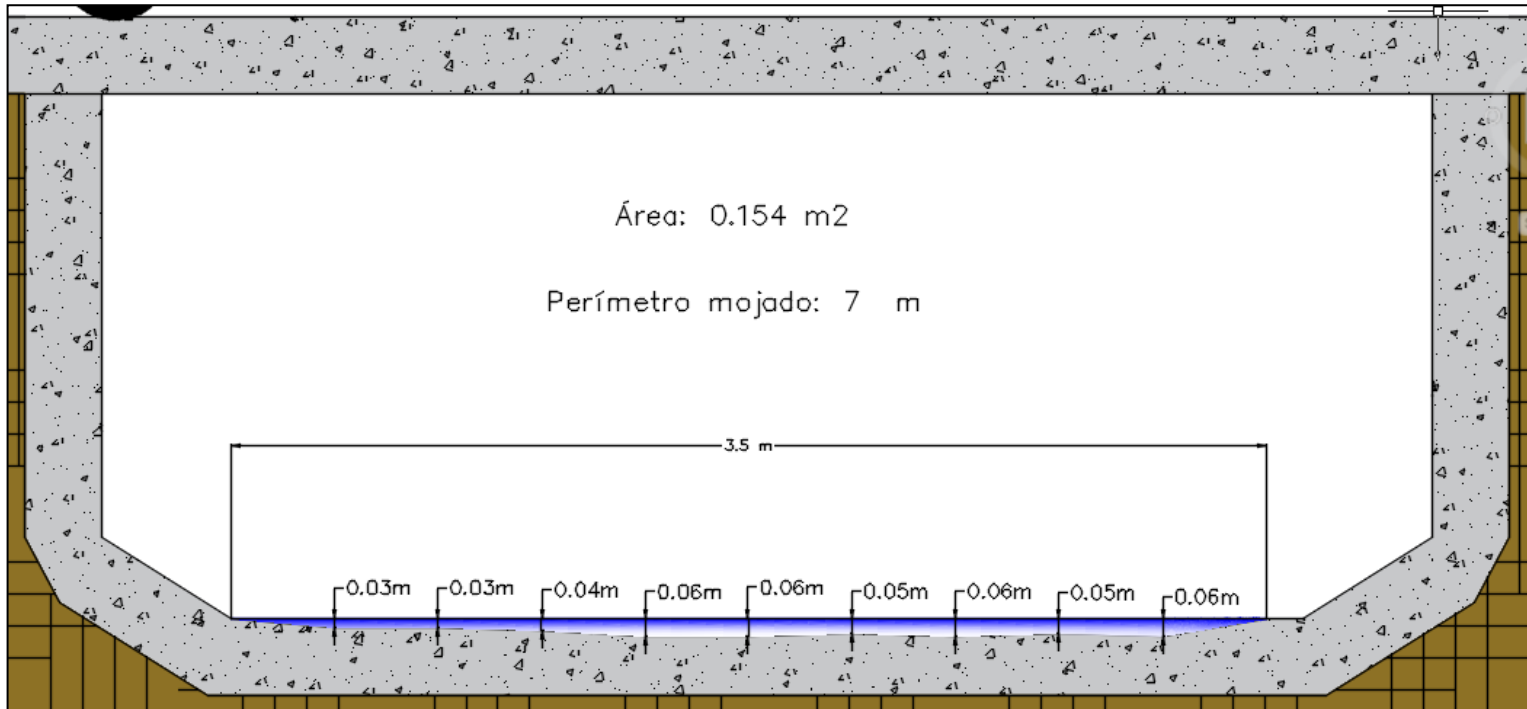
Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,169	0,929	0,50110727	6,797	3,4	0,02486391	0,04970588	18676,6177	Turbulento	1,33131726	Super Crítico	0,95	0,149179	0,08468713

Figura 18. Sección Transversal Mitad.Parte Media Quebrada Sagamal



La constante K utilizada para la determinación del caudal varía en datos de 1 para corrientes altas y 0,95 para corrientes medias.
La viscosidad del flujo trabajada fue de $1.237 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ correspondiente a una temperatura de 12°C
Para la ecuación de Manning se asumió un valor (Normal) de 0.017 de coeficiente de rugosidad. Material "Concreto"
(Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978)

Figura 19. Sección Transversal Aguas abajo Parte Media Quebrada Sagamal



Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,1715	0,850	0,37891649	10,490	3,5	0,0163489	0,049	11230,7403	Turbulento	1,22624816	Super Crítico	0,95	0,138445	0,06498418

Parte Baja

Coordenadas 6° 38' 39.79" N 72° 42' 32.80" O.

Altura: 1327 m.s.n.m.

Sector Monte Redondo (Imagen 28 y 29)

Imagen 27. Desembocadura al Río Servitá



En la imagen anterior (Imagen 27) se observa la llegada de la quebrada Sagamal al río Servitá evidenciando un aporte des-uniforme ya que esta se ramifica en tres partes.

Se seleccionó un tramo regular y uniforme metros más arriba registrando los siguientes datos (Tabla 23).

Tabla 23. Registro de medidas Secciones Transversales

QUEBRADA SAGAMAL PARTE BAJA													
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (cm)	INTERVALO (cm)	REGISTRO DE PROFUNDIDADES (cm)										
Aguas Arriba	180	30	0	27	30	27	30	25	0	*	*	*	*
Mitad	250	31	0	5	4	4	10	23	24	20	0	*	*
Aguas abajo	300	30	0	2	5	4	12	21	29	33	30	24	0
Promedio	243,3	30,3											

Imagen 28. Método del Flotador Parte Baja “Sagamal”



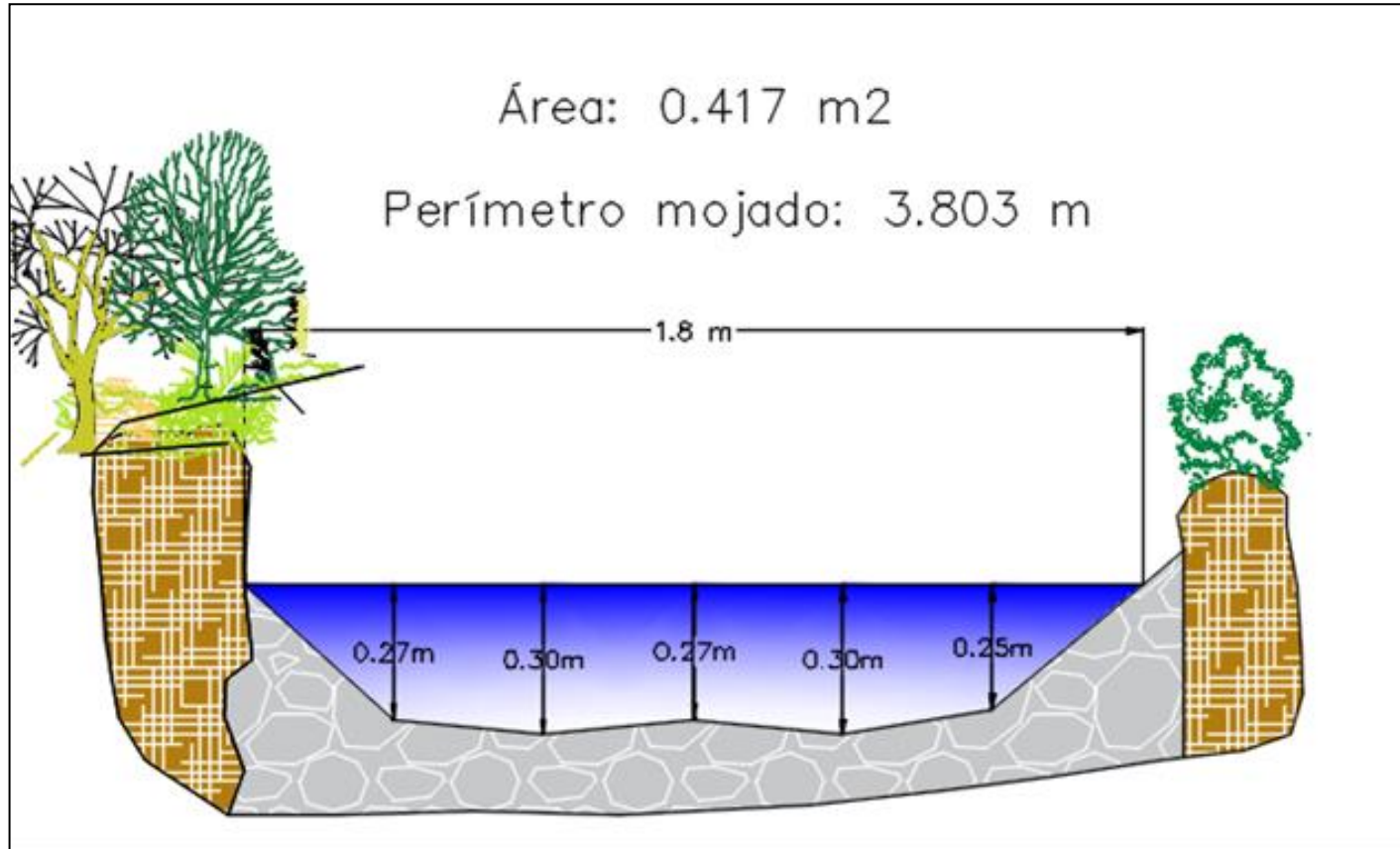
El tramo elegido fue de 6 metros uniforme y de buen recorrido para el flotador (Imagen 29) obteniendo los siguientes datos (Tabla 24)

Tabla 24. Datos Método del Flotador Parte Baja “Sagamal”.

QUEBRADA SAGAMAL PARTE BAJA						
Tramo	Recorrido N°	Aguas Arriba (3 m)	Aguas abajo (3 m)	Σ (AA+Aa)	Velocidad AA (m/s)	Velocidad Aa (m/s)
6 metros	1	3,45	5,8	9,25	0,86956522	0,51724138
	2	3,86	4,62	8,48	0,77720207	0,64935065
	3	3	5,54	8,54	1	0,54151625
	4	2,99	5,27	8,26	1,00334448	0,56925996
	5	3,21	6,03	9,24	0,93457944	0,49751244
PROMEDIO		3,302	5,452	8,754	0,91693824	0,55497613

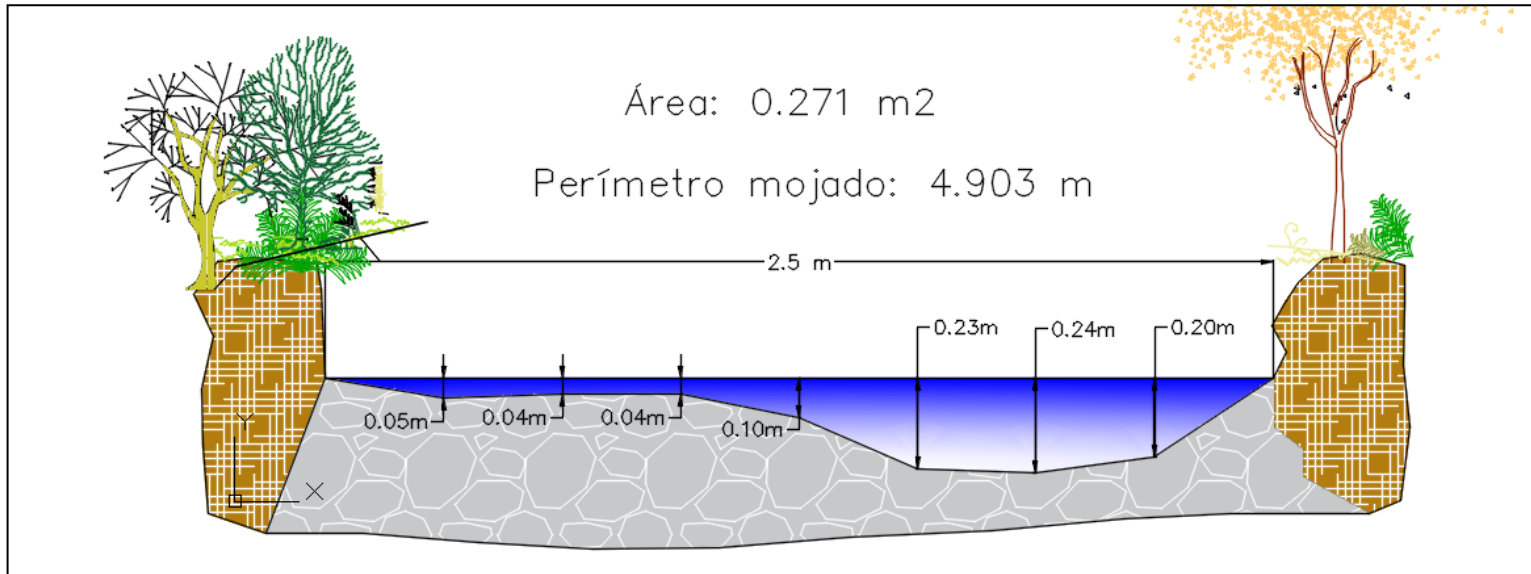
Resultados: a través de una hoja de cálculo de Excel se ingresaron los datos obtenidos y se aplicaron las formulas correspondientes, obteniendo los perfiles registrados en las figuras 18,19 y 20.

Figura 20. Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Baja Quebrada Sagamal



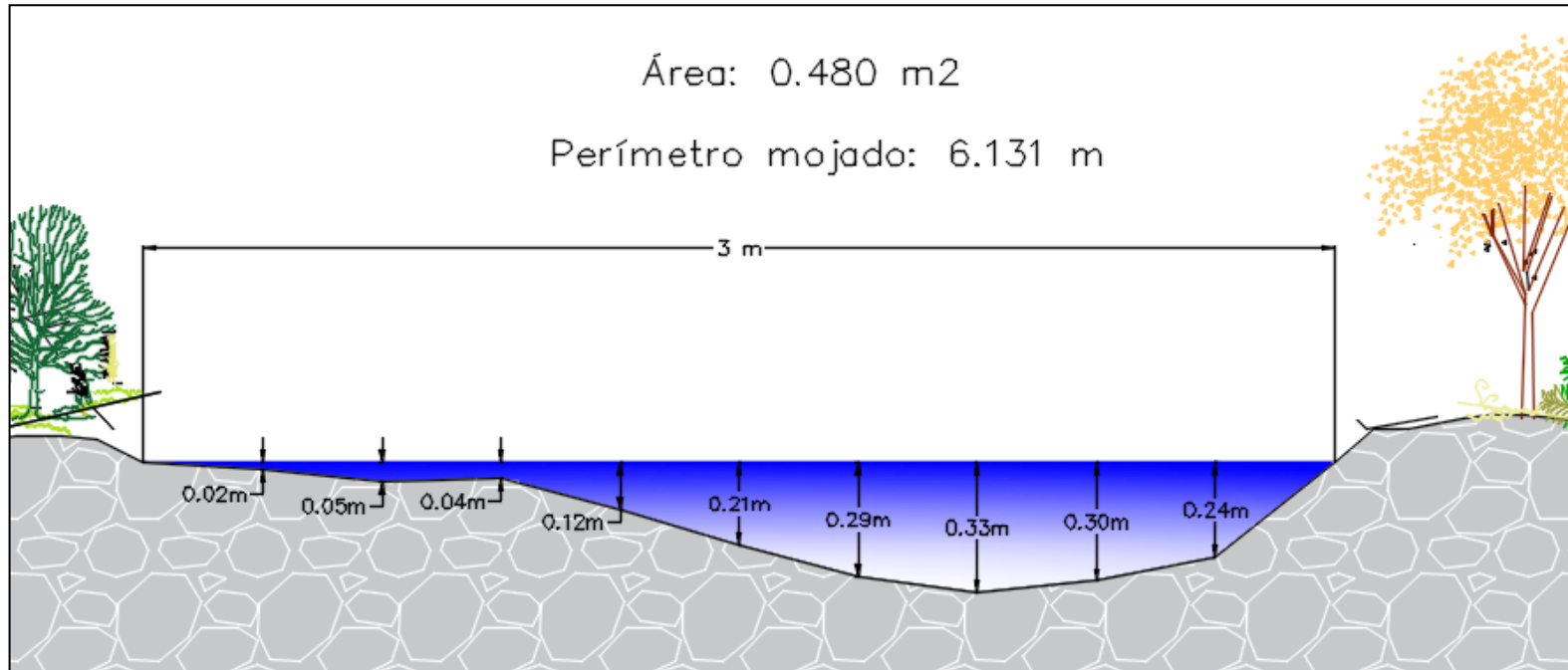
Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,344	0,917	0,92076723	4,353	2,15	0,07902596	0,16	68554,3274	Turbulento	0,73226294	Sub Crítico	0,95	0,299655	0,31674393

Figura 21. Sección Transversal Mitad. Parte Baja Quebrada Sagamal



La constante K utilizada para la determinación del caudal varía en datos de 1 para corrientes altas y 0,95 para corrientes medias. La viscosidad del flujo trabajada fue de 1.057×10^{-6} m²/s correspondiente a una temperatura de 18°C. Para la ecuación de Manning se asumió un valor (Normal) de 0.02 de coeficiente de rugosidad. Material "Arena Fina Coloidal" (Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978)

Figura 22. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Baja Quebrada Sagamal



Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,3755	0,555	0,65231733	7,969	2,75	0,04712305	0,13654545	24741,8794	Turbulento	0,47975847	Sub Crítico	0,95	0,197974	0,24494516

Determinación de Caudal Quebrada Salado Bravo

Medición de caudal

Instrumentos:

- Cronometro
- Regla
- Cinta métrica
- Flotador (Ping pong)
- Camara fotografica
- Lapid y cuaderno de registro
- Recipientes de diferentes capacidades

Parte Alta: debido al difícil acceso al afloramiento de esta quebrada el procedimiento se realizó metros más abajo de este, enseguida de un salto de agua o cascada.

Coordenadas (Cascada) $6^{\circ} 38' 12.64''$ N $72^{\circ} 45' 28.80''$ O.

Altura: 2597 m.s.n.m.

Vereda Cucurucho (Imagen 30 y 31)

Imagen 29. Cauce carretera arriba “Salado Bravo”



Se ascendió cañada arriba (Imagen 31) desde un punto de la vía veredal que comunica a San José de Miranda con veredas del municipio de Molagavita, ya que como antes se mencionó el acceso al afloramiento es muy complicado debido a la vegetación que protege la quebrada en esta parte y por la fuerte inclinación del terreno.

Imagen 30. Aforo volumétrico Parte Alta Salado Bravo



En este punto enseguida de una cascada natural se hizo el aforo volumétrico (Imagen 31) correspondiente a la Parte Alta de esta Quebrada, obteniendo los registros de la tabla 25.

Tabla 25. Tiempos registrados Aforo Volumétrico Parte Alta “Salado Bravo”

Q. SALADO BRAVO PARTE ALTA		
Aforo Volumétrico	Tiempo N°	Tiempo (S)
Recipiente de 2 Litros	1	4.38
	2	3.91
	3	4.53
	4	4.43
	5	3.84
PROMEDIO		4.22

$$Q = 0.4739 \frac{(1\text{Lit})}{\text{Seg}} \left(\frac{(0.001)\text{m}^3}{(1\text{Lit})} \right) = 4.739 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

Parte Media

Coordenadas Parte Media 6° 37' 55.38" N 72° 43' 50.55" O

Altura: 1627 m.s.n.m.

Vereda Carbonera, Sector “Pincera” (Imagen 32)

Imagen 31 . Método del Flotador Parte Media Salado Bravo



En la imagen anterior (Imagen 31) se observa la quebrada cruzar sobre la carretera veredal la cual conecta con la vía Troncal del Norte en el sector conocido como “La Baticola”.

Se escogió este punto ya que no hubo un tramo regular o recto donde el flotador se desplazara correctamente y se registraron las siguientes medidas (Tabla 26):

Tabla 26. Registro de medidas Secciones Transversales

QUEBRADA SALADO BRAVO PARTE MEDIA														
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (cm)	INTERVALO (cm)	REGISTRO DE PROFUNDIDADES (cm)											
Aguas Arriba	330	30	0	12	14	11	12	6	9	10	16	0	8	0
Mitad	150	30	0	1	5	9	10	0	*	*	*	*	*	*
Aguas abajo	300	30	0	1	5	7	8	10	3	8	2	2	0	*
Promedio	260	30												

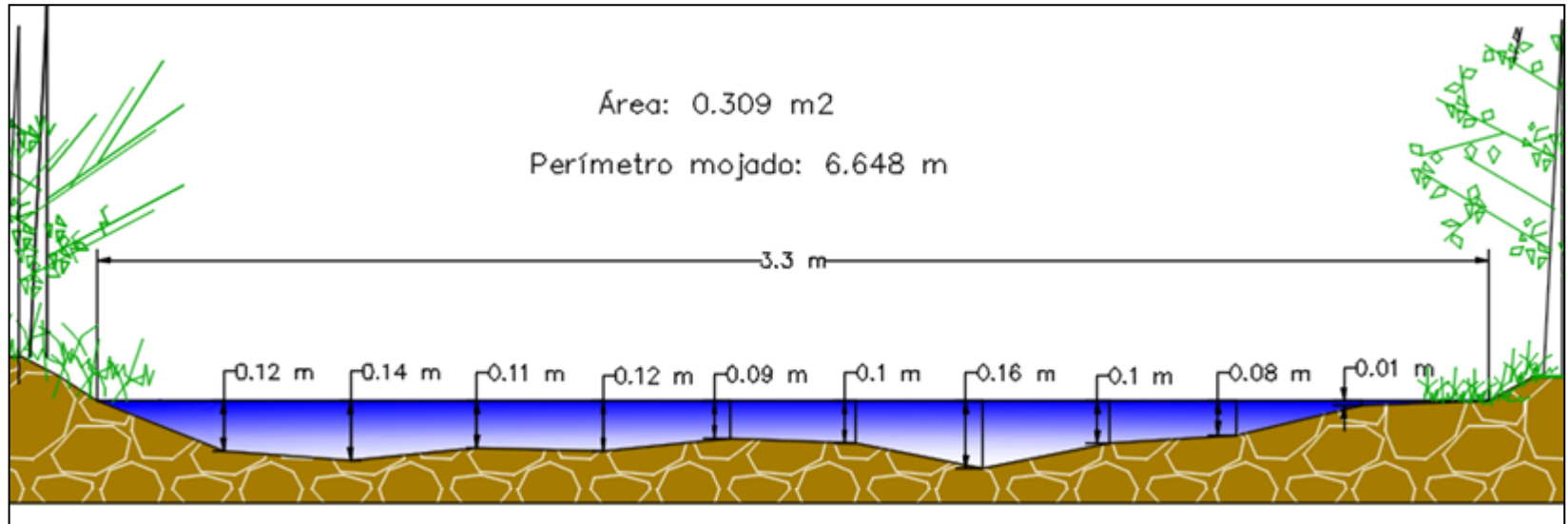
El tramo seleccionado esta sobre la vía veredal y posee una superficie de Concreto, luego de realizar el recorrido del flotador se obtuvo los datos representados en la siguiente tabla (Tabla 27):

Tabla 27. Datos Método del Flotador Parte Media “Salado Bravo”

QUEBRADA SALADO BRAVO PARTE MEDIA						
Tramo	Recorrido N°	Aguas Arriba (4 m)	Aguas Arriba (4 m)	Σ (AA+Aa)	Velocidad AA (m/s)	Velocidad Aa (m/s)
8 metros	1	3,9	3,06	6,96	1,02564103	1,30718954
	2	3,65	4,05	7,7	1,09589041	0,98765432
	3	3,77	3,73	7,5	1,06100796	1,07238606
	4	3,6	4,33	7,93	1,11111111	0,92378753
	5	3,84	3,41	7,25	1,04166667	1,17302053
PROMEDIO		3,752	3,716	7,468	1,06706343	1,0928076

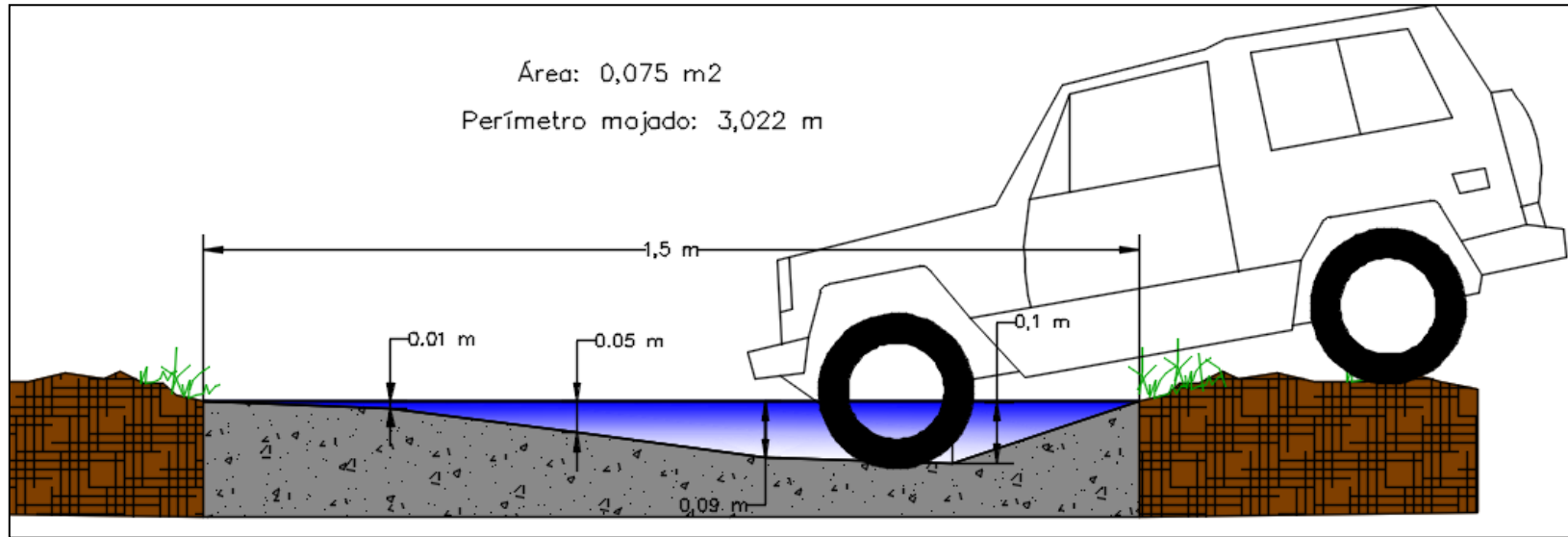
Resultados: a través de una hoja de cálculo de Excel se ingresaron los datos obtenidos y se aplicaron las formulas correspondientes, obteniendo los perfiles registrados en las figuras 21,22 y 23:

Figura 23. Sección Transversal Aguas Arriba Parte Media Quebrada Salado Bravo



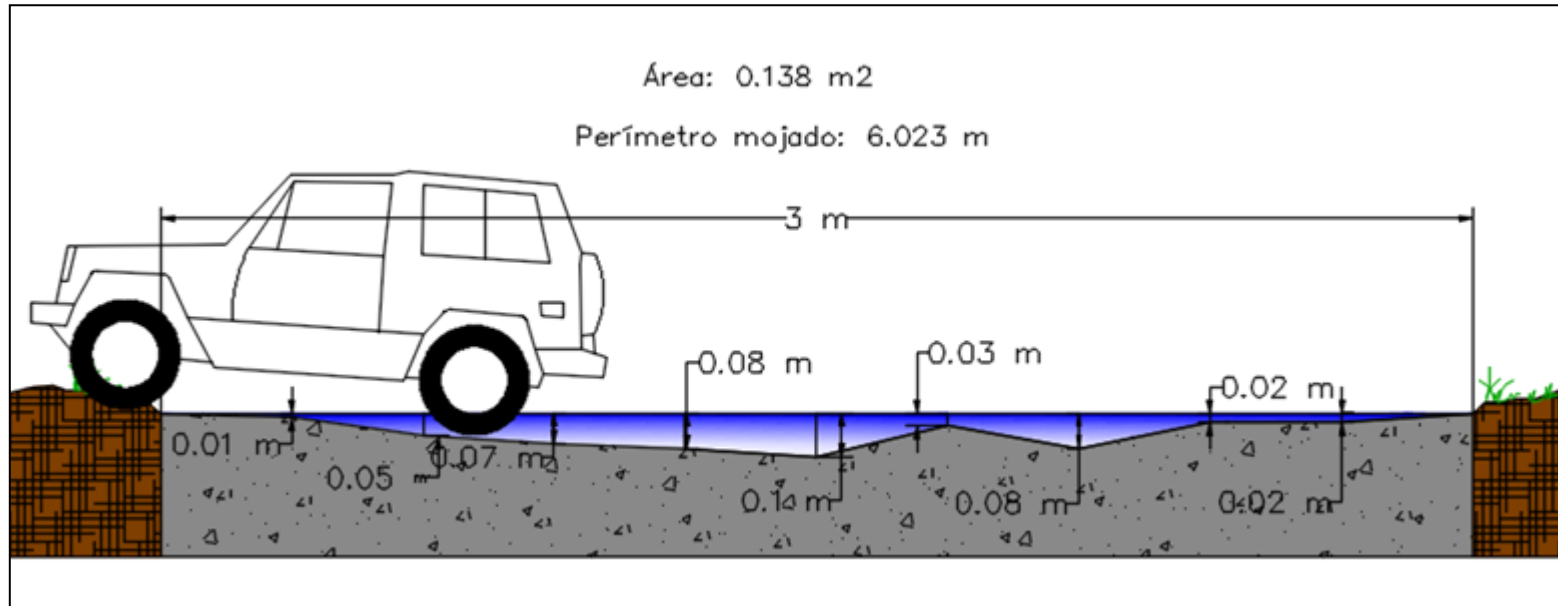
Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,192	1,067	0,6846799	4,835	2,4	0,03971044	0,08	37137,216	Turbulento	1,20512531	Super Crítico	0,95	0,194632	0,13145854

Figura 24. Sección Transversal Mitad. Parte Media Quebrada Salado Bravo



La constante K utilizada para la determinación del caudal varía en datos de 1 para corrientes altas y 0,95 para corrientes medias. La viscosidad del flujo trabajada fue de 1.141×10^{-6} m²/s correspondiente a una temperatura de 15°C. Para la ecuación de Manning se asumió un valor (Normal) de 0.017 de coeficiente de rugosidad. Material "Concreto" (Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978)

Figura 25. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Media Quebrada Salado Bravo



Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,1065	1,093	0,3987842	6,034	2,25	0,01765145	0,04733333	16905,9022	Turbulento	1,60452734	Super Crítico	0,95	0,110565	0,04247052

Parte Baja

Coordenadas 6° 36' 38.93" N 72° 42' 28.12" O

Altura: 1197 m.s.n.m.

Sector La Mesa (Imagen 33 y 34)

Imagen 32. Panorámica desembocadura al Río Servitá



En la fotografía (Imagen 33) se observa la desembocadura de la quebrada al río Servitá desde la vía que comunica al municipio de Capitanejo con San José de Miranda a la altura del km 14+923 m.

Imagen 33. Aforo Volumétrico Parte Baja “Salado Bravo”



Debido al poco flujo y la facilidad de contener el curso de agua en un balde se hizo un aforo volumétrico (Imagen 34).

Tabla 28. Aforo Volumétrico Parte Baja “Salado Bravo”.

Q. SALADO BRAVO PARTE BAJA		
Aforo Volumétrico	Tiempo N°	Tiempo (S)
Recipiente (balde) de 13.5 Litros	1	1.08
	2	1.04
	3	0.91
	4	0.79
	5	1
PROMEDIO		0.964

$$Q = 14 \frac{(1\text{Lit})}{\text{Seg}} \left(\frac{(0.001)\text{m}^3}{(1\text{Lit})} \right) = 0.014 \text{ m}^3/\text{s}$$

Determinación de Caudal Quebrada Tabarlaque

Instrumentos:

- Cronometro
- Regla
- Cinta métrica
- Flotador (Ping pong)
- Camara fotografica
- Lapiz y cuaderno de registro
- Recipientes de diferentes capacidades

Parte Alta

Coordenadas 6° 37' 25.4" N 72° 45' 22.6" O

Altura: 2401 m.s.n.m.

Vereda Cruz de Piedra (Imagen 35)

Imagen 34 . Afloramiento Tabarlaque



En la imagen (Imagen 34) anterior se observan dos cuadros en el primero se aprecia un cultivo de maíz y metros más abajo el afloramiento de la quebrada, mientras en el segundo cuadro se evidencia la ausencia de caudal en el cauce natural de la quebrada, por lo cual no se registraron datos de ningún aforo.

Parte Media

Coordenadas 6° 36' 41.7" N 72° 44' 52.2" O

Altura: 1638 m.s.n.m.

Sector Guasimales (Imagen 36, 37 y 38)

Imagen 35. Cruce de la quebrada Tabarlaque sobre vía veredal.



En esta imagen (Imagen 35) se observa el paso de la quebrada sobre la vía veredal que viene desde el municipio de San José de Miranda y conduce a la vereda Cucharito.

Imagen 36. Medida de profundidades



En este punto antes de que la quebrada cruce la vía veredal, se realizó la medida de las secciones (Imagen 37) y sus respectivas profundidades (Tabla 29)

Tabla 29 . Registro de medidas Secciones Transversales

QUEBRADA TABARLAQUE PARTE MEDIA										
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (cm)	INTERVALO (cm)	REGISTRO DE PROFUNDIDADES (cm)							
Aguas Arriba	180	30	2	5	5	8	11	10	4	*
Mitad	111	18.5	15	16	13	7	5	4	0	*
Aguas abajo	210	30	0	4	3	4	14	16	10	0
Promedio	167	30								

Imagen 37. Método del Flotador



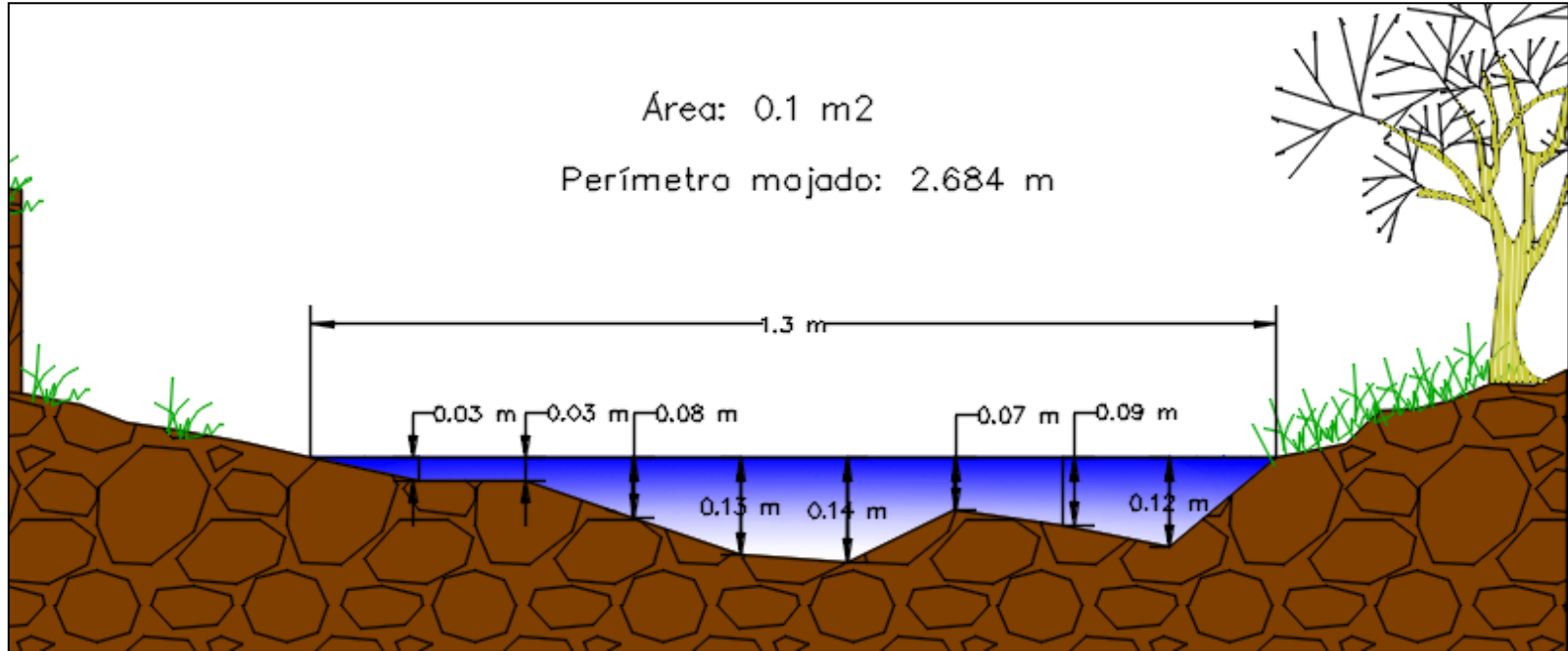
Para el recorrido del flotador (Imagen 38) en la Parte Media de la quebrada Tabarlaque se registraron los siguientes datos (Tabla 30):

Tabla 30. Datos Método del Flotador Parte Media “Tabarlaque”

QUEBRADA TABARLAQUE PARTE MEDIA						
Tramo	Recorrido N°	Aguas Arriba (3, 5 m)	Aguas Arriba (3,5 m)	Σ (AA+Aa)	Velocidad AA (m/s)	Velocidad Aa (m/s)
7 metros	1	4	3,01	7,01	0,875	1,1627907
	2	3,89	3	6,89	0,89974293	1,16666667
	3	4,09	3,06	7,15	0,85574572	1,14379085
	4	4,1	3,21	7,31	0,85365854	1,09034268
	5	4,31	3,74	8,05	0,81206497	0,93582888
PROMEDIO		4,078	3,204	7,282	0,85924243	1,09988395

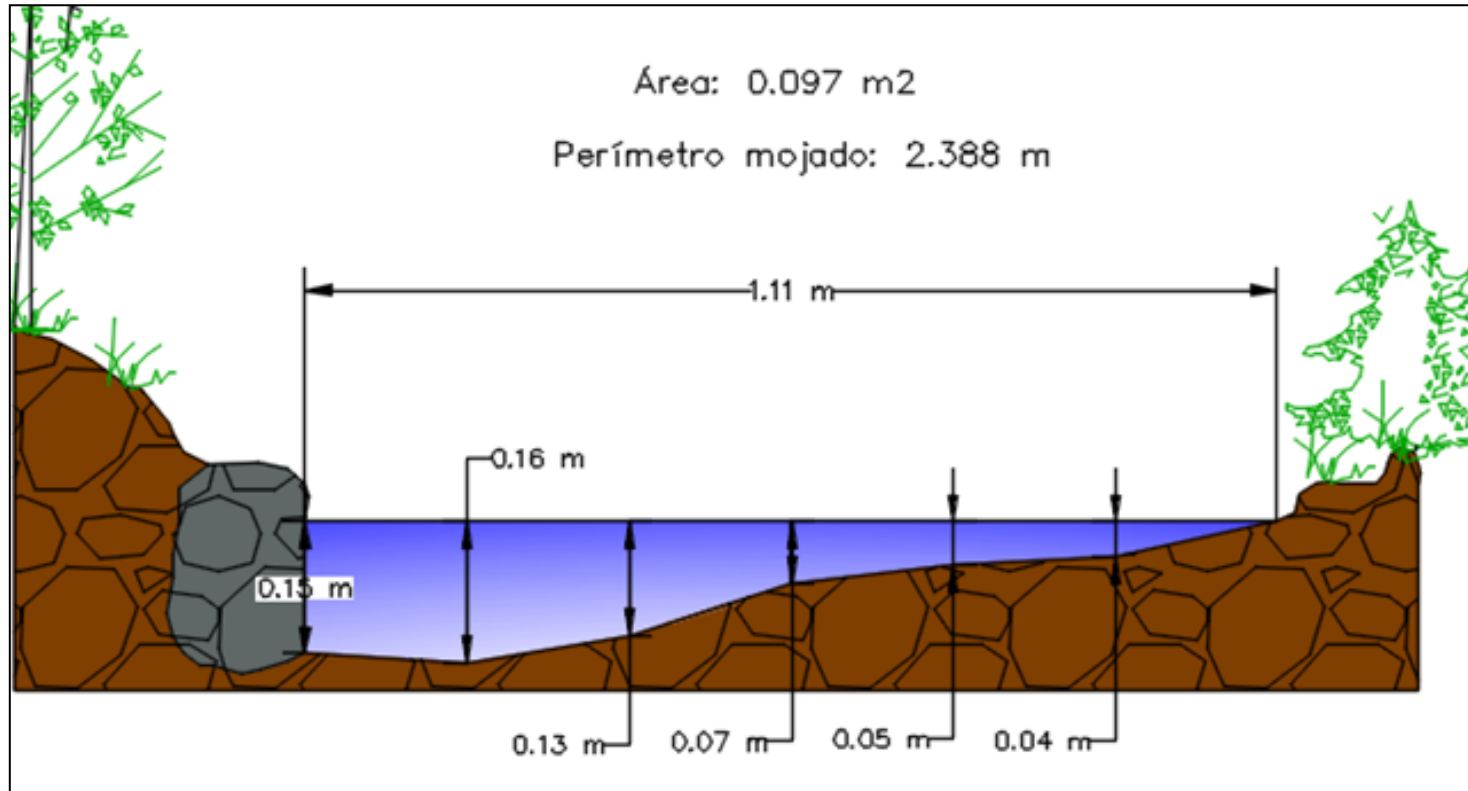
Resultados: a través de una hoja de cálculo de Excel se ingresaron los datos obtenidos y se aplicaron las formulas correspondientes, obteniendo los perfiles registrados en las figuras 24,25 y 26:

Figura 26 . Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Media “Tabarlaque”



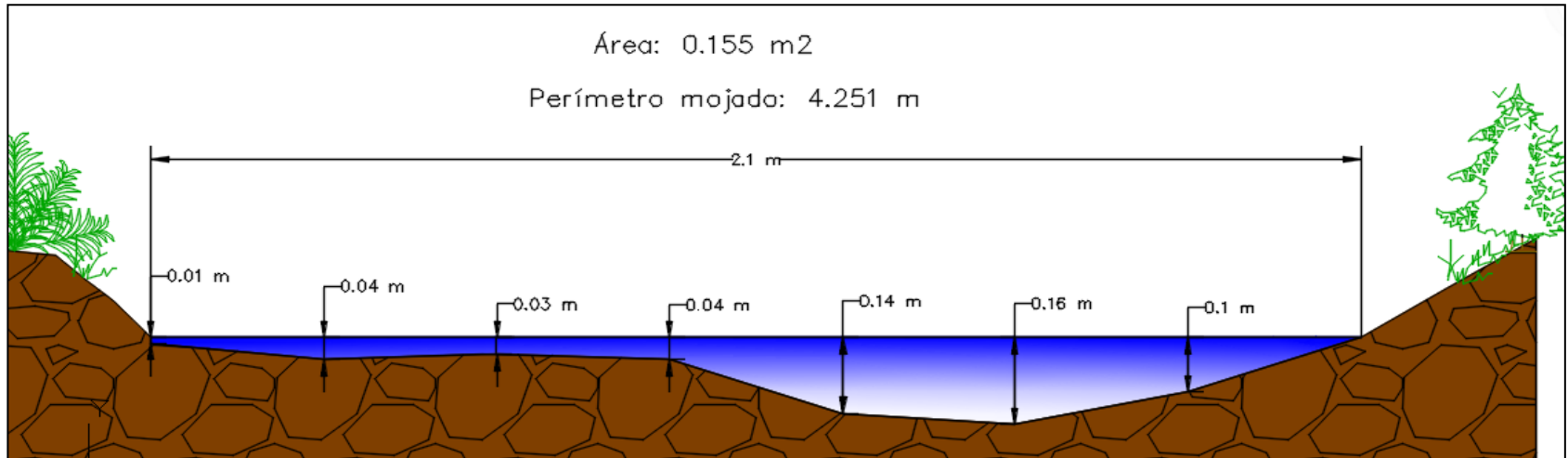
Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,1115	0,859	0,44258423	3,030	1,455	0,03680475	0,0766323	25565,2431	Turbulento	0,99150918	Super Crítico	0,95	0,091015	0,04934814

Figura 27. Sección Transversal Mitad. Parte Media “Tabarlaque”



La constante K utilizada para la determinación del caudal varía en datos de 1 para corrientes altas y 0,95 para corrientes medias.
La viscosidad del flujo trabajada fue de 1.237×10^{-6} m²/s correspondiente a una temperatura de 12°C
Para la ecuación de Manning se asumió un valor (Normal) de 0.035 de coeficiente de rugosidad. Material “Grava gruesa no Coloidal”
(Fuente: Krochin Sviatoslav. “Diseño Hidráulico”, Ed. MIR, Moscú, 1978)

Figura 28. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Media “Tabarlaque”



Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,126	1,100	0,36809907	4,514	1,605	0,02791625	0,07850467	24821,8568	Turbulento	1,2539669	Super Crítico	0,95	0,131656	0,04638048

Parte Baja

Coordenadas: 6° 34' 48.53" N 72° 45' 32.72" O.

Altura 984 m.s.n.m.

Vereda Petaquero (Imagen 39 y 40)

Imagen 38. Desembocadura al río Chicamocha



En la imagen anterior (Imagen 38) se aprecia la llegada de la quebrada al río Chicamocha, además se puede notar el color rojizo que trae por el transporte de sedimento y arcillas.

Imagen 39. Método del Flotador



Metros más arriba de la desembocadura de la quebrada Tabarlaque al río Chicamocha en una sección semi recta y regular se tomaron las medidas (Imagen 40) de las secciones, obteniendo los datos registrados en la tabla 31.

Tabla 31. Registro de medidas Secciones Transversales

QUEBRADA TABARLAQUE PARTE BAJA													
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (cm)	INTERVALO (cm)	REGISTRO DE PROFUNDIDADES (cm)										
Aguas Arriba	100	10	0	2	5	14	17	24	20	13	8	1	0
Mitad	130	13	0	6	5	21	15	2	1	2	7	1	0
Aguas abajo	130	14.4	0	3	8	13	14	7	9	12	0	*	*

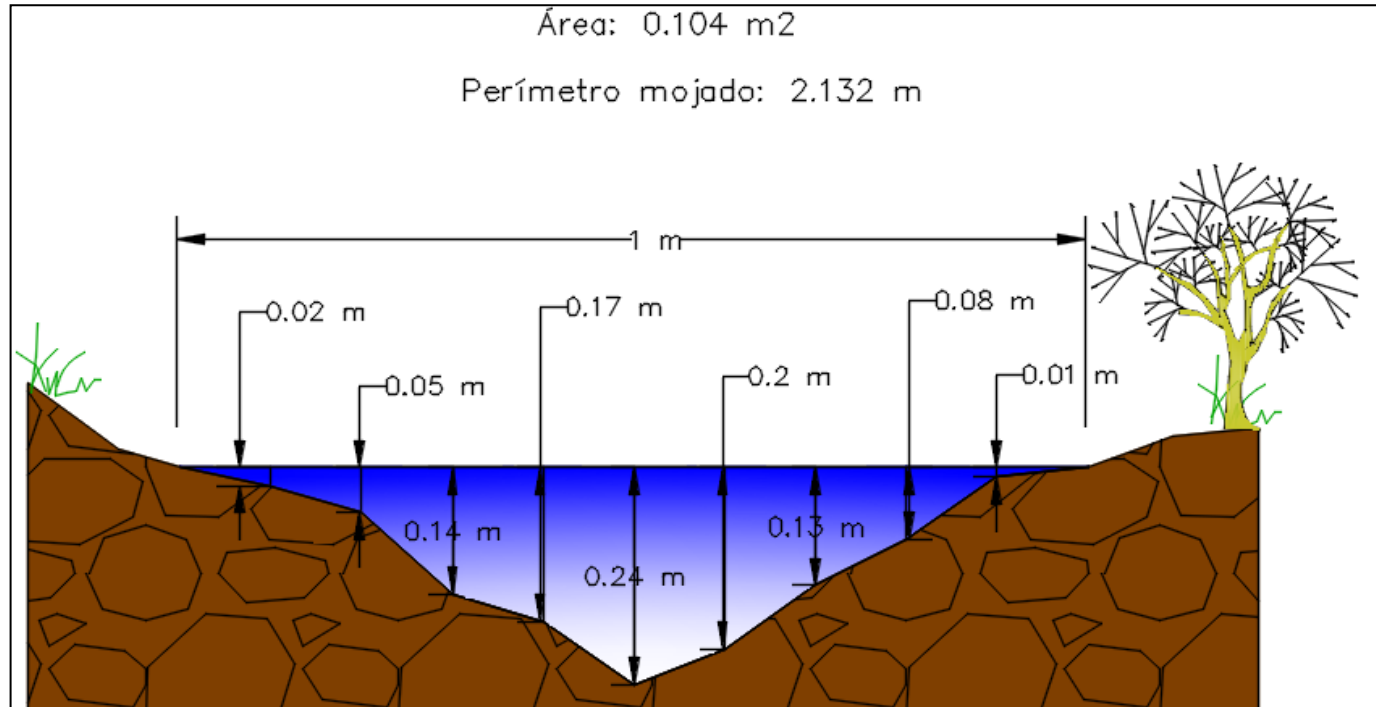
Para un tramo de 8 metros se realizó el recorrido del flotador obteniendo los siguientes datos (Tabla 32).

Tabla 32. Datos Método del Flotador Parte Baja “Tabarlaque”

QUEBRADA TABARLAQUE PARTE BAJA						
Tramo	Recorrido N°	Aguas Arriba (4 m)	Aguas abajo (4 m)	Σ (AA+Aa)	Velocidad AA (m/s)	Velocidad Aa (m/s)
8 metros	1	4,01	3,73	7,74	0,99750623	1,07238606
	2	4,44	3,38	7,82	0,9009009	1,18343195
	3	3,7	3,53	7,23	1,08108108	1,13314448
	4	4,5	3,28	7,78	0,88888889	1,2195122
	5	4,19	3,43	7,62	0,95465394	1,16618076
PROMEDIO		4,168	3,47	7,638	0,96460621	1,15493109

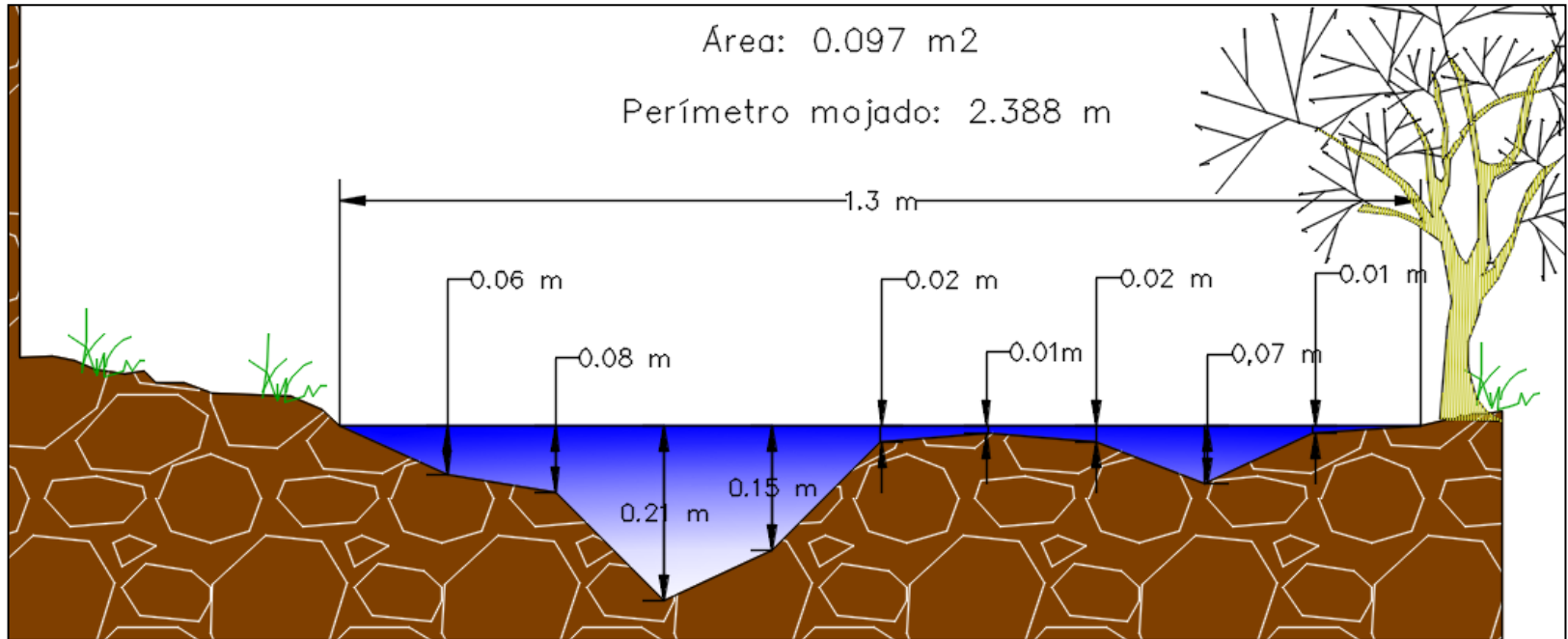
Resultados: a través de una hoja de cálculo de Excel se ingresaron los datos obtenidos y se aplicaron las formulas correspondientes, obteniendo los perfiles registrados en las figuras 27,28 y 29:

Figura 29. Sección Transversal Aguas Arriba. Parte Baja “Tabarlaque”



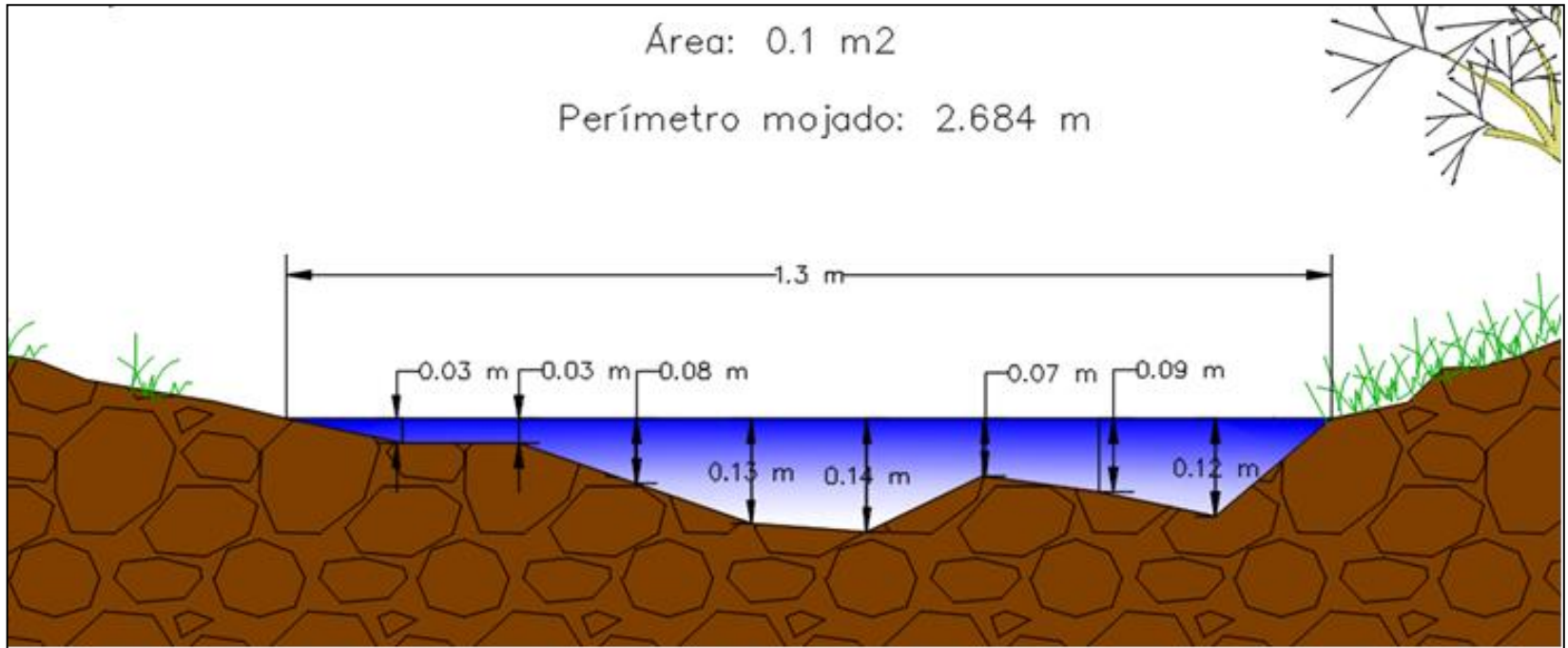
Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	Nº Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,1005	0,965	0,50207093	2,260	2,6	0,04446903	0,03865385	42596,9207	Turbulento	1,56725859	Super Crítico	0,95	0,092096	0,05045813

Figura 30. Sección Transversal Mitad. Parte Baja “Tabarlaque”



La constante K utilizada para la determinación del caudal varía en datos de 1 para corrientes altas y 0,95 para corrientes medias.
La viscosidad del flujo trabajada fue de 1.007×10^{-6} m²/s correspondiente a una temperatura de 20°C
Para la ecuación de Manning se asumió un valor (Normal) de 0.025 de coeficiente de rugosidad. Material “Arcilla consistente muy Coloidal”
(Fuente: Krochin Sviatoslav. “Diseño Hidráulico”, Ed. MIR, Moscú, 1978)

Figura 31. Sección Transversal Aguas abajo. Parte Baja “Tabarlaque”



Área Promedio Secciones Transversales (m ²)	Velocidad (m/s)	Ecuación de Manning Velocidad (m/s)	Perímetro Mojado (Promedio de las Secciones) (m)	Ancho Promedio Secciones Transversales (m)	Radio Hidráulico A/P (m)	Profundidad Hidráulica A/T (m)	# Reynolds	Tipo de Flujo (Reynolds)	Nº Froude	Tipo de Flujo (Froude)	K	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) Manning m ³ /s
0,0985	1,155	0,35471394	3,730	1,3	0,02640751	0,07576923	30286,8426	Turbulento	1,34028326	Super Crítico	0,95	0,108073	0,03493932

Quebrada Las Balsas

Imagen 40. Afloramiento quebrada Las Balsas



En la imagen anterior (Imagen 40) se observa la ausencia de flujo en el afloramiento de la quebrada Las Balsas, a pesar de la época de invierno.

Imagen 41. Parte media Microcuenca Las Balsas



Para la Parte Media (imagen 42) también se evidencia ausencia de caudal tan sólo se observa cantidad de plantas de porte bajo a lo largo del cauce.

Imagen 42. Desembocadura quebrada Las Balsas-Río Chicamocha



En la imagen anterior (Imagen 42) se aprecia la falta de flujo al llegar al río Chicamocha, como se evidenció en la Parte Alta y la Parte Media de esta quebrada conocida como Las Balsas.

El resultado del proceso de toma y registro de caudal para las redes principales de las Microcuencas se presenta en la siguiente tabla (Ver tabla 33).

Tabla 33. Caudales promedio de las Microcuencas de San José de Miranda. Mes de Noviembre de 2016

CAUDAL CON COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING			
MICROCUENCA	PARTE ALTA (Lit/s)	PARTE MEDIA (Lit/s)	PARTE BAJA (Lit/s)
La Malagueña	No registra	198.8	190.3
Chituli	0.783*	2.492*	152.6*
Los Cojos	0.0198*	86.9	193.6
Popagá	No registra	No registra	0.523*
Sagamal	0.583*	74.75	280.8
Salado Bravo	0.4739*	86.9	14*
Tabarlaque	No registra	47.8	42.6
Las Balsas	No registra	No registra	No registra
CAUDAL SIN RUGOSIDAD			
MICROCUENCA	PARTE ALTA (Lit/s)	PARTE MEDIA (Lit/s)	PARTE BAJA (Lit/s)
La Malagueña	No registra	133.2	219.6
Chituli	0.783*	2.492*	152.6*
Los Cojos	0.0198*	158.2	534.1
Popagá	No registra	No registra	0.523*
Sagamal	0.583*	143.8	248.7
Salado Bravo	0.4739*	152.5	14*
Tabarlaque	No registra	111.3	100
Las Balsas	No registra	No registra	No registra

* Aforo Volumétrico

6.1.4 Sistematización de la Información: para los sistemas de análisis espacial anteriormente mencionado, se desarrollaron algunos procedimientos que permitieron la transformación entre conjuntos de datos geográficos mediante rutinas de software (versión trial) ordenadores y equipos enunciados a continuación en las tablas 34, 35 y 36.

Tabla 34. Software utilizado por el componente SIG

SOFTWARE	UTILIDAD
ArcGIS V. 10.1. y 10.2	Visualizador geográfico, análisis espacial, procesador y digitalizador raster y Vectorial
Global Mapper V.16	Visualizador geográfico, análisis espacial, procesador raster y Vectorial
TCX Converter V. 2.02.32.	Calculador geográfico, paquete estadístico
Win GDB	Procesador geográfico
Google Earth Pro	Visualizador geográfico y procesador vectorial
Autocad Civil 3d. V.2015.	Procesador geográfico y vectorial
Map Source	Visualizador geográfico
Base camp.	Visualizador geográfico
SAS planet. V. 15.	Servidor On Line de cartografía con enlaces a diferentes satélites

Tabla 35. Ordenadores y Procesadores utilizados para la elaboración de la cartografía

ORDENADOR	TIPO -ROCESADOR	RAM	HD
Acer - Aspire	PC - CORE i5	6 GB	500 GB
ASUS	PC - CORE i7	8 GB	1 TB

Tabla 36. Hardware para trabajo en campo

EQUIPO	UTILIDAD
Celular con sistema operativo Android	Ubicación espacial y toma de fotografías
Cámara	Toma de fotografías
Binoculares	Ampliación de visión
GPS navegador Garmin	Determinación de coordenadas de sitios de interés, realizar itinerario de trabajo de campo, rutas, accesos y trayectos.

Toma de Coordenadas mediante Hardware GPS Garmin: durante las salidas de campo, con el fin de realizar la respectiva geo- referenciación de áreas y puntos de interés, se utilizara un GPS Garmin, el cual dentro de su sistema operativo abarca un error para un intervalo de más o menos dos metros (+,- 2 m) a más o menos quince metros (+,- 15m); durante este proceso se tomaron puntos GPS, así como trayectos y rutas con Datum 186 WGS 84 en Coordenadas Geográficas, y coordenadas Magna- Sirgas.

Descarga de Datos: este procedimiento se llevó a cabo mediante la utilización varios Software de descarga directa para GPS Garmin tales como MapSource y BaseCamp, basados en la cuadrícula propiamente definida por el usuario, a fin de coincidir el origen de longitud con el origen de longitud trabajado, así:

La transformación de coordenadas geográficas con entrada Datum 186 WGS 1984 a planas, se configuraron en base al Agustín Codazzi (IGAC) según los requerimientos del sistema de coordenadas proyectado a MAGNA-SIRGAS (Magna Colombia Bogotá) (Tabla 37)

Tabla 37. Coordenadas utilizadas para el procesamiento de datos espaciales

Datum mapa WGS 84		
MAGNA SIRGAS		
ITEM	0° Bogotá Central	3° W
Datum Mapa	WGS 84	WGS 84
Falso Norte	491767,53	491767,53
Falso Este	1000000	1000000
Origen de Longitud	74°04.6504	74°04.6504
	74,07750667	75,07750667

Fuente: Geo referenciación de proyectos de Ingeniería. SENA. 2012.

6.1.5 Componente Hidrográfico (Parámetros Morfométricos de las Microcuencas)

Modelo de Elevación Digital DEM 12,5 m de Resolución “RECTIFICADO”: (INEGI, 2016) Un Modelo Digital de Elevación (DEM) es una representación

visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados. En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos y para el caso de los que son generados con tecnología LIDAR se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud (valores sub métricos).²⁴

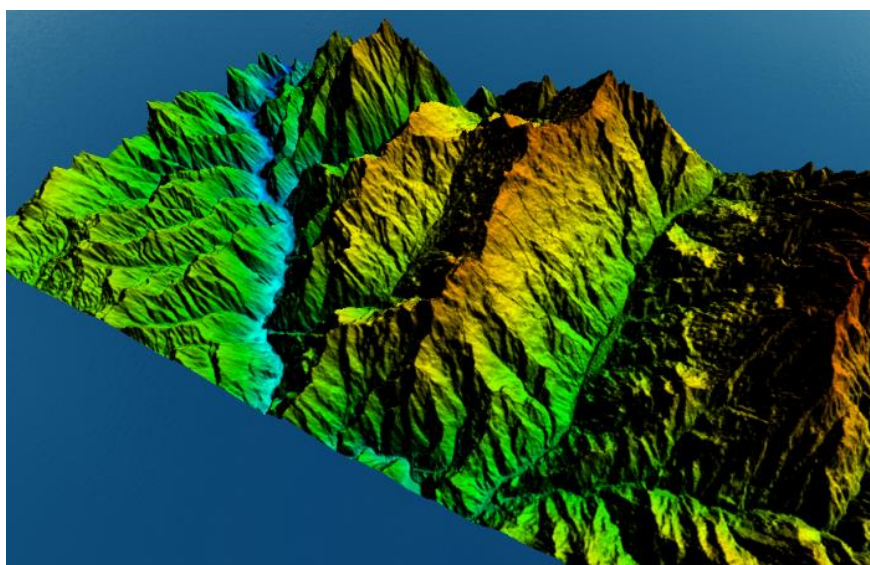
(Gastón Díaz & José Daniel, 2010) Existen varios sistemas de teledetección espacial que permiten obtener MDE de alta resolución, entre ellos se destaca el sensor PRISM (del inglés Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping) a bordo de la plataforma satelital ALOS (del Autores: Gastón Díaz, Diego Mohr-bell y José Daniel Lencinas Laboratorio de Geomática, Área de Planificación Territorial - CIEFAP Modelo Digital de Elevación de un área montañosa. 6 | PATAGONIA FORESTAL - DICIEMBRE 2010 inglés Advanced Land Observing Satellite, que fue diseñado para obtener MDE de diez metros de resolución espacial y RMS menor a cinco metros (JAXA 2007). Se trata de un sensor óptico pancromático de VHR con la capacidad de adquirir datos estereoscópicos simultáneamente a lo largo de su órbita, permitiendo generar MDE a través de extracción automática mediante un software específico. ALOS ofrece una alternativa eficiente para generar Modelos Digitales de Elevación de mayor resolución espacial que los disponibles, sin costo, a través de Internet. A partir de datos del sensor ALOS-PRISM, el software Geomática PCI con el módulo Ortho Engine ALOS permite extraer MDE de diez metros de resolución espacial. Los mejores resultados se obtienen combinando los tres pares

²⁴ INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. Modelos digitales de elevación (MDE) – descripción. [En línea] Aguascalientes (Mexico): INEGI, 2016.p.1. [Citado en noviembre 2016] Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>

estereoscópicos que ofrece el sensor (nadir-atrás, nadir-frente y atrás-frente) mediante la opción denominada Highest Score.²⁵

El proceso de descarga del Modelo Digital de Elevación (DEM) con su respectiva corrección y aportando una resolución de 12,5 metros, se llevó a cabo de manera gratuita posterior a un registro dentro de la página oficial de la NASA mediante el portal USGS, permitiendo el acceso a la variedad de imágenes presentadas por sus enlaces satelitales (Ver imagen. 43)

Imagen 43. Vista en 3D del Modelo Digital de Elevación (DEM) manipulado en este estudio



Divisoria de aguas: (LONDOÑO ARANGO, 2001) el Estado Colombiano, en el artículo 2do del decreto número 2857 de 1981 emanado del Ministerio de Agricultura, establece que "una cuenca hidrográfica se delimita por la línea de divorcio de las aguas. Entendiéndose por línea de divorcio la cota o altura máxima que divide dos cuencas contiguas. Cuando los límites de las aguas subterráneas de una cuenca no coincidan con la línea superficial de divorcio, sus límites se extenderán subterráneamente hasta incluir la de los acuíferos que confluyen hacia la cuenca deslindada por las aguas

²⁵ GASTÓN DÍAZ, Diego Mohr-bell; LENCINAS, José Daniel. Modelos digitales de elevación de alta resolución. En: Patagonia Forestal. Diciembre, 2010, vol. 1 no.1. p. 5-8.

superficiales"²⁶.(Martínez, 2007) El cálculo de la divisoria de una cuenca hidrográfica mediante GIS puede realizarse a partir de dos metodologías, la primera sería a partir de ficheros vectoriales con información topográfica (curvas de nivel) de forma que el trazado se realizaría de forma manual, con las ventajas de incorporar ya al GIS la cuenca hidrográfica, y el área y perímetro de la misma. Esta forma de trabajar es muy básica y no será desarrollada en esta clase. La segunda metodología es a partir de un modelo digital del terreno (MDT) generado a partir de curvas de nivel y en formato raster²⁷Por lo tanto, deberemos proceder en un primer análisis de nuestro MDT a detectar nuestras depresiones, analizar su magnitud e importancia y proceder en caso necesario a la corrección del MDT, para lograr una conexión adecuada de cada celda las contiguas. Esta operación en ArcGIS se conoce como Fill (o relleno del MDT).

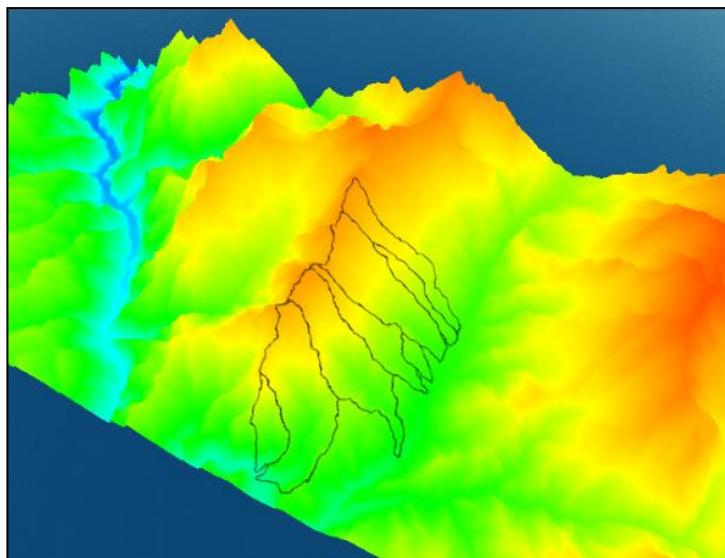
Una vez dispuesto de un MDT convenientemente corregido, el siguiente paso es la determinación de la cuenca asociada a cada punto de cierre, para lo cual se deberán determinar los siguientes elementos:

En la siguiente imagen (Imagen 44) se aprecia la definición posterior al proceso de digitalización de cada uno de los parte aguas correspondientes a las ocho principales Microcuencas del municipio.

²⁶ LONDOÑO ARANGO, Carlos Hernando. Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales – caracterización-planificación-administración.[En línea] Ibagué (Colombia): Universidad del Tolima, 2001.p.64. [Citado en noviembre 2016] Disponible en: http://www.ut.edu.co/academi/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/LIBROS/cuencas%20hidrograficas%20bases%20conceptuales%20%20caracterizacion%20%20planificacion%20yorganizacion%20-%20CARLOS%20LONDOO.pdf

²⁷ SÁNCHEZ MARTÍNEZ, Francisco Javier. Trazado de la divisoria de una cuenca hidrográfica mediante sistemas de información geográfica [En línea] Madrid: OIE Escuela deNegocios,2007 .p.3. [Citado en noviembre 2016]. Disponible: <https://www.eoi.es/es/file/18488/download?token=bBysqsNg>

Imagen 44. Digitalización de la divisoria de aguas por medio del relieve aportado por el DEM



Morfometría actualizada de las Microcuencas: según (Gaspari, 2012) El análisis morfo métrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo.²⁸

Los parámetros analizados dentro del proceso morfo métrico para el total de Microcuencas se encuentran distribuidos en las tablas 32 y 34 con ayuda de la transformación y manipulación de los mapas que se presentan a continuación:

(La salida cartográfica está dada para un formato de impresión con dimensiones de 49 x 35 cm, pero fueron adecuados de tal forma que correspondieran al entorno de esta plantilla y a escalas definidas). En la serie de imágenes de la 46 a 53 se identifica la clasificación de pendientes realizada para cada una de las Microcuencas trabajadas.

²⁸ GASPARI, Fernanda J., et al. Caracterización Morfometrica de la cuenca Alta del rio Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. En: Asociación de Universidades Grupo Montevideo, Marzo – Diciembre, 2012, vol. 4 no.1. p.144. ISSN:1852-2181

Figura 32. Mapa de Pendiente Microcuenca La Malagueña

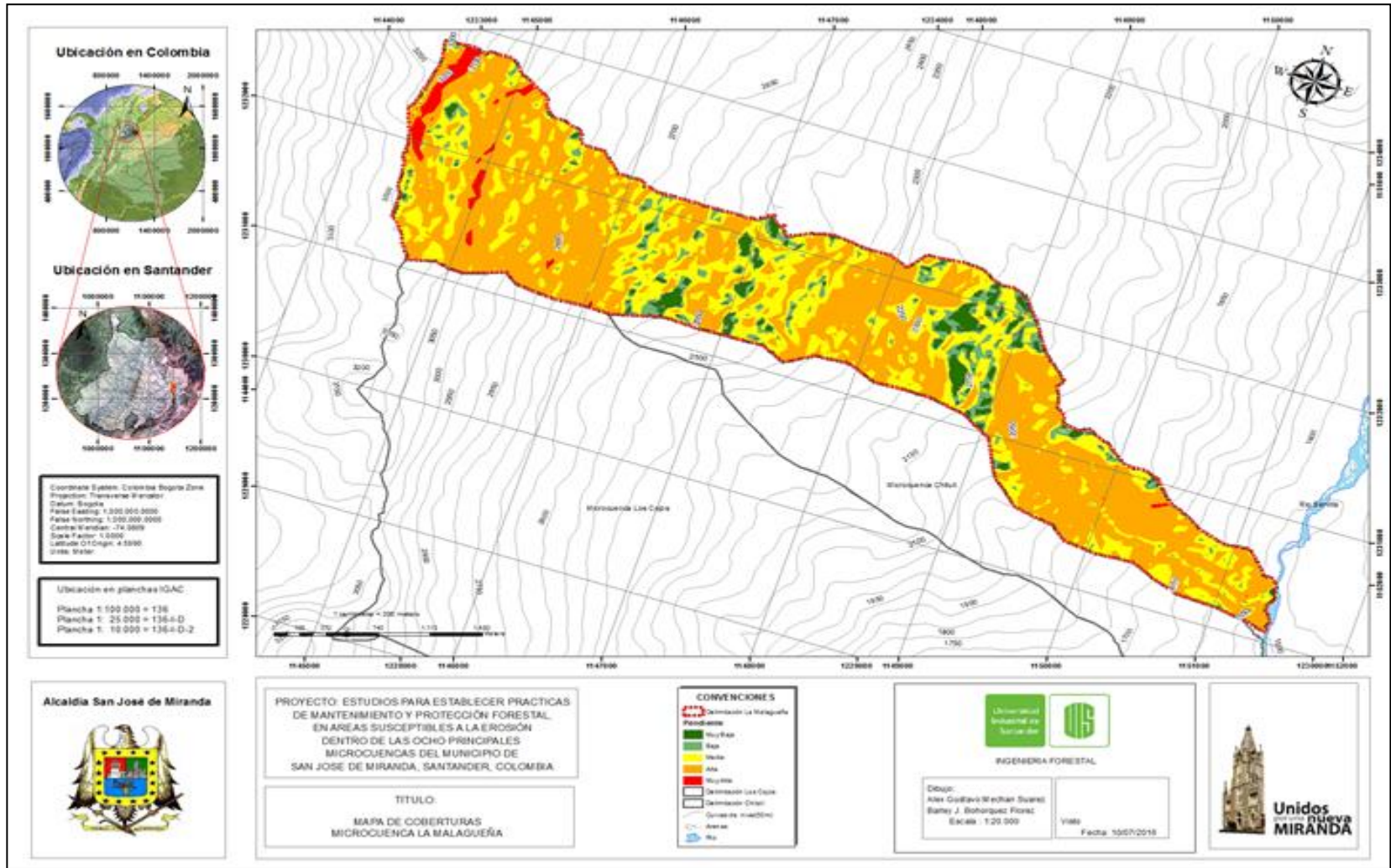
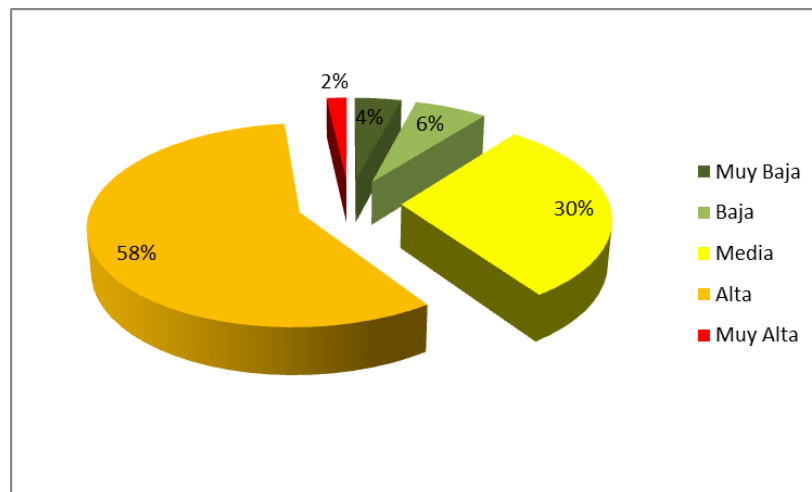


Tabla 38. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca La Malagueña.

RANGO DE PENDIENTE (%)	CATEGORÍA	AREA (%)
0-7	Muy Baja	4.13
7 - 12	Baja	6.5
12 - 25	Media	29.76
25 - 75	Alta	57.81
> 75	Muy Alta	1.78

En la tabla anterior (Tabla 38) se muestra para la Microcuenca La Malagueña sus respectivos rangos de Pendiente, categorías y área en porcentaje, observándose la predominancia de la categoría “Alta” con 57.81 %, seguida de la categoría “Media” con 29.76 %; evidenciando que es una Microcuenca bastante escarpada, mientras que la categoría “Muy Alta” es de 1.78 % lo que indica una erosión hídrica pequeña pero que requiere de atención.

Grafica 1. Rangos de la Pendiente en porcentaje. Microcuenca La Malagueña.



La Grafica anterior (Grafica 1) muestra con mayor claridad todas categorías desde la de menor hasta la de mayor porcentaje de Pendiente, mostrando el mayor porcentaje para la categoría “Alta” (58 %) y el menor para la categoría “Muy alta” (2 %).

Figura 33. Mapa de Pendiente Microcuenca Chituli

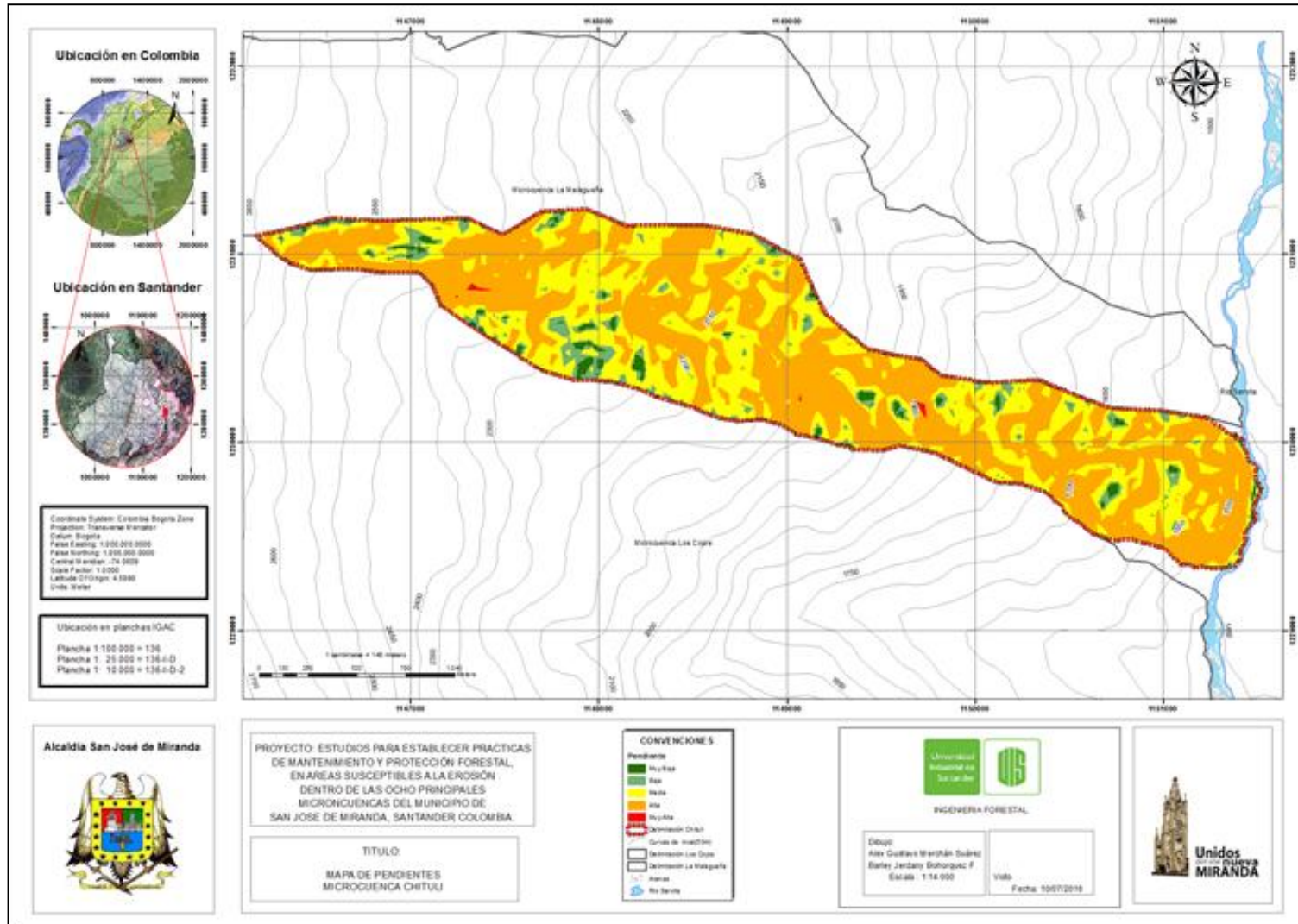
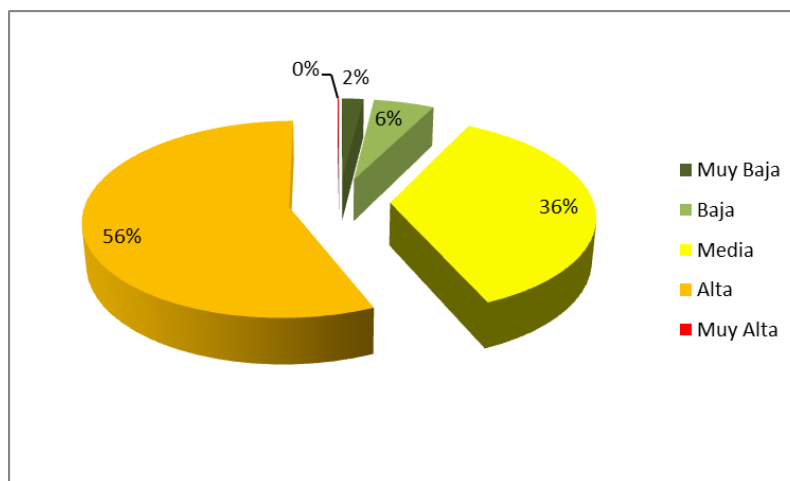


Tabla 39. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Chituli.

RANGO DE PENDIENTE (%)	CATEGORÍA	AREA (%)
0-7	Muy Baja	1.97
7 - 12	Baja	5.56
12 - 25	Media	36.01
25 - 75	Alta	56.31
> 75	Muy Alta	0.13

En cuanto al potencial erosivo, la tabla 39 evidencia que la categoría “Alta” representa la mayor área con 56.31 %, lo que sugiere que más de la mitad de la Microcuenca Chituli es escarpada y un bajo porcentaje de 0.13 % corresponde a la categoría “Muy Alta” indicando un pequeño riesgo de erosión.

Grafica 2. Rangos de la Pendiente en porcentaje. Microcuenca Chituli



El gráfico 2 muestra el mayor porcentaje de pendiente para la categoría “Alta” con 56 %, luego le sigue la categoría “Media” con 36 %, indicando que en aproximadamente un 92 % el área de Microcuenca Chituli tiene un rango de Pendiente entre el 12 y 75 %.

El área de la Microcuenca Los Cojos es una de las más grandes y presenta un gran potencial erosivo ya que presenta para la categoría “Alta” 74.04 % y para la “Muy Alta” 3.27 %, indicando el alto riesgo de erosión en esta (Tabla 40)

Tabla 40. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Los Cojos.

RANGO DE PENDIENTE (%)	CATEGORÍA	AREA (%)
0-7	Muy Baja	0.99
7 - 12	Baja	2.75
12 - 25	Media	18.92
25 - 75	Alta	74.04
> 75	Muy Alta	3.27

Al igual que las anteriores Microcuencas se evidencia que las categorías “Alta” y “Media” con 74 % y 19 % respectivamente, predominan mientras que la categoría “Muy Alta” presenta un 3 % lo que indica un alto riesgo erosivo para la Microcuenca Los Cojos (Ver Grafica 3).

Grafica 3. Rangos de la Pendiente en porcentaje Microcuenca Los Cojos.

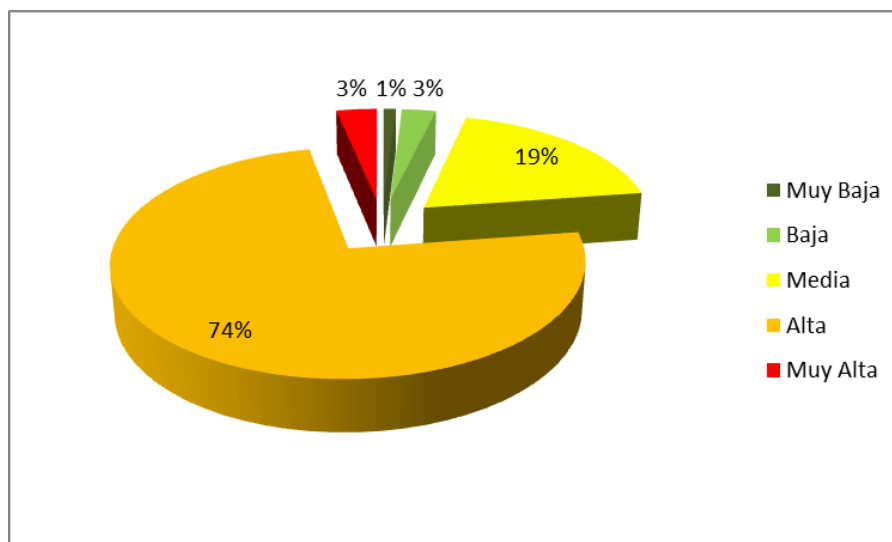


Figura 35. Mapa de Pendiente. Microcuenca Popagá

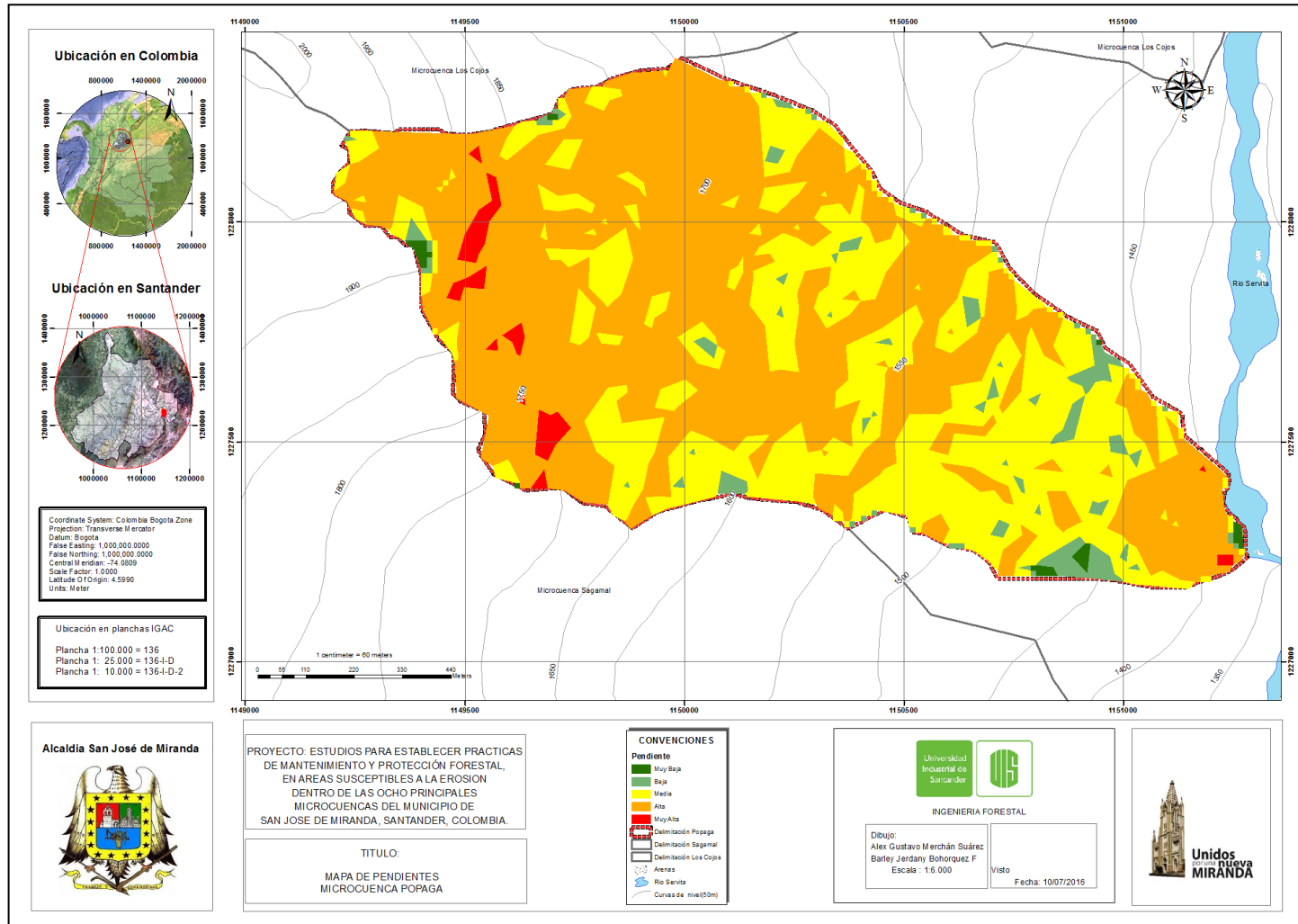


Tabla 41. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Popagá.

RANGO DE PENDIENTE (%)	CATEGORÍA	AREA (%)
0-7	Muy Baja	0.45
7 - 12	Baja	3.08
12 - 25	Media	34.51
25 - 75	Alta	60.46
> 75	Muy Alta	1.48

En la Microcuenca Popagá predomina la categoría “Alta” con 60.46 %, seguida de la categoría “Media” con 34.41 %, evidenciando al igual que las anteriores Microcuencas la misma tendencia, mientras que para la categoría “Muy Alta” se presenta con 1.48 %, lo que es un potencial erosivo considerable con respecto al área de esta Microcuenca (Tabla 41)

En el grafico circular de porcentaje (Grafica 4) de Pendiente Popagá es la segunda Microcuenca con menor área y las categorías “Alta” y “Media” con 60 % y 35 % respectivamente predominan, mientras que para la categoría “Muy Alta” la cual nos interesa para el potencial erosivo presenta un 2 %.

Grafica 4. Rangos de la Pendiente en porcentaje Microcuenca Popagá.

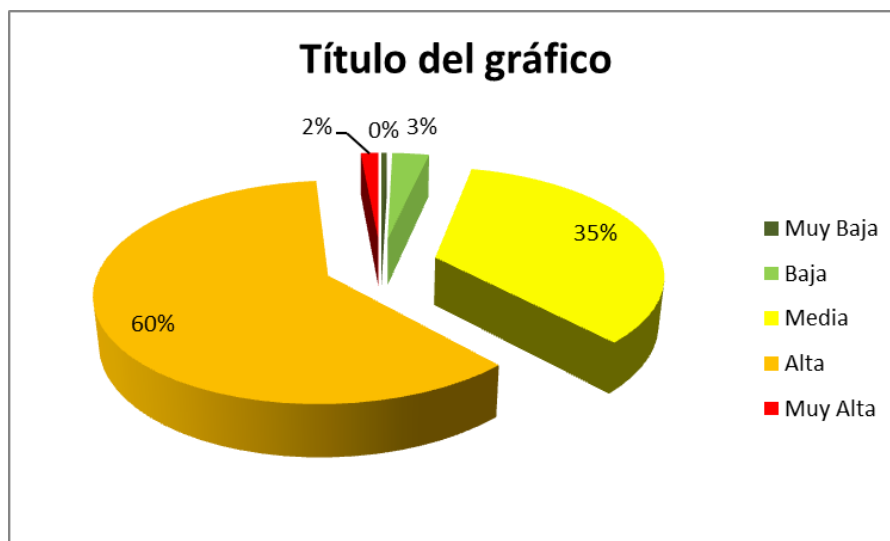


Figura 36. Mapa de Pendiente Microcuenca Sagamal

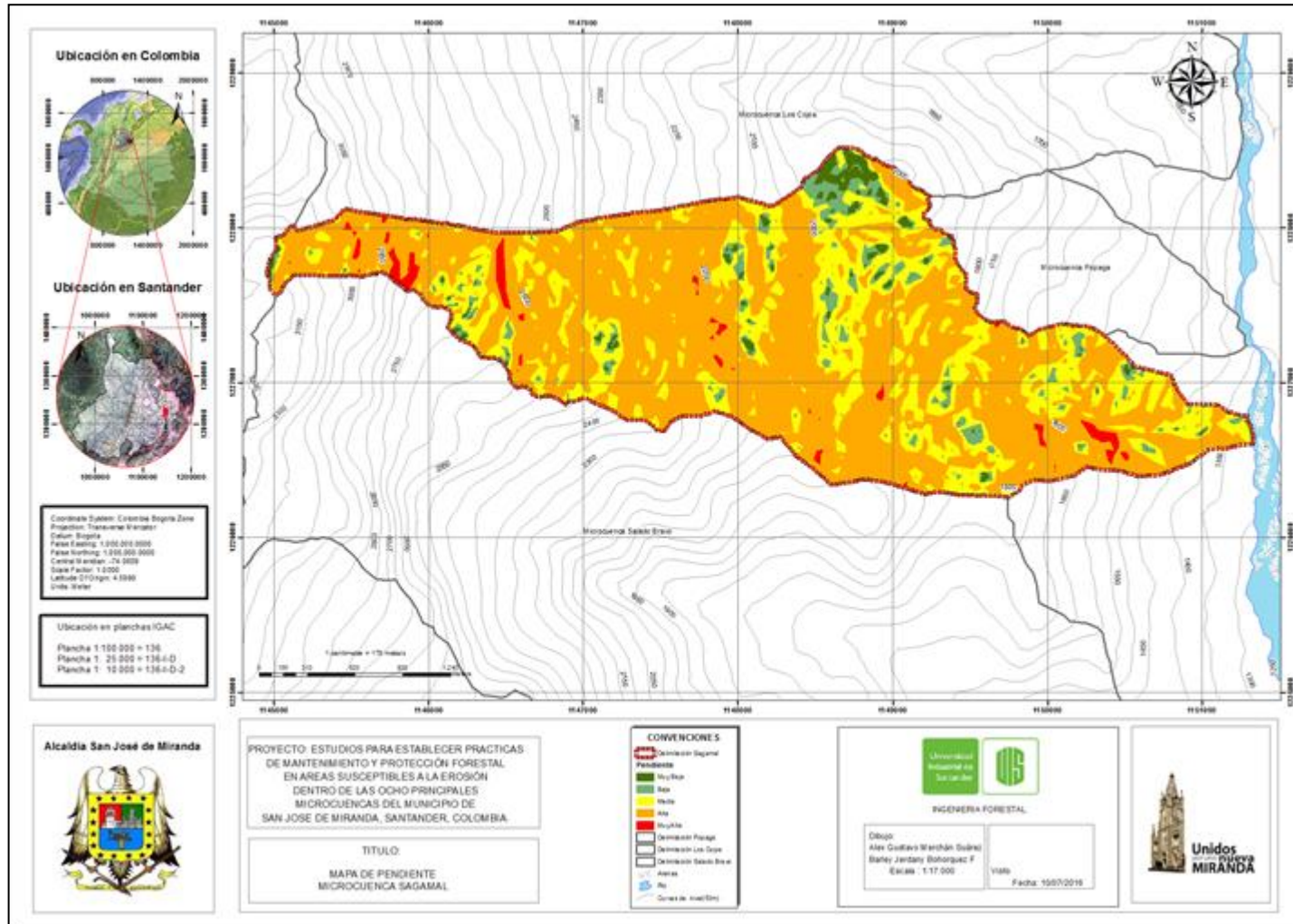


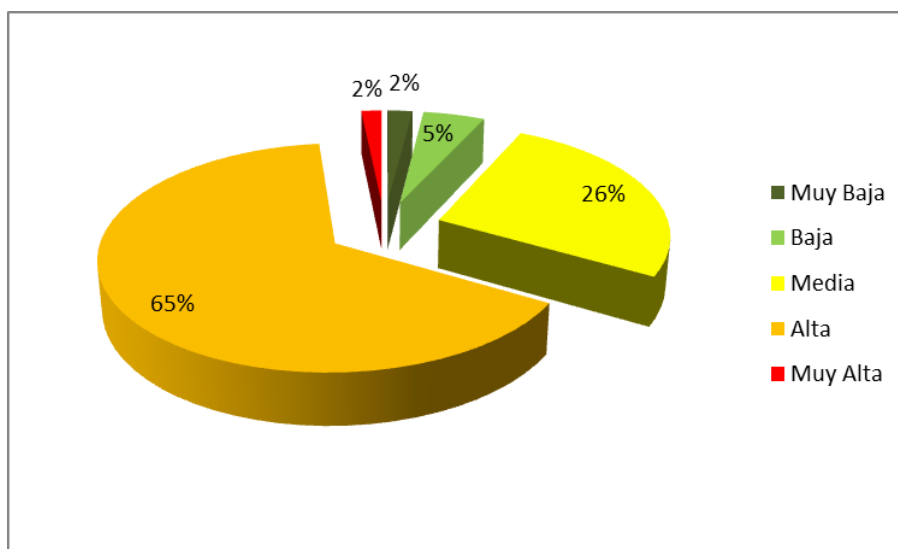
Tabla 42. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Sagamal.

RANGO DE PENDIENTE (%)	CATEGORÍA	AREA (%)
0-7	Muy Baja	2.01
7 - 12	Baja	4.97
12 - 25	Media	26.29
25 - 75	Alta	65.08
> 75	Muy Alta	1.63

En la tabla 42 se observa de nuevo que las categorías “Alta” con 65.08 % y “Media” con 26.29 % son la mayor presencia en la Microcuenca Sagamal, en tanto la categoría que tiene un mayor potencial erosivo “Muy Alta” está presente con 1.63 %.

En la siguiente grafica (Grafica 5) se evidencia con claridad que la categoría más representativa es la “Alta” con 65 %, seguida de la categoría “Media” con 26 %, mientras que las de menor presencia son las denominadas como “Muy Baja” y “Baja” con 2 %.

Grafica 5. Rangos de la Pendiente en porcentaje Microcuenca Sagamal.



En esta Microcuenca sobresale la categoría “Alta” con 71,33 %, luego está la categoría “Media” con 11,54 %, mientras que para la categoría “Muy Alta” la de mayor potencial erosivo arrojó un 11.54 % muy superior con respecto a su área total y también frente a las demás Microcuencas. (Tabla 43)

Tabla 43. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Salado Bravo.

RANGO DE PENDIENTE (%)	CATEGORÍA	AREA (%)
0 - 7	Muy Baja	0.56
7 - 12	Baja	1.85
12 - 25	Media	14.69
25 - 75	Alta	71.33
> 75	Muy Alta	11.54

En la siguiente grafica (Grafica 6) se observa la misma tendencia con respecto a las demás Microcuencas a diferencia de la categoría “Muy Alta” con 11 % lo cual es muy significativo alertando que el riesgo de erosión por Pendiente es mayor.

Grafica 6. Rangos de la Pendiente en porcentaje Microcuenca Salado Bravo.

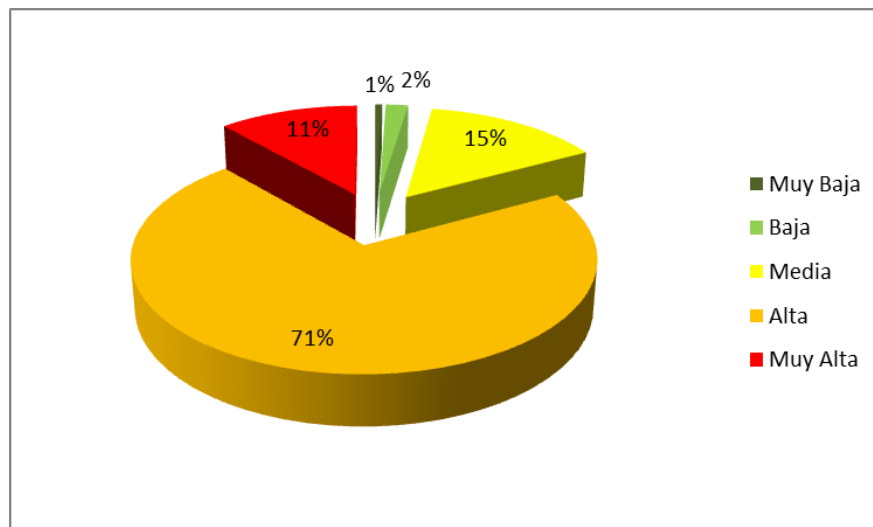
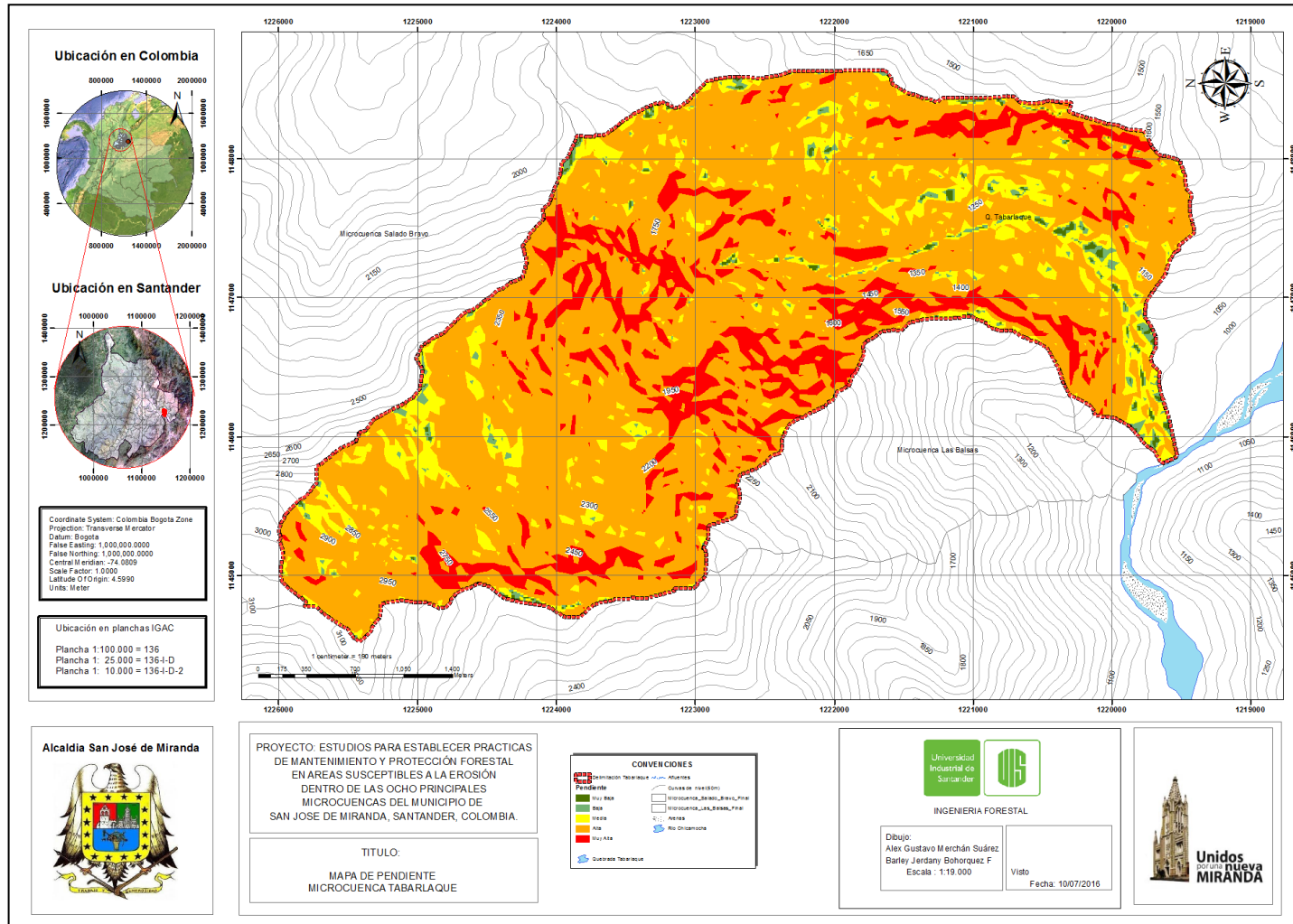


Figura 38. Mapa de Pendiente Microcuenca Tabarlaque



Al igual que la Microcuenca Salado Bravo en Tabarlaque predominan las categorías “Alta” con 73.41 % y “Media” con 10.69 %; de similar manera el potencial erosivo es bastante considerable, ya que la categoría “Muy Alta” presenta un 13.75 % con respecto a su área total (Tabla 44)

Tabla 44. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Tabarlaque.

RANGO DE PENDIENTES	CATEGORÍA	AREA (%)
0-7	Muy Baja	0.63
7 - 12	Baja	1.49
12 - 25	Media	10.69
25 - 75	Alta	73.41
> 75	Muy Alta	13.75

Es importante destacar que el potencial erosivo es mayor en esta Microcuenca ya que la categoría “Muy Alta” se próxima al 14 % y abarca un área significativa con respecto a su área total (Grafica 7)

Grafica 7. Rangos de la Pendiente en porcentaje Microcuenca Tabarlaque.

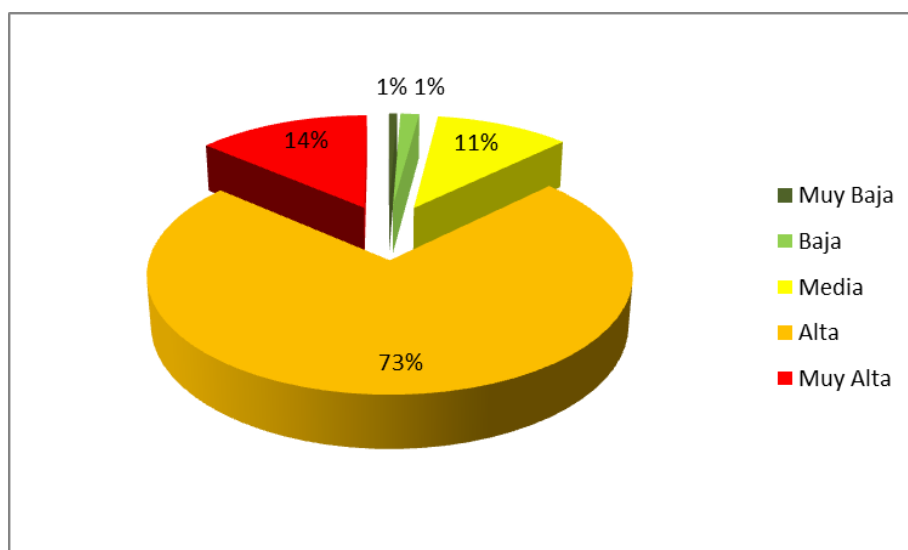
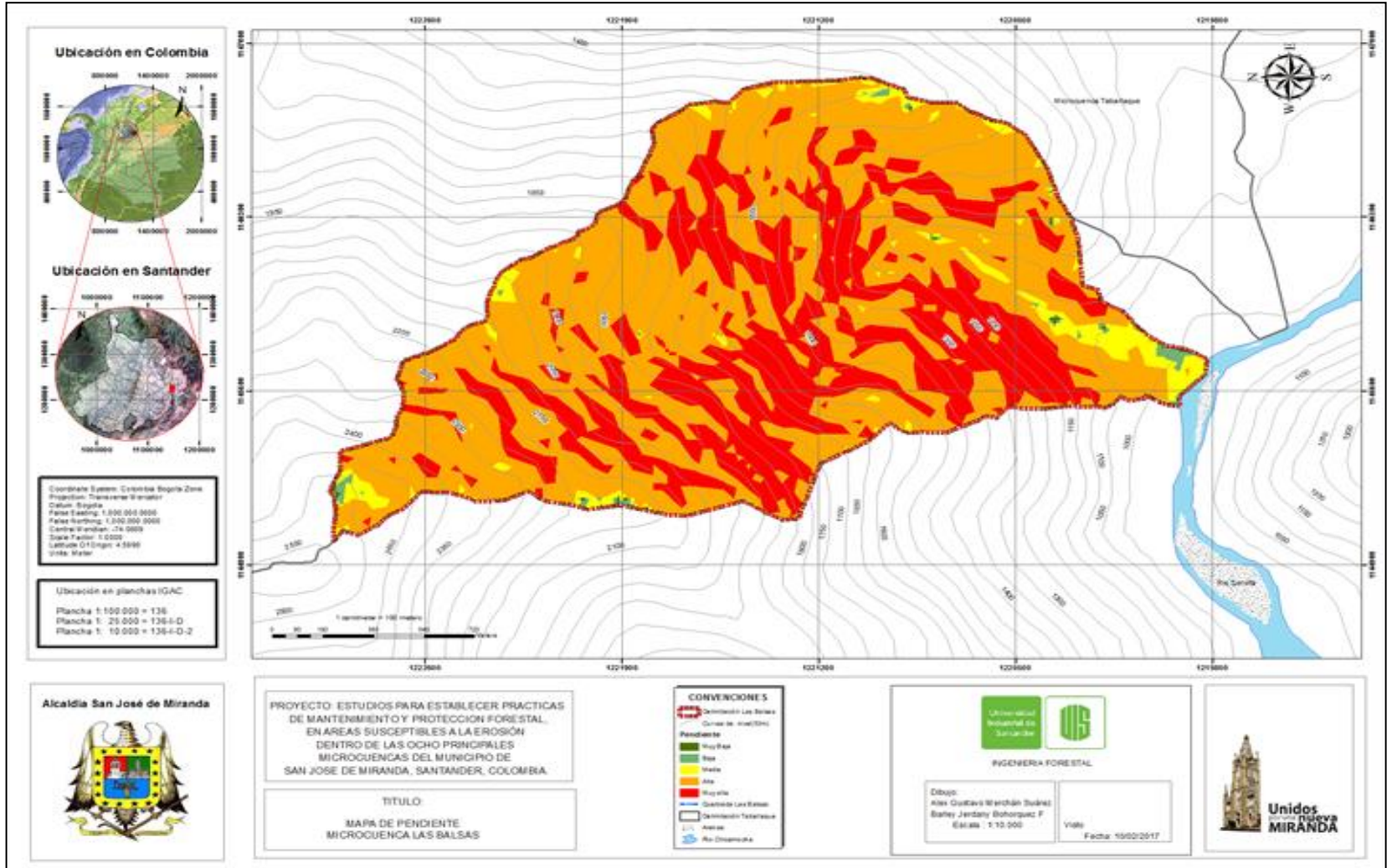


Figura 39. Mapa de la Pendiente Microcuenca Las Balsas

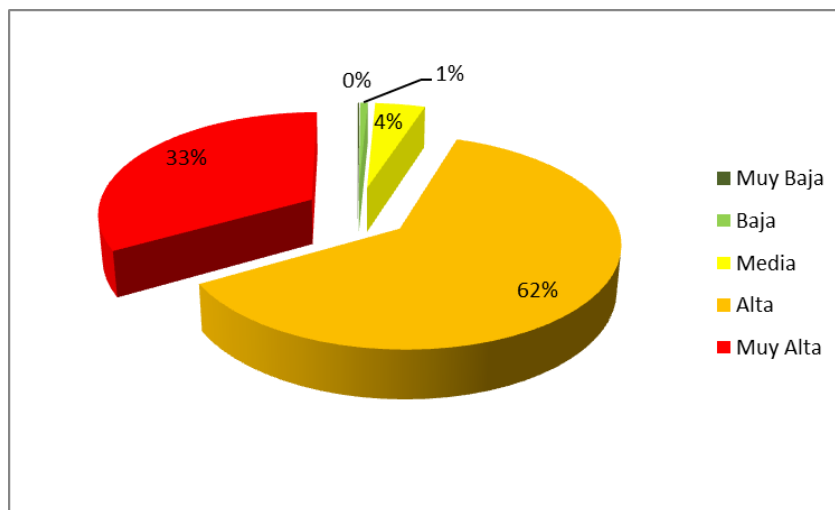


Las Balsas es la más pequeña con 3.19 km cuadrados, en ella predomina la categoría “Alta” con 61.69 %, y a diferencia de las anteriores Microcuencas la segunda categoría es “Muy Alta”, con 33.18 %; ya en tercer lugar se ubica la categoría “Media” con 4.33 %; mientras que las categorías “Baja” con 0.65 % y “Muy Baja” con un 0.12 % son las de menor área (Tabla 45).

Tabla 45. Clasificación y Categoría de la Pendiente Microcuenca Las Balsas.

RANGO DE PENDIENTE (%)	CATEGORÍA	AREA (%)
0 - 7	Muy Baja	0.12
7 - 12	Baja	0.65
12 - 25	Media	4.33
25 - 75	Alta	61.69
> 75	Muy Alta	33.18

Grafica 8. Rangos de la Pendiente en porcentaje. Microcuenca Las Balsas.



En la gráfica anterior (Grafica 8) se observa que el riesgo de erosión por Pendiente en Las Balsas es muy superior comparado con las demás Microcuencas, lo que indica que en proporción con su área total, un tercio de está tiene un potencial erosivo alarmante y de suma precaución.

Tabla 46. Morfometría de las ocho principales Microcuencas del Municipio de San José de Miranda.

Parámetro	Q. Tabarlaque	Q. Seca o Malagueña	Q. Chituli	Q. Los Cojos	Q. Popagá	Q. Sagamal	Q. Las Balsas	Q. Salado Bravo
Área (km ²)	14.21	7.08	3.34	13.43	1.41	6.72	3.19	12.48
Perímetro (km)	20.25	18.10	12.26	18.14	5.57	15.58	8.67	20.30
Longitud axial (km)	6.41	7.40	5.49	7.01	2.22	6.49	3.10	7.68
Ancho promedio (km)	2.21	0.96	0.61	1.91	0.63	1.04	1.03	1.63
Longitud del cauce principal (km)	8.82	7.50	4.49	2.49	1.71	5.48	3.21	7.07
Longitud de drenajes (km)	19.83	12.55	5.40	17.19	1.71	12.44	4.46	17.84
Densidad de drenajes (km)	1.40	1.77	1.62	1.28	1.22	1.85	1.40	1.43
Factor de forma	0.35	0.13	0.11	0.27	0.29	0.16	0.33	0.21
Cota superior (Cauce principal m.s.n.m.)	2996	2849	2375	2190	1763	2572	2204	2796
Cota inferior (Cauce principal m.s.n.m.)	981	1529	1465	1432	1362	1339	977	1198
Pendiente media del cauce (%)	22.84	17.60	20.28	30.41	23.41	22.52	38.27	22.59
Coefficiente compacidad	1.52	1.92	1.89	1.40	1.32	1.70	1.37	1.62

Tabla 47. Forma y Pendiente media de las ocho principales Microcuencas del Municipio de San José de Miranda.

MICROCUENCA	Forma	Pendiente media (%)
Sub Cuenca del Río Servita		
Malagueña	Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	29.498
Chituli	Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	27.969
Los Cojos	Oval Redonda a Oval Oblonga	38.022
Popagá	Oval Redonda a Oval Oblonga	31.884
Sagamal	Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	32.509
Salado bravo	Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	46.940
Sub Cuenca Río Chicamocha		
Tabarlaque	Oval Oblonga a Rectangular Oblonga	49.634
Las Balsas	Oval Redonda a Oval Oblonga	64.550

6.1.6 Descarga de imágenes raster (10 y 30 m de resolución espacial): (ESCUADERO, CASALS, & FERNÁNDEZ, 2006) El formato de compresión ECW, utilizado por Image Web Server, está basado en la tecnología de compresión wavelet. A diferencia de otros formatos de compresión, ECW está optimizado para la transmisión de información a través de redes, de ahí su eficacia. Los ficheros ECW tienen una estructura que emula una pirámide en la que cada capa contiene los datos que, añadidos a los de la capa anterior, producen una visualización a una resolución mayor que la anterior; es decir, la información de cada capa es aditiva con respecto a las capas anteriores. Así, Image Web Server envía en cada momento solo la información de las capas necesarias para obtener la resolución deseada y solamente la que afecta a la zona que se está visualizando. La imagen comprimida con el formato ECW mantiene su geo referencia, lo que permite que el usuario, dependiendo de su área de interés, solamente reciba en su monitor en cada solicitud la información comprimida adecuada al área y a la resolución con la que está trabajando. Esto es lo que se entiende por descompresión selectiva. Por ello, el usuario no tiene que descargar toda la imagen, con lo que esto supone de disminución de requerimientos del PC cliente y de aumento en la rapidez de respuesta de visualización de la imagen. Como ejemplo de la rapidez mencionada, baste señalar que en un PC con 64 MB de RAM se puede trabajar eficientemente con imágenes de varios GB de tamaño original.²⁹

Descarga de imagen satelital del Municipio: seis satélites Sentinel de Copérnico recogen imágenes completas del planeta tierra y hasta hace muy poco, estas imágenes se encuentran disponibles para el público sin costo alguno, esto facilito el trabajo de digitalización de coberturas ya que con su alta resolución aportada por una cámara multi espectral, con 13 bandas de trabajo, aportan una nueva perspectiva de la superficie terrestre y la vegetación para todo el mundo.

²⁹ ESCUDERO, R.; SANCHEZ, B.; FERNANDEZ CASALS, J. Image web, un sistema eficaz para trabajar con imágenes en red: las aplicaciones de catálogo de imágenes “on line” de tragsatec. En: Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global, 2001, vol.3 no. 1. p. 639-645.

(ESA, 2016) Sentinel-2A es el resultado de una colaboración estrecha entre la ESA, la Comisión Europea, la industria, los proveedores de servicios y los usuarios de datos. Ha sido diseñado y construido por un consorcio de 60 compañías liderado por Airbus Defense and Space, con el apoyo de la agencia espacial francesa CNES para optimizar la calidad de las imágenes, y del Centro Aeroespacial Alemán DLR para mejorar la recuperación de datos mediante comunicaciones ópticas. Con su cámara multi espectral y su amplia cobertura, la misión Sentinel-2 ofrece no solo continuidad sino que amplía la capacidad de las misiones Spot, francesa y Landsat, estadounidense.³⁰

Imagen 45. Recorte de imagen Sentinel-2A para el área de estudio



³⁰ AGENCIA ESPACIAL EUROPEA [sitio web] Paris (Francia): ESA [Citado 28 de febrero de 2017]
Disponible en: http://www.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/SENTINEL_2

El recorte de la imagen (Imagen 45) Sentinel se realizó con el fin de obtener una mejor manipulación para área de estudio, esto con el fin cargar únicamente las bandas de información pertenecientes al municipio para el mes de Septiembre del año 2016.

6.2 FASE DE PROCESAMIENTO

6.2.1 Procesamiento raster-digitalización de Coberturas para la aplicación del Número de curva (CN) metodología “SCS”: (Segovia & Hang, 1999) El Soil Conservation Service (SCS) desarrolló un método empírico para el cálculo de la transformación de lluvia-escorrentía, que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios estados y para distintas condiciones de humedad antecedente³¹

(Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2013)El método del número de curva utiliza como primer dato de entrada la lluvia de Escorrentía precipitada en la zona, asumiendo por tanto que en una misma cuenca diferentes lluvias provocarán diferentes escorrentías³²

Para la definición de unidades vegetales se seleccionaron ocho (8) patrones de coberturas que se encuadran con la descripción del uso de la tierra de la tabla del Número de Curva (CN) del SCS y que se enlazan de manera directa con la primera y más utilizada aproximación del Factor C planteada por el ICONA en el año 1982.

³¹ SEGOVIA, María A.; HANG, María V. Estimación del Valor del Número de Curva (CN) a Través de Imágenes Satelitales Landsat5-tm. [En línea] Buenos Aires: UNNE, 1999.p.1-4. [Citado en enero de 2017] Disponible en: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/tecnologicas/t-033.pdf>

³²IBÁÑEZ ASENSIO, Sara; MORENO RAMÓN, Héctor, GISBERT BLANQUER, Juan Manuel. Valores del Numero de Curva (Calculo de escorrentia). [En línea]Valencia, España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2013..p.3 [Citado en noviembre de 2016] Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10783/Valores%20del%20n%C2%BA%20de%20curva.pdf>

Arbolado Forestal: definidas como cubiertas permanentes basadas en la consideración de la profundidad y el grado de consolidación del dosel y de su mantillo o humus, de modo que cuanto menor sea el espesor de dichas capas, mejor será la condición hidrológica resultante para la infiltración. A esta clasificación le corresponden cinco clases hidrológicas, de las cuales se definieron dos tipos de patrones, clasificadas como Arbolado Forestal Denso y Arbolado Forestal Claro.

Cultivos Anuales de Secano: la agricultura del municipio se identifica por su falta de irrigación y por ende sus cultivos solo reciben el agua que es aportada por la precipitación, otra característica importante es la cultura de alternancia anual con labores de barbecho donde los terrenos agrícolas no cultivados pueden estar desnudos o tener una cubierta de residuos vegetales que protege el suelo, procedente de cultivos anteriores. Todas estas unidades vegetales fueron definidas como Cultivos Anuales de Secano.

Embalse: cobertura característica de las láminas de agua con un Número de Curva igual 100, es decir, esta unidad vegetal no ofrece resistencia a la energía cinética del agua en precipitación.

Pastizales o Praderas naturales: se clasifican en tres grupos, de donde se identificaron dos para las coberturas de praderas pertenecientes al municipio de San José de Miranda. La primera unidad vegetal pertenece a Pradera en Buenas Condiciones en donde su cubierta vegetal supera el 75% de la superficie del terreno y son ligeramente pastados, y el segundo para las coberturas características de Pradera Sobrepastoreada o pastizales pobres, los cuales son abundantemente pastados, con escasa materia orgánica sobre el terreno o cuando las plantas cubren menos del 50% de la superficie total.

Los demás patrones de coberturas fueron asignados de manera lógica según el uso de la tierra, definidos como Suelo Desnudo y Tejido Urbano

En el siguiente cuadro se presenta la clasificación de coberturas como base para la estimación del número del Número de Curva (CN) a través de imágenes satelitales Landsat 8, y Sentinel y las respectivas visitas de campo.

Tabla 48. Número de Curva y Clasificación de unidades vegetales para las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda

Coberturas	CN
Arbolado Forestal Claro	93.4
Arbolado Forestal Denso	92.2
Cultivos Anuales de Secano	97.800
Embalse	100
Pradera en Buenas Condiciones	94
Pradera Sobrepastoreada	96.4
Suelo Desnudo	82
Tejido Urbano	97.2
CN Ponderado	93.67

Fuente: Adaptado ICONA; Ingeniería de Conservación de Suelos y Agua (1990)

6.2.2 Clasificación Supervisada para los patrones de coberturas: se trabajó con el método de máxima verosimilitud que consiste en un (CHUVIEGO, 1990, citado por Segovia y Hang, 1999) cálculo donde se le asigna a cada pixel de la imagen una clase que presenta mayor probabilidad de pertenencia.

Este criterio, es el más empleado por ajustarse con más rigor a la disposición original de los datos. La determinación de las coberturas por medio de este método se realizó para los patrones de Arbolados, Praderas y Suelo Desnudo, para las demás unidades se llevó a cabo un proceso de digitalización manual identificando así aspectos de Cultivos, Caminos, Carreteras, Vías, Viviendas y Tejidos Urbanos.

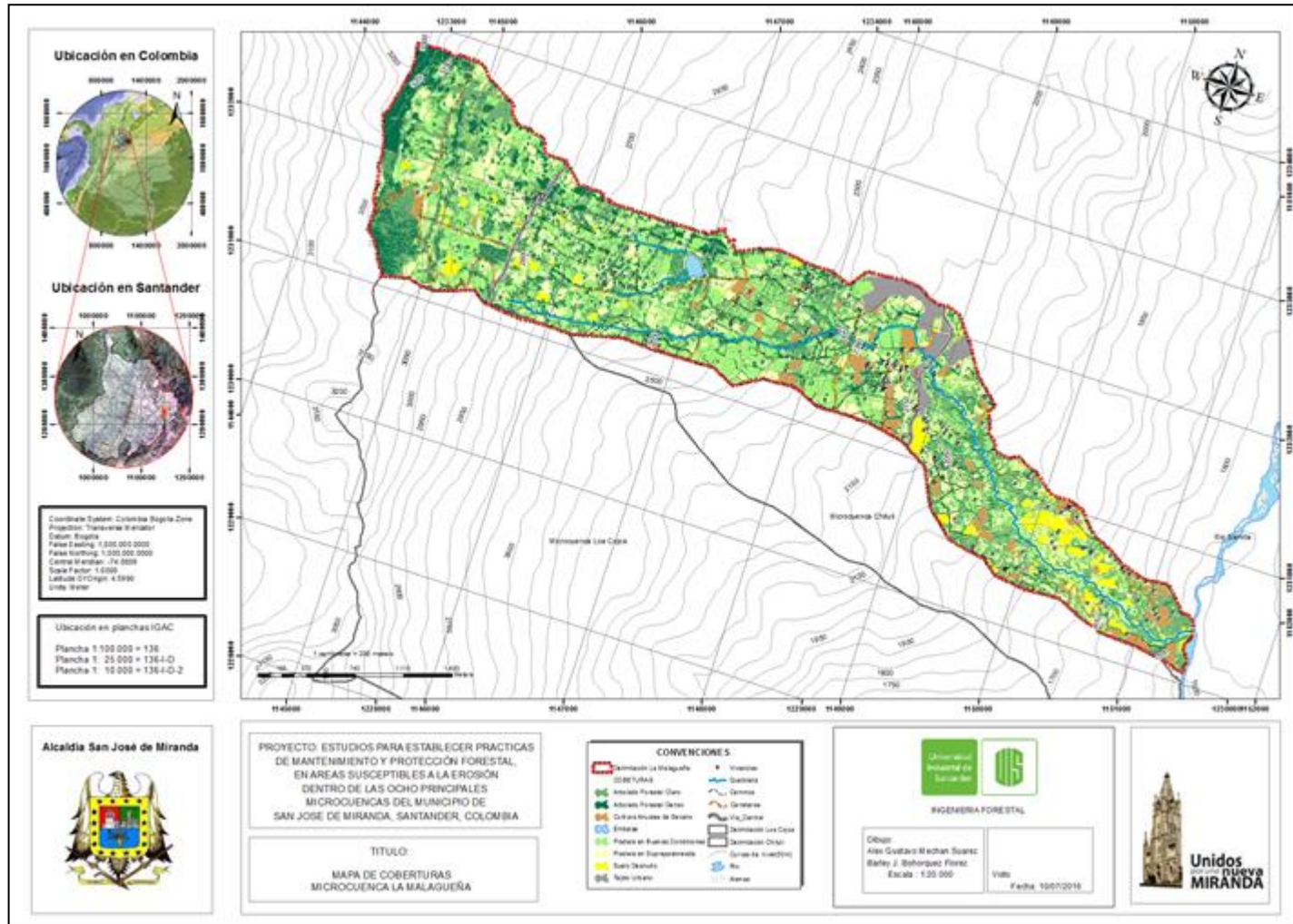
Figura 40. Clasificación Supervisada para la determinación de Coberturas Arbóreas, Praderas y Suelo Desnudo.



6.2.3 Generación de base de datos especializada y salida cartográfica para cada una de las ocho principales Microcuencas: el resultado final de este procesamiento raster y vectorial, es el mapa de coberturas para el municipio de San José de Miranda, en donde es posible apreciar la ocupación de cada una de las unidades vegetales y antropizadas presentes en el área de estudio. La salida cartográfica hace referencia a los mapas que se presentan a continuación, en los cuales se describe y enmarca gráficamente el estado actual de cada una de las Microcuencas, a escalas definidas por el usuario, según el formato de salida para una hoja con dimensiones de 49 x 35 cm, pero fueron adecuados de tal forma que correspondan al entorno de esta plantilla.

El intervalo de imágenes 56 a 63 corresponde a la salida cartográfica correspondientes a la determinación de las coberturas para cada una de las Microcuencas

Figura 41. Mapa Coberturas Microcuenca La Malagueña



Esta Microcuenca hace parte de Málaga y San José de Miranda y la quebrada conocida como La Malagueña establece la mayor parte del límite entre estos dos municipios. En ella se pueden identificar:

Un total de 265 viviendas, de las cuales 120 hacen parte de las veredas de Yerbabuena (parte alta y parte baja), pertenecientes al municipio de San José de Miranda.

También se observa un tramo de la vía Troncal del Norte de longitud 1221.5 m de los cuales 751.5 m están dentro del área perteneciente a San José de Miranda; al igual que 1260.8 m de la vía Málaga-Bucaramanga; de carreteras secundarias esta Microcuenca cuenta con 11154.4 m y 15797.4 m de caminos.

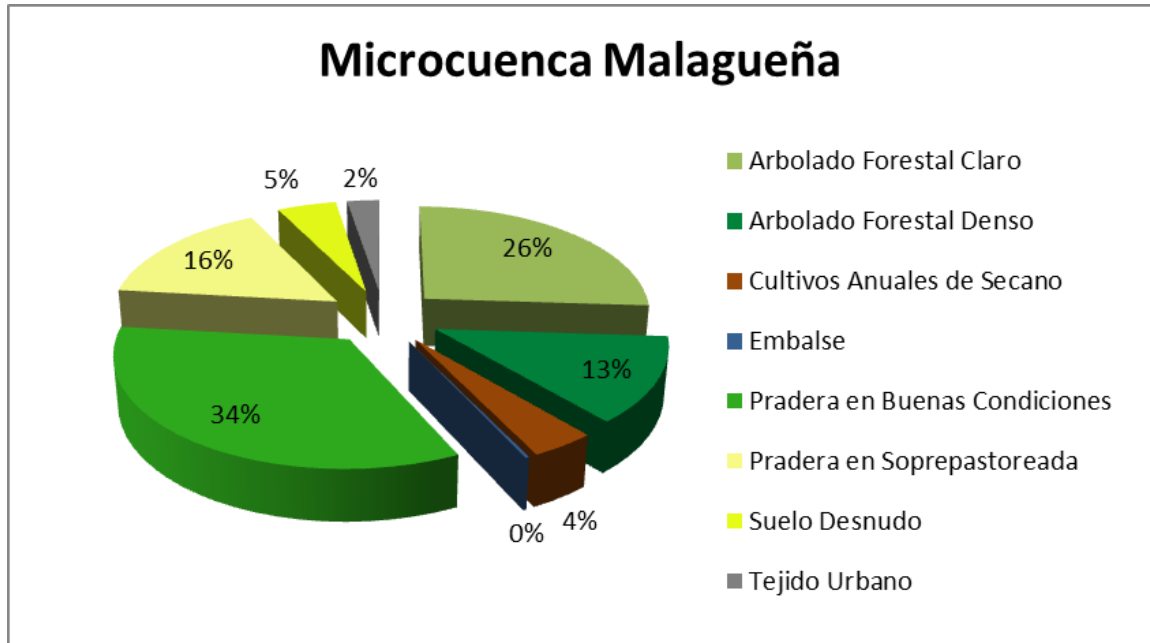
Tabla 49. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca La Malagueña.

Microcuenca la Malagueña			
Coberturas	Área (%)	Área (m2)	Área (ha)
Arbolado Forestal Claro	26.027	1842468.92	184.246892
Arbolado Forestal Denso	12.674	897231.069	89.7231069
Cultivos Anuales de Secano	4.007	283640.705	28.3640705
Embalse	0.235	16647.4542	1.66474542
Pradera en Buenas Condiciones	33.838	2395445.76	239.544576
Pradera en Sobrepastoreada	15.815	1119570.13	111.957013
Suelo Desnudo	4.788	338955.238	33.8955238
Tejido Urbano	2.616	185218.634	18.5218634
Total	100.000	7079177.91	707.917791

La Microcuenca Malagueña tiene 707.91 ha, las cuales presentan ocho coberturas como lo muestra la tabla anterior (Tabla 49), siendo Pradera en Buenas Condiciones la que predomina con 33.838 % que representa 239.544 ha; le sigue Arbolado Forestal Claro con un área de 26.027 % que hace referencia a 184.246 ha; y las más pequeñas son el área del Embalse con un valor de 0.235 %

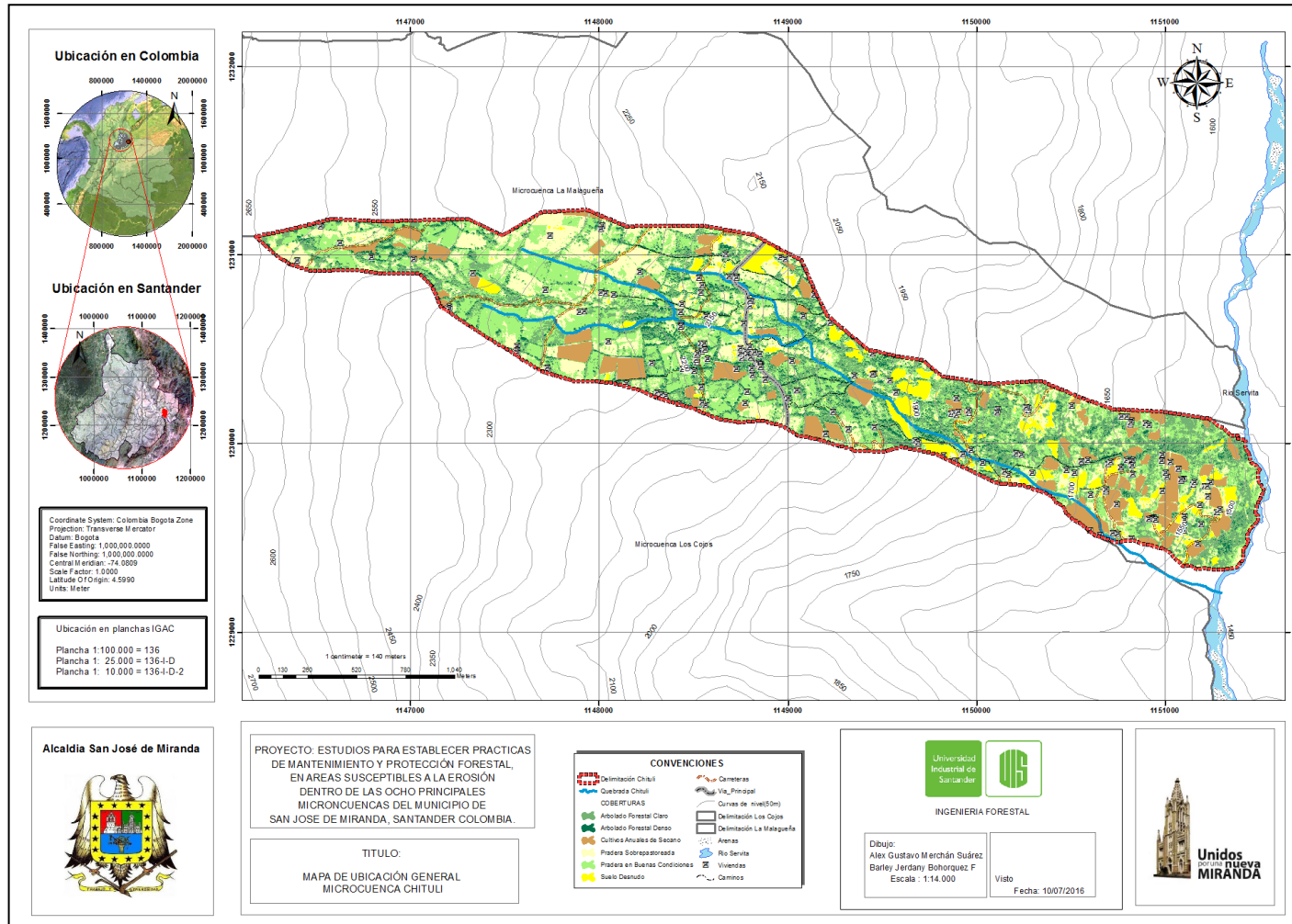
equivalente a 1.664 ha, seguido de Tejido Urbano con un porcentaje de 2.61 % correspondiente a 18.52 ha.

Grafica 9. Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca La Malagueña.



La grafica anterior (Grafica 9) muestra la distribución de cada cobertura presente en la Microcuenca La Malagueña con su respectivo color y valor representado en porcentaje, evidenciando que Pradera en buenas Condiciones con 34 % y Arbolado Forestal Claro con 26 % son las coberturas con mayor presencia para esta Microcuenca.

Figura 42. Mapa Coberturas. Microcuenca Chituli.



En esta Microcuenca se identificaron 185 viviendas, también hay un tramo de 1170.3 m de la vía Troncal del Norte; con respecto a carreteras secundarias se encontró un total 8011.9 m y en cuanto a caminos un registro de 5867 m.

Tabla 50. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Chituli.

Microcuenca Chituli			
Coberturas	Área (%)	Área (m2)	Área (ha)
Arbolado Forestal Claro	24.020	801630.586	80.163
Arbolado Forestal Denso	6.333	211353.947	21.135
Cultivos Anuales de Secano	10.027	334621.858	33.462
Pradera en Buenas Condiciones	32.964	1100115.548	110.012
Pradera en Sobrepastoreada	19.822	661524.262	66.152
Suelo Desnudo	6.834	228059.779	22.806
total	100.000	3337305.980	333.731

La tabla 50 muestra que la Microcuenca Chituli cuenta con un área total de 333.731 ha, evidenciando como mayor cobertura a Pradera Sobrepastoreada con 32.964 % correspondiente a 110.012 ha, en segundo lugar se encuentra Arbolado Forestal Claro con 24,02 % equivalente a 80.163 ha y la de menor área es Arbolado Forestal Denso con 21.135 ha con un 6,333 %. En la siguiente gráfica (Grafica10) se puede apreciar mejor la distribución de las coberturas presentes en la Microcuenca Chituli con su respectivo color y valor representado en porcentaje.

Grafica 10. Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Chituli.

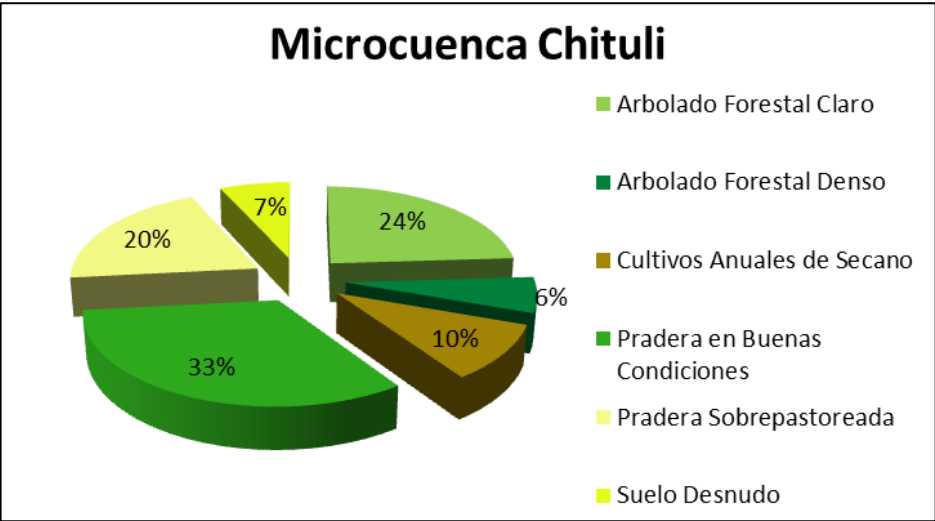
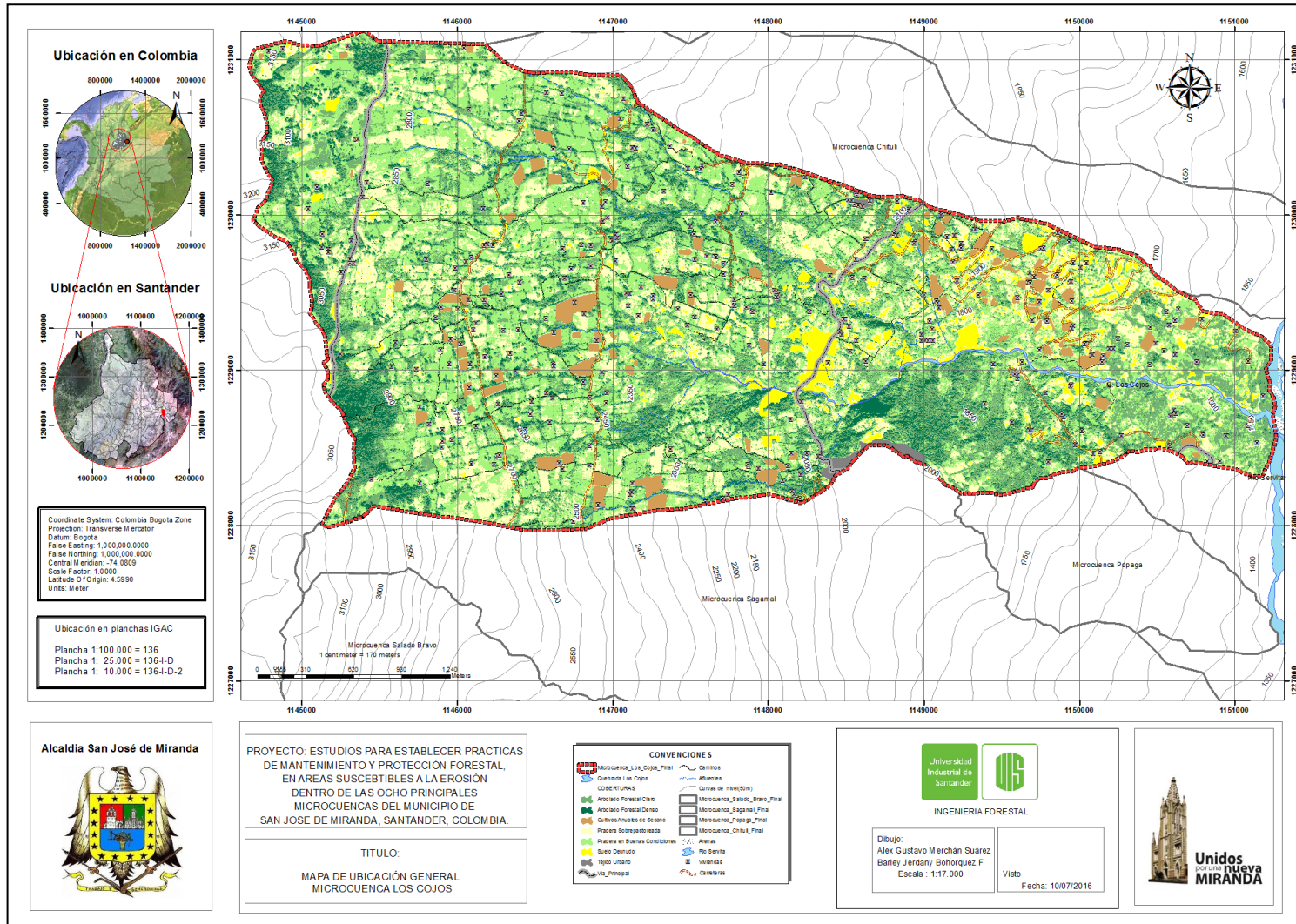


Figura 43 . Mapa Coberturas Microcuenca Los Cojos



Esta Microcuenca es la segunda de mayor área y tiene 334 viviendas; también posee la continuación de la vía Troncal del Norte con un tramo de 2277 m que llega hasta el casco urbano del municipio; y otro tramo de esta, pero ya en límites con la Microcuenca Popagá con 330.4 m, en cuanto a carreteras secundarias posee 21856.5 m y cuenta con 26402.4 m de caminos.

Tabla 51. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Los Cojos.

Microcuenca Los Cojos			
Coberturas	Área (%)	Área (m2)	Área (ha)
Arbolado Forestal Claro	25.404	3411885.739	341.189
Arbolado Forestal Denso	9.933	1334071.594	133.407
Cultivos Anuales de Secano	3.496	469485.917	46.949
Pradera en Buenas Condiciones	35.053	4707728.240	470.773
Pradera en Sobrepastoreada	21.110	2835211.229	283.521
Suelo Desnudo	4.617	620057.903	62.006
Tejido Urbano	0.387	51937.728	5.194
Total	100.000	13430378.349	1343.038

Los Cojos es la segunda Microcuenca con mayor área ya que cuenta con 1343.038 ha, y como se muestra en la tabla anterior (Tabla 51), la cobertura Pradera en Buenas Condiciones se encuentra en primer lugar con 479.773 ha, con un porcentaje de 35.053 %, luego se encuentra Arbolado Forestal Claro que registra 341.168 ha, y referenciada con un 25.404 %, por otra parte la cobertura con menor área es Tejido Urbano con 5.194 ha, equivalente a 0.387 %, y seguida por Cultivos Anuales de Secano con 3.49 % correspondiente a 46.9 ha. En la siguiente gráfica (Grafica 11) de porcentajes se puede apreciar con claridad la diferencia entre las coberturas

Grafica 11 . Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Los Cojos.

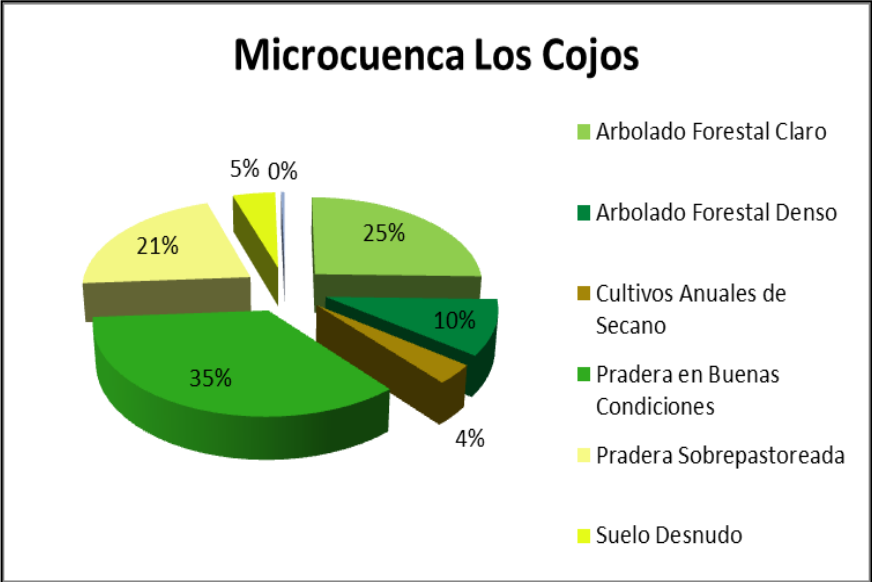
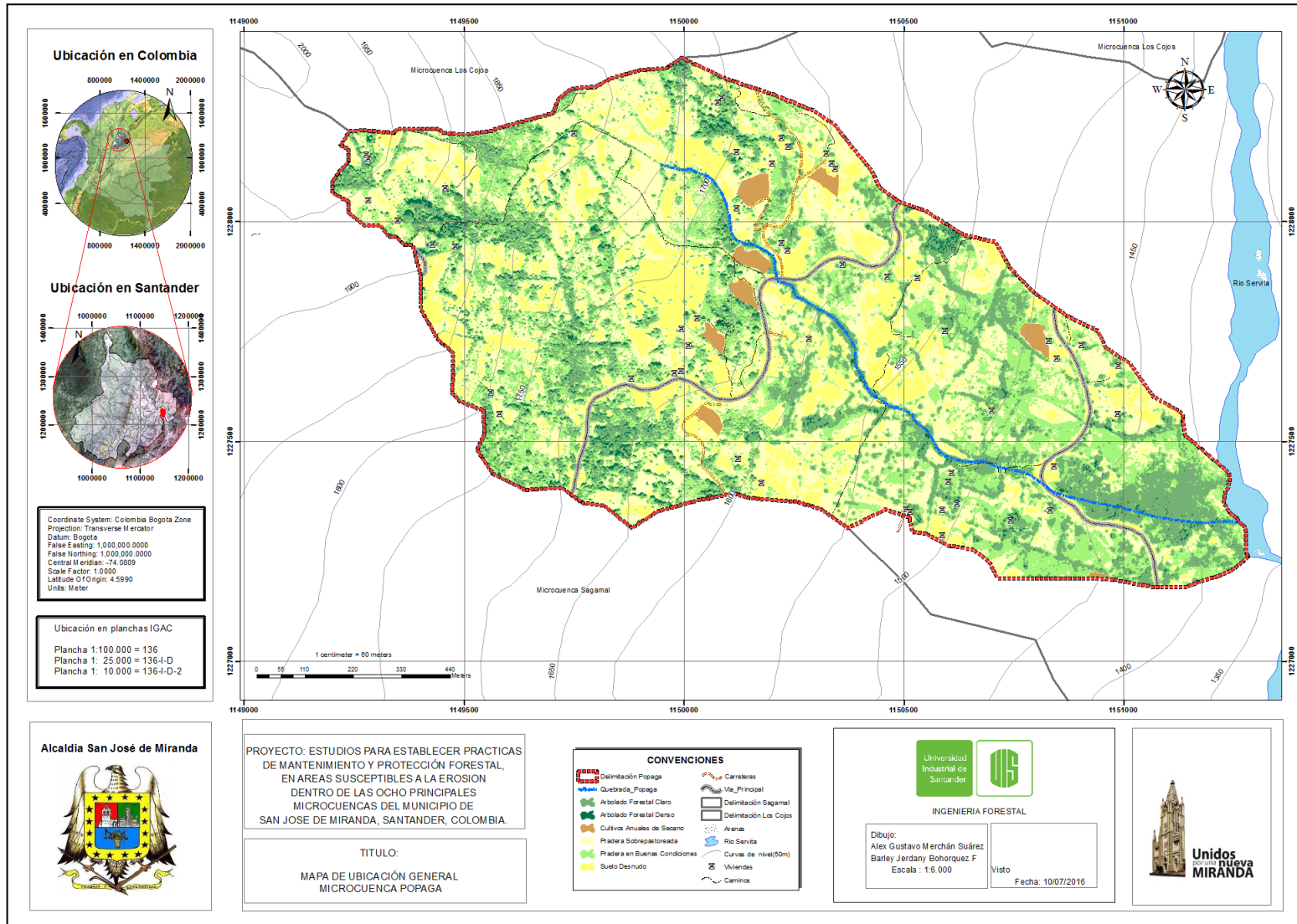


Figura 44. Mapa Coberturas Microcuenca Popagá



Esta Microcuenca cuenta con tan solo 50 viviendas y la cruzan dos tramos de la vía Troncal del Norte que suman 2182.8 m; y posee otro pequeño tramo de 67 m que limita con la Microcuenca Sagamal para un total de 2249.8 m; en lo que respecta a carreteras secundarias cuenta con 1583.7 m y tiene 3754.6 m de caminos.

Tabla 52. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Popaga.

Microcuenca Popaga			
Coberturas	Area (%)	Area (m2)	Area (ha)
Arbolado Forestal Claro	20.117	283405.664	28.341
Arbolado Forestal Denso	2.277	32082.927	3.208
Cultivos Anuales de Secano	1.348	18994.735	1.899
Pradera en Buenas Condiciones	27.616	389050.605	38.905
Pradera en Sobrepastoreada	31.402	442390.381	44.239
Suelo Desnudo	17.240	242881.348	24.288
Total	100.000	1408805.660	140.881

Popagá es la Microcuenca más pequeña con un área de 140. 881 ha y presenta seis coberturas, como lo muestra la tabla anterior (Tabla 52) con predominio de Pradera Sobrepastoreada, con un área de 44.239 ha representada en 31.4 %, le sigue Pradera en Buenas Condiciones con 38,9 ha, equivalente a 27.6 %. Mientras tanto Cultivos Anuales de Secano registra 1,89 ha para un 1.348 %, siendo la cobertura de menor presencia, seguida por Arbolado Forestal Denso con un valor de 2.27 % correspondiente a 3.2 ha. Lo cual se puede observar en la siguiente gráfica (Ver Grafica 12).

Grafica 12. Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Popaga.

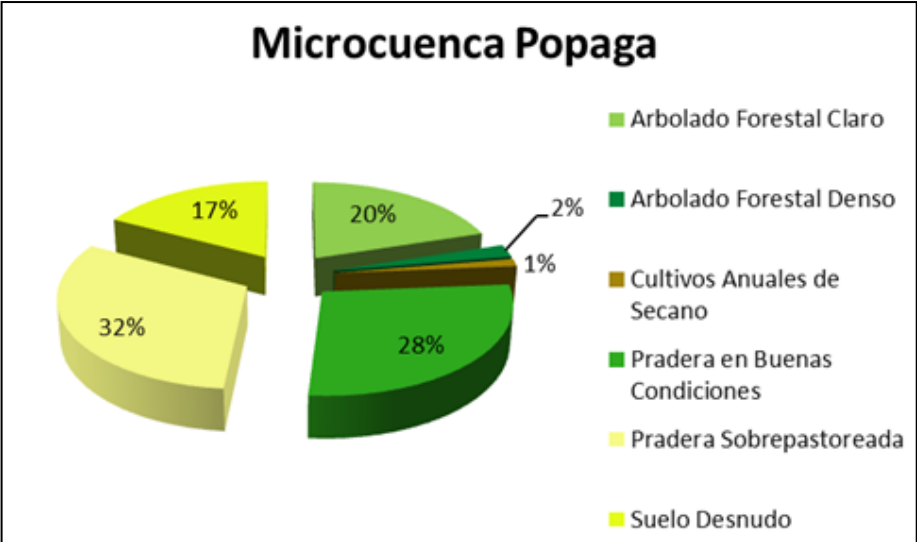
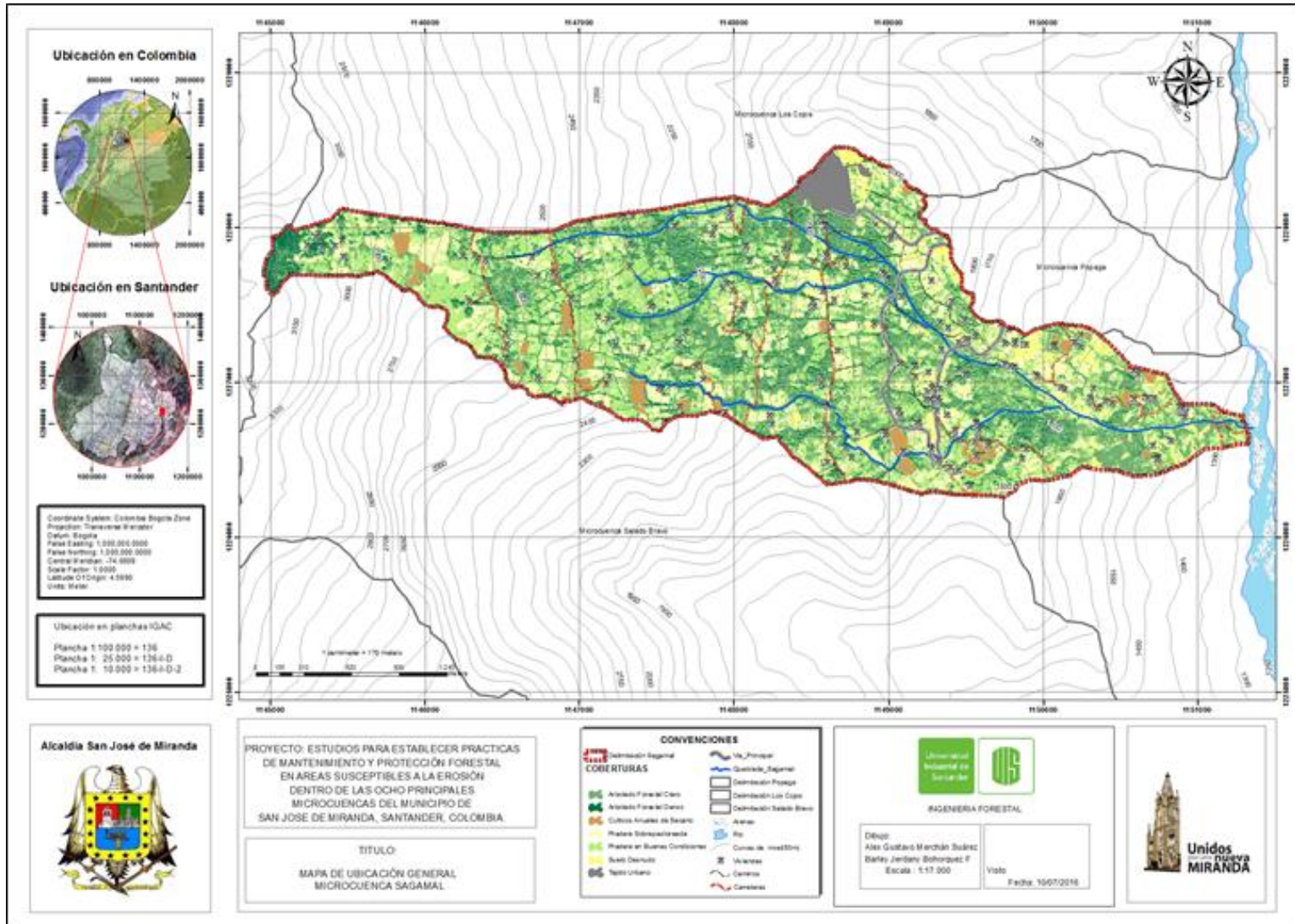


Figura 45. Mapa Coberturas Microcuenca Sagamal



En Sagamal se tienen alrededor de 210 viviendas, al igual que las Microcuencas anteriores la vía Troncal del Norte pasa por esta, para este caso en dos tramos que suman 4324.2 m; en lo que respecta a carreteras secundarias posee un total de 11638.6 y para caminos se registra una longitud de 7604.3 m.

Tabla 53. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Sagamal.

Microcuenca Sagamal			
Coberturas	Área (%)	Área (m2)	Área (ha)
Arbolado Forestal Claro	28.565	1919015.310	191.902
Arbolado Forestal Denso	9.761	655759.175	65.576
Cultivos Anuales de Secano	2.588	173854.058	17.385
Pradera en Buenas Condiciones	33.090	2222961.210	222.296
Pradera en Sorepastoreada	20.171	1355108.244	135.511
Suelo Desnudo	4.264	286478.912	28.648
Tejido Urbano	1.560	104823.505	10.482
Total	100.000	6718000.413	671.800

Para un estudio realizado en un área de 671.8 ha presentes en la Microcuenca Sagamal, la cobertura con mayor presencia es Pradera en Buenas Condiciones con 33,090 %, correspondiente a 222.296 ha, Arbolado Forestal Claro por su parte se ubica en segundo lugar con 28.565 %, equivalente a 191.902 ha, por su parte la cobertura de Tejido Urbano registra 1.56 % para 10,482 ha, ocupando la menor área, seguida por Suelo Desnudo con 4.264 % equivalente a 28.64 ha, lo cual se puede observar mejor en la siguiente gráfica. (Ver Gráfica 13).

Grafica 13. Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Sagamal.

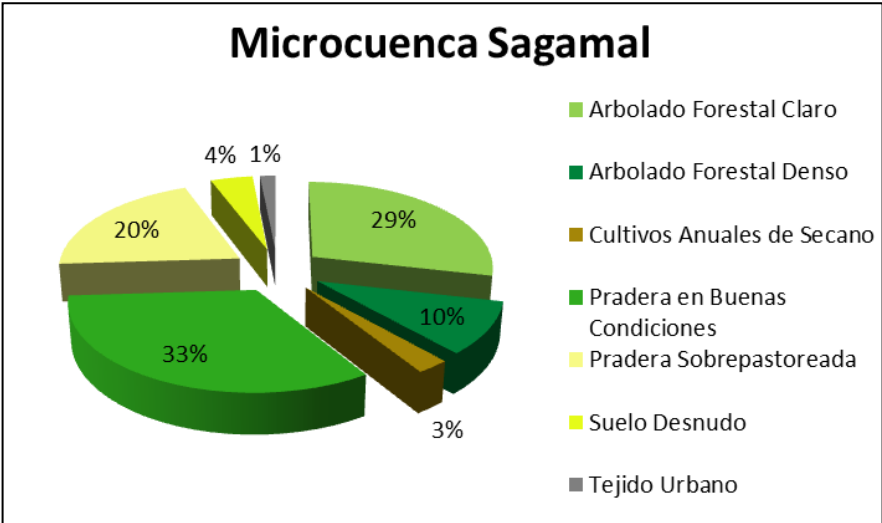
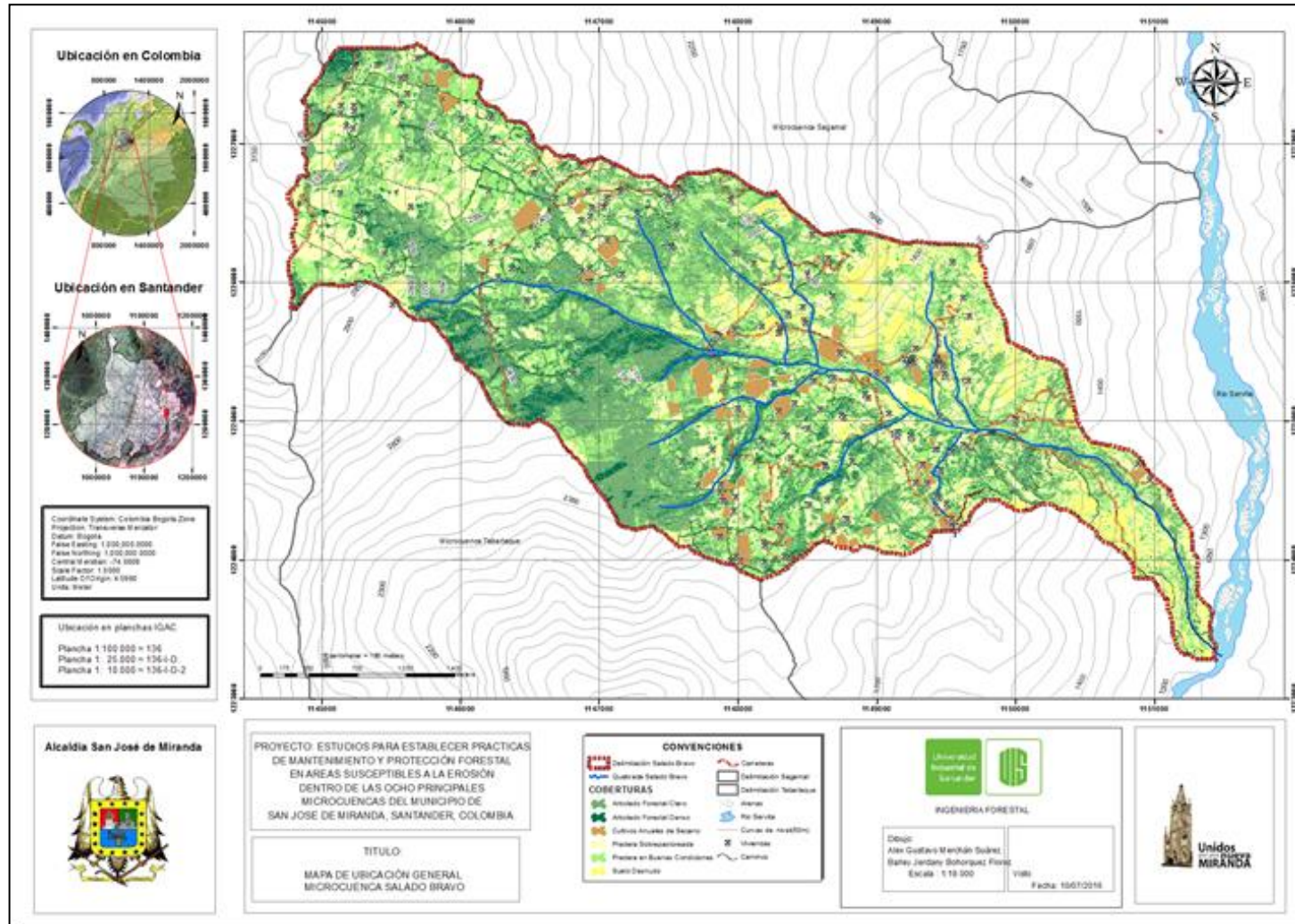


Figura 46 . Mapa Coberturas Microcuenca Salado Bravo



Salado Bravo tiene 190 viviendas, posee 21306.3 m en Carreteras secundarias y cuenta con 7604.3 m Caminos, y a diferencia de las anteriores Microcuencas no tiene presencia de la vía Troncal del Norte.

Tabla 54. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Salado Bravo.

Microcuenca Salado Bravo			
Coberturas	Área (%)	Área (m2)	Área (ha)
Arbolado Forestal Claro	30.867	3853578.951	385.358
Arbolado Forestal Denso	7.598	948603.838	94.860
Cultivos Anuales de Secano	3.423	427334.598	42.733
Pradera en Buenas Condiciones	30.159	3765143.485	376.514
Pradera en Sobrepastoreada	21.740	2714067.284	271.407
Suelo Desnudo	6.213	775688.357	77.569
Total	100.000	12484416.514	1248.442

Para la Microcuenca Salado Bravo que cuenta con un área 1248.442 ha, la cobertura predominante es Arbolado Forestal Claro con 30,86 %, referente a 385,358 ha, en segundo lugar se encuentra Pradera en Buenas Condiciones con 30,159 % presente en un área de 376,514 ha, por otra parte Cultivos Anuales de Secano ocupa la menor área con 3.423 % correspondiente a 42.73 %, seguido por 77.56 ha de Suelo Desnudo equivalente a 6.213 %, (Tabla 54)

En la siguiente grafica (Grafica14) se aprecia la distribución en porcentaje de estas coberturas dentro de la microcuenca Salado Bravo

Grafica 14. Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Salado Bravo.

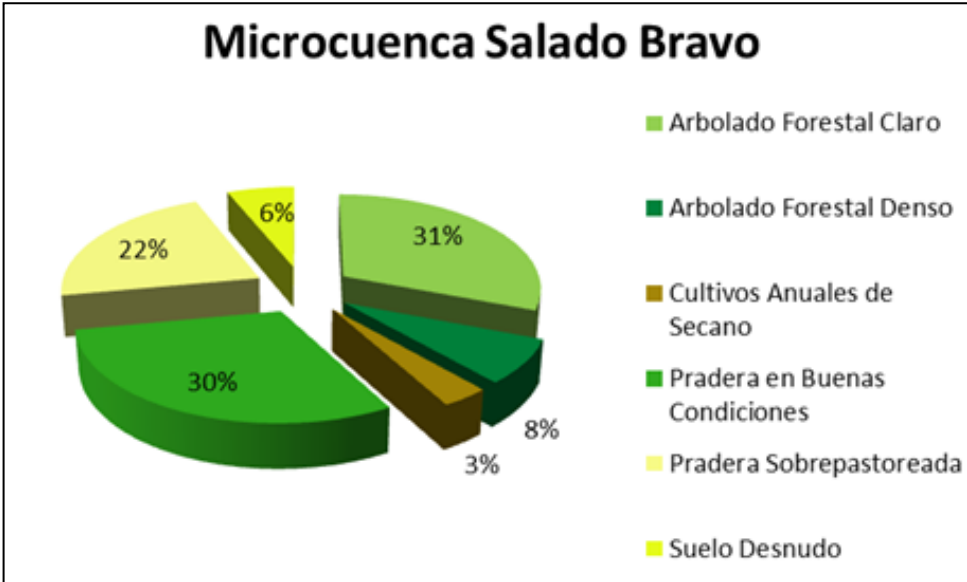
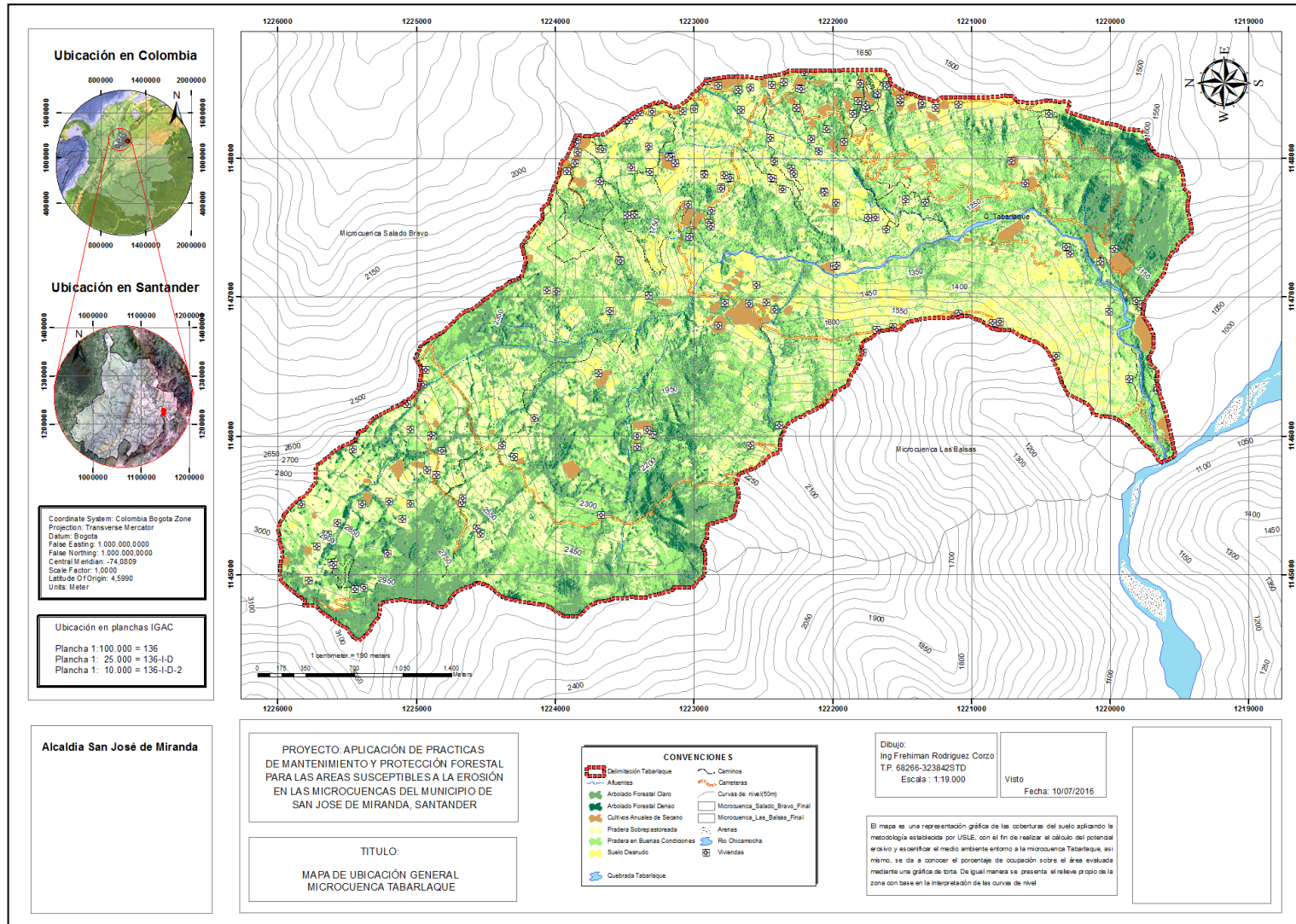


Figura 47. Mapa Coberturas Microcuenca Tabarlaque



En la Microcuenca Tabarlaque se encontraron 156 viviendas, un acumulado de 24503.2 m en carreteras secundarias y un total 16811.7 m caminos y por último cabe resaltar que no tiene conexión con vías principales

La Microcuenca Tabarlaque tiene un área de 1429,568 ha, la cual está distribuida en seis coberturas como lo muestra la tabla 55, siendo Pradera en Buenas Condiciones la que predomina con un 32,963 %, equivalente a 468.268 ha, seguida por Pradera Sobrepastoreada que registra un 28.223 %, referente a 400.922 ha; mientras tanto Cultivos Anuales de Secano con 2,667 % y correspondiente a 37,889 ha es la menor cobertura, seguida de Arbolado Forestal Denso con 68.155 ha para un 4.798 %, (Tabla 55)

Tabla 55. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Tabarlaque.

Microcuenca Tabarlaque			
Coberturas	Área (%)	Área (m2)	Área (ha)
Arbolado Forestal Claro	23.453	3331685.692	333.169
Arbolado Forestal Denso	4.798	681550.288	68.155
Cultivos Anuales de Secano	2.667	378886.265	37.889
Pradera en Buenas Condiciones	32.963	4682684.285	468.268
Pradera en Sobrepastoreada	28.223	4009221.871	400.922
Suelo Desnudo	7.896	1121647.157	112.165
Total	100.000	14205675.559	1420.568

En la siguiente grafica (Grafica 15) se observa con claridad que la cobertura Pradera en Buenas Condiciones con 33 %, es la de mayor presencia, seguida de Pradera Sobrepastoreada con 28 % y en menor medida esta Cultivos Anuales de Secano con tan sólo 3 %.

Grafica 15 . Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Tabarlaque.

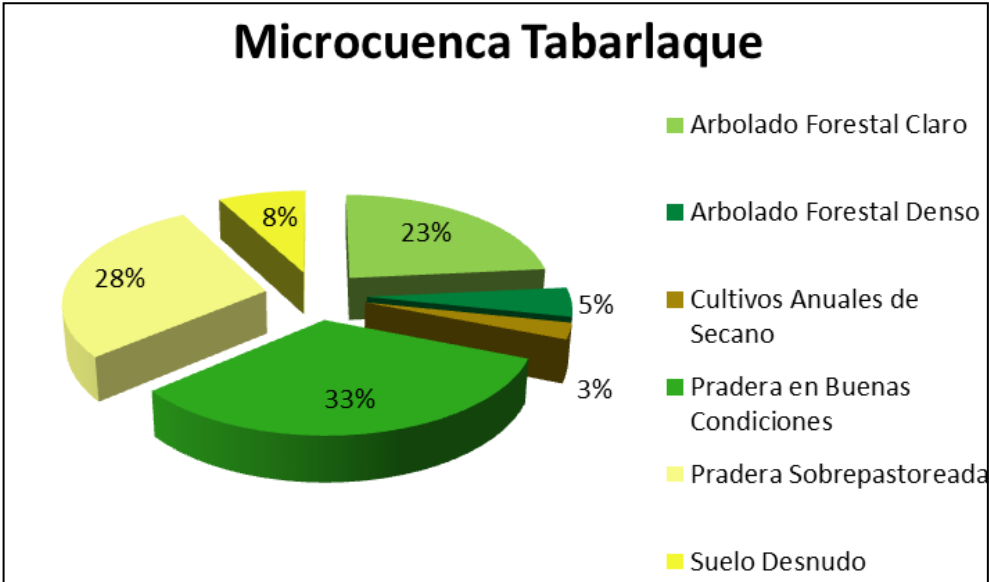
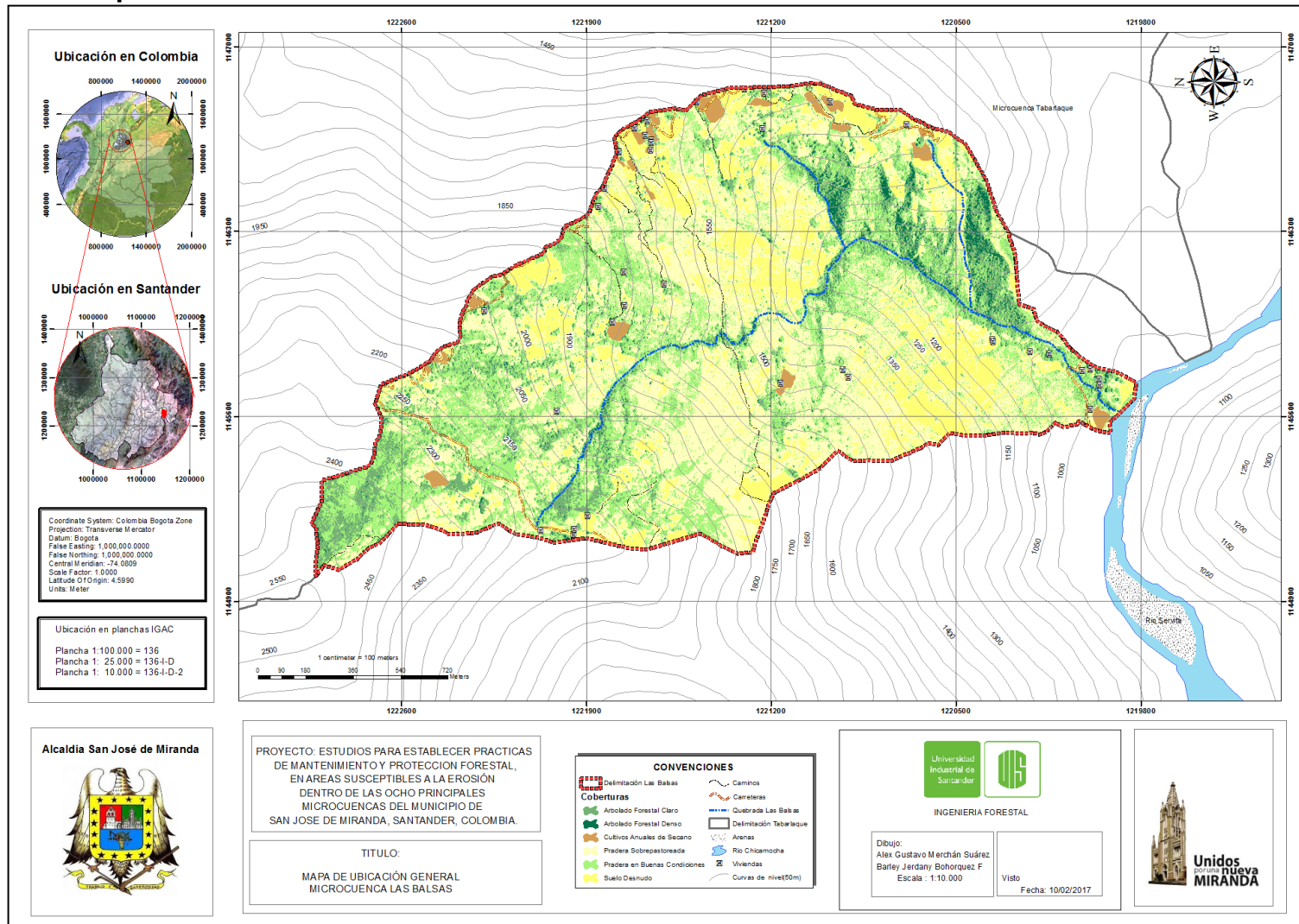


Figura 48. Mapa Coberturas Microcuenca Las Balsas



En Las Balsas se registran 36 viviendas, en cuanto a carreteras secundarias se evidenció un total 3521 m, mientras que para caminos se calculó una sumatoria de 5178.9 m. Al igual que la anterior Microcuenca no cuenta con vías principales.

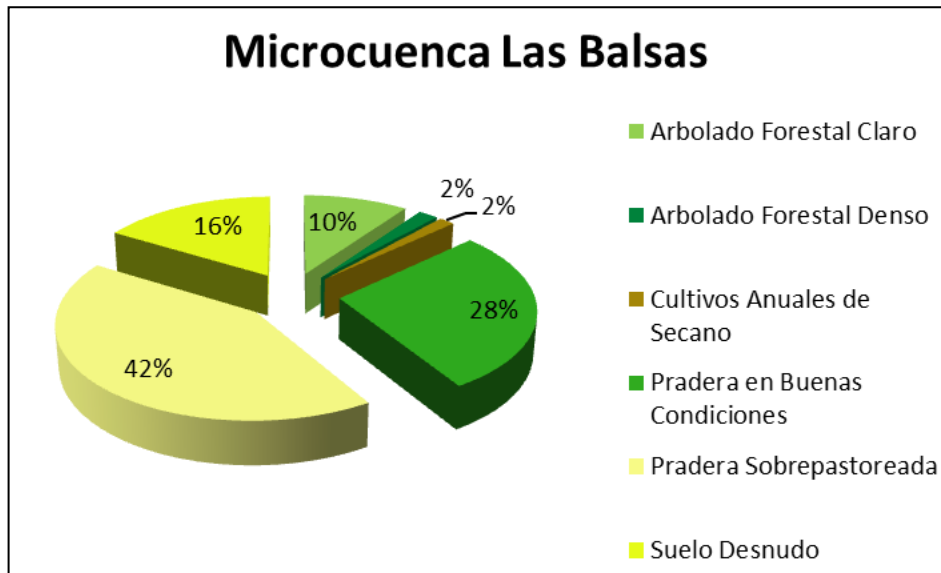
La Microcuenca las Balsas cuenta con 319,448 ha, la mayor cobertura presente es Pradera Sobrepastoreada con un área de 135.596 ha, que representa el 42,447%, Pradera en Buenas Condiciones registra 27.988 % y se ubica en segundo lugar con 135.596 ha, por otra parte Cultivos Anuales de Secano ocupa la menor cobertura con 1,476% correspondiente a 4,714 ha, seguida de 1.866 % equivalente a 5.961 ha, de Arbolado Forestal Denso. (Tabla 56)

Tabla 56. Área y Porcentaje para las coberturas presentes en la Microcuenca Las Balsas.

Microcuenca Las Balsas			
Coberturas	Área (%)	Área (m2)	Área (ha)
Arbolado Forestal Claro	9.845	314500.447	31.450
Arbolado Forestal Denso	1.866	59606.425	5.961
Cultivos Anuales de Secano	1.476	47138.846	4.714
Pradera en Buenas Condiciones	27.988	894064.042	89.406
Pradera en Sobrepastoreada	42.447	1355957.181	135.596
Suelo Desnudo	16.379	523213.256	52.321
Total	100.000	3194480.196	319.448

Los datos anteriores se representan con mayor claridad en la siguiente gráfica. (Ver Gráfica 16).

Grafica 16. Coberturas presentes en porcentaje. Microcuenca Las Balsas.



6.2.4 Planteamiento de la Ecuación Universal de pérdidas de suelo (USLE):

(León, Alcántara, & Celis, 2011) El riesgo de erosión o erosión potencial se define como el efecto combinado de los factores causales de la erosión (lluvia, escurrimiento, suelo y topografía)³³ a continuación se presenta el procedimiento para el cálculo de la erosión potencial en el municipio de San José de Miranda con base en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés) con base en la determinación de los siguientes Factores:

Factor C: (FAO, 1997) la cubierta vegetal del suelo que lo protege contra la energía cinética de la lluvia o la escorrentía superficial, influye considerablemente en la erosión. Muchos estudios han demostrado que la relación no es lineal, produciéndose incluso una reducción sustancial de la erosión, cuando el suelo está protegido por una cubierta vegetal de densidad relativamente baja³⁴

³³ MONTES LEÓN, María Alejandrina Leticia; URIBE ALCÁNTARA, Edgar Misael; GARCÍA CELIS, Efraín. Mapa nacional de erosión potencial. En: Tecnología y Ciencias del Agua. Enero-marzo, 2011, vol. 2 no. 1. p.5-17. ISSN: 0187-8336

³⁴ HUDSON, N.W. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía.[En línea]Italia. Roma: FAO, 1997. p.68. [Citado enero de 2017] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T0848S/T0848S00.htm>

Con el fin de realizar el respectivo análisis de erosión, es necesario digitalizar el total de coberturas vegetales para el área de influencia directa a cada una de las Microcuencas, aplicando la metodología establecida por SCS teniendo en cuenta el número de curva en los análisis de erosión USLE

Algunas tesis doctorales realizadas en los años 1.978 y 1.979 analizaron más profundamente la aplicación de la USLE, desarrollando aspectos parciales de la misma, pero manteniendo el Factor C en un escaso nivel de complicación. (ICONA, 1.983), el Factor C fué analizado igualmente de forma simplificada; de este modo, los diferentes tipos de vegetación cartografiados en el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, realizado por el Ministerio de Agricultura, fueron agrupados y valorados en las clases que aparecen a continuación³⁵: (Tabla 57)

Tabla 57. Aproximación para determinar el Factor “C”

Coberturas	C
Arbolado Forestal Claro	0.01
Arbolado Forestal Denso	0.03
Cultivos Anuales de Secano	0.4
Embalse	0
Pradera en Buenas Condiciones	94
Pradera Sobrepastoreada	0.01
Suelo Desnudo	1
Tejido Urbano	1

Fuente: ICONA, 1982

(León, Alcántara, & Celis, 2011) El Factor C se asigna con el objeto de reflejar el efecto de la vegetación y las prácticas de manejo en las tasas de erosión. Se trata del factor usado con más frecuencia para comparar el efecto relativo de diferentes opciones de manejo en un plan de conservación. Dicho factor indica cómo el plan de conservación afectará la tasa promedio anual de erosión, y cómo la pérdida

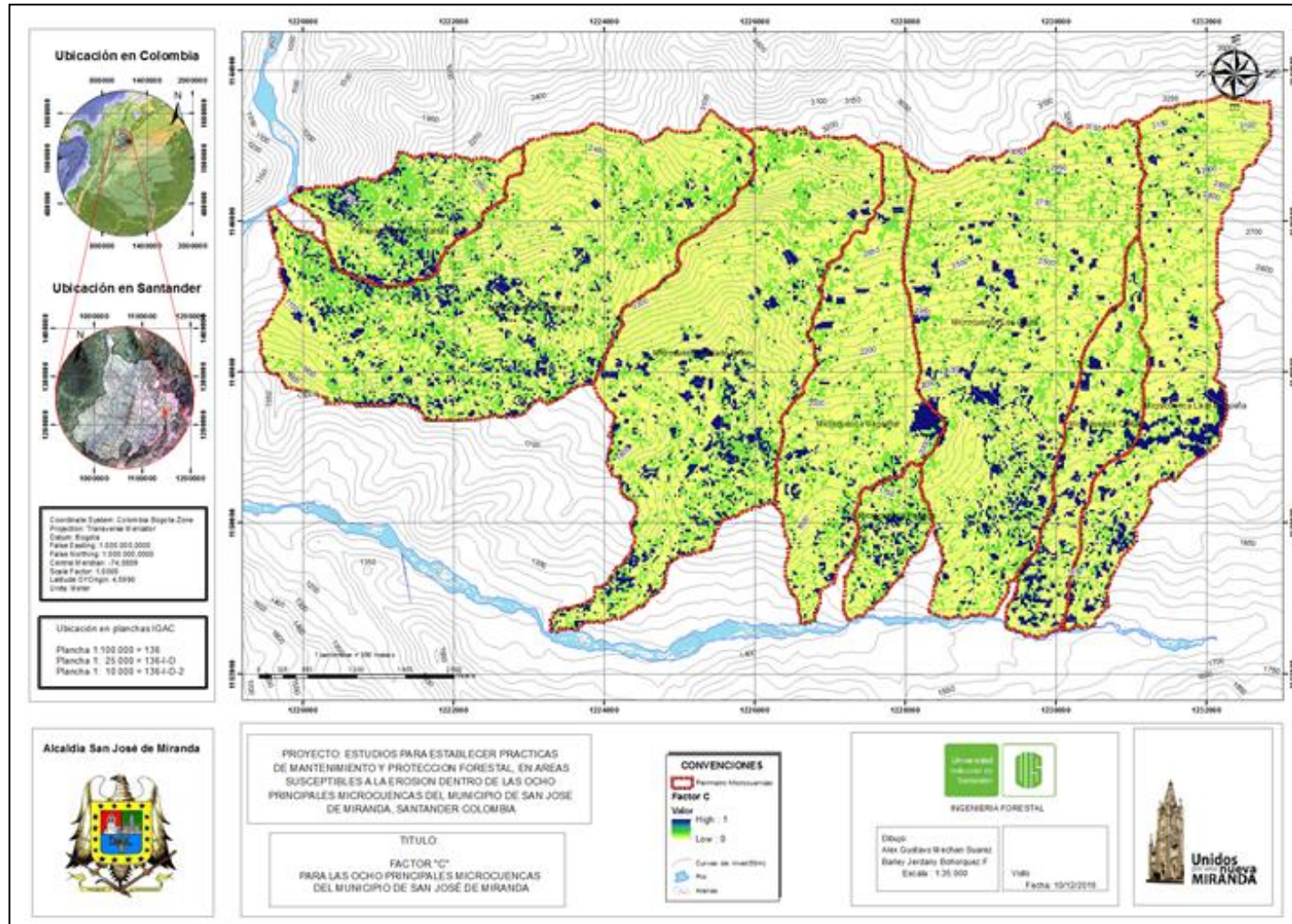
³⁵ LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F., et, al. Cuenca hidrográfica del Segura: Mapa de estados erosivos escala 1:400.000”. Madrid: ICONA ,1988. p.1-30.

potencial de suelo se distribuirá en el tiempo durante las actividades de construcción, rotación de cultivos u otros esquemas de manejo, así como los cambios en el uso de suelo. Para una condición estándar, es decir, sin cobertura vegetal y con barbecho continuo, la cual es extrema en cuanto a que representa las condiciones más favorables para la erosión, el valor de C es la unidad. A medida que la cobertura vegetal sea mayor, el valor de C es cada vez menor, por lo que el rango para este parámetro va de 0 (correspondiente a un terreno totalmente protegido) a 1.0 (para terrenos sin ninguna protección). Además de la vegetación activa, en el valor de C se toma en cuenta la presencia de residuos de plantas muertas, las raíces, los sistemas radiculares de los pastos y árboles, ya que todos estos elementos contribuyen a mantener al suelo en su sitio e incrementan la infiltración.³⁶

El coeficiente asociado con este factor fue asignado de acuerdo con diversas bibliografías, partiendo de la primera aproximación del Factor C, observaciones realizadas en campo y asociaciones directas con la información de uso de suelo y vegetación.

³⁶ MONTES LEÓN, María Alejandrina Leticia; URIBE ALCÁNTARA, Edgar Misael; GARCÍA CELIS, Efraín. Op. Cit. p.5 - 17.

Figura 49. Mapa Factor “C” de las ocho principales Microcuencas municipio San José de Miranda



Factor R. Aplicación del índice modificado de “Fournier” en condiciones normales y condiciones extremas de precipitación: según (Jordan & Bellifante, 200), diversos autores han intentado relacionar el Factor R con parámetros más fáciles de obtener y calcular. Con este propósito, Fournier en el año de 1960 estableció el índice de agresividad climática o índice de Fournier (IF), que muestra una alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía.³⁷

El cálculo del IF se realiza a partir de los datos pluviométricos de estaciones meteorológicas representativas, según la siguiente ecuación:

$$IF = \frac{(P_{max})^2}{P_m}$$

Dónde:

IF: Índice de Fournier.

P max: Precipitación correspondiente al mes más lluvioso del año i (mm).

P_m: Precipitación media anual (mm).

(Jordan & Bellifante, 200) sin embargo, para emplear el IF como indicador de la erosividad pluvial deben tenerse algunas restricciones. Así, entre otros aspectos, es necesario considerar que en zonas cuyo régimen pluvial presenta más de una máxima mensual de precipitación, o donde los valores pluviométricos son en general elevados, el IF sólo considera el mes de mayor precipitación, despreciando los valores del resto de los meses³⁸

De lo expuesto anteriormente, Arnoldus (1978) citado por (Jordan & Bellifante, 200) propuso una corrección del IF, en la que se consideran no sólo la

³⁷ JORDÁN, Antonio; BELLINFANTE, Nicolás. Cartografía de la Erosividad de la Lluvia a partir de datos Pluviométricos Mensuales en el campo de Gibraltar. En: Edafología. Septiembre, vol.7 no.3. p. 83

³⁸ Ibid., p.84

precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses. Esta corrección o índice modificado de Fournier, se calcula de la siguiente forma³⁹:

$$IMFj = \frac{\sum_{i=1}^{12} (P_{ij})^2}{P_m}$$

Donde:

IMF : índice modificado de Fournier.

P_{ij} : Precipitación mensual del mes i (mm), del año j.

P_m : Precipitación media anual.

Según esto, y para efectos del presente documento se utilizó el Índice Modificado de Fournier como indicador de erosividad pluvial, posterior a los respectivos procesos de interpolación e Isoyetas.

Solicitud de Información de Precipitación

Isoyetas: (Aguilar, R; Aguilar, A. Y Romero P. 2005) el método de las Isoyetas determina las líneas de igual altura de precipitación en todo el plano y después se calcula el área entre Isoyetas y se determina así la precipitación caída entre estas.⁴⁰ El factor de precipitación es el aspecto más importante a la hora de llevar a cabo el análisis de erosión; según (Suarez, 1980) El factor climático que más incide en la erosión es la precipitación. De su calidad, intensidad y distribución depende el volumen de flujo que se desliza en capa uniforme sobre la tierra, llevando en suspensión sustancias minerales.⁴¹

La información meteorológica utilizada corresponde a cuatro estaciones pluviométricas ubicadas en los municipios de Capitanejo, Carcasí, Málaga y

³⁹ Ibid.,p.85

⁴⁰ AGUILAR, Rogelio Ramos; AGUILAR MORA, Araceli. Modelación del Comportamiento de las Isotermas, Isoyetas y cálculo de radiación solar para el estado de Puebla durante el mes de Junio de 2004. En: Ciencia y Cultura elementos. Abril- Junio, 2005, vol. 12 no 058. P.59-62. ISSN. 0187-9073.

⁴¹ SUAREZ, F. Conservación de Suelos (3a ed.). San Jose. Costa Rica:IIICA, 1980. p.1-39.

Molagavita, ya que el municipio de San José de Miranda no cuenta con datos de Precipitación requeridos para el análisis. Partiendo de esta información se llevaron a cabo procesos de interpolación y triangulación mediante la elaboración de Isoyetas multi-temporales que permitieron la determinación de los rangos de precipitación propios para el municipio en estudio con un rango de procesamiento de 16 años.

En las siguientes tablas (Tablas 58 y 59) se encuentran los rangos de precipitación y coordenadas geográficas, así como el código de las estaciones utilizadas en el presente estudio

Tabla 58. Coordenadas de las estaciones utilizadas en el proceso de interpolación.

IDEAM-DEPARTAMENTO DE SANTANDER (Código 29)						
MUNICIPIO	CÓDIGO	LATITUD	LONGITUD	m.s.n.m.	ESTACIÓN N°	ÁREA
Capitanejo	881	6° 31' 14,6" N	72° 41' 47,8" W	1160	24035260	AO 06
Carcasí	882	6° 37' 39" N	72° 37' 48" W	2024	24030320	AO 08
Málaga	920	6° 42' N	72° 43' W	2237	24030950	AO 08
Molagavita	923	6° 40' 18" N	72° 48' 41" W	2150	24030340	AO 08

Las Estaciones Meteorológicas se encuentran activas y registradas en la página Web del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM.

Tabla 59. Registros de Precipitación.

Molagavita		Málaga		Capitanejo		Carcasí	
PRECIPITACIÓN		PRECIPITACIÓN		PRECIPITACIÓN		PRECIPITACIÓN	
Año	Total (mm)	Año	Total (mm)	Año	Total (mm)	Año	Total (mm)
2000	1715	2000	1375.8	2000	733.4	2000	1539
2001	1770	2001	1084.2	2001	698.9	2001	1091
2002	1865.6	2002	1302.2	2002	1382	2002	1381
2003	2099	2003	1975.3	2003	831.7	2003	2159
2004	1917	2004	1660.4	2004	816.6	2004	1391
2005	1924	2005	1339	2005	706.1	2005	1871
2006	1916.5	2006	1543.5	2006	1455.4	2006	2160.6
2007	1758.7	2007	1249.7	2007	900	2007	1587.4
2008	1699.2	2008	1661.2	2008	677.5	2008	1457.3
2009	1618.8	2009	1658.5	2009	750.4	2009	1087.4
2010	2475.3	2010	2107.3	2010	1155.2	2010	1600.7
2011	2314.9	2011	2677.7	2011	1149	2011	1899.51
2012	1670.3	2012	1741.9	2012	756.4	2012	1305.4
2013	1421.4	2013	1433.4	2013	713.7	2013	949.6
2014	1688.5	2014	1647.6	2014	631.7	2014	649.1
2015	1208.5	2015	1115.3	2015	1096.6	2015	715.5

La metodología empleada para el desarrollo del módulo de “Isolíneas” utiliza el software ArcGis (ArcMap) Desktop versión 10.3, con las aplicaciones de ArcMap, (ArcCatalog, ArcToolbox). Con estas aplicaciones se procedió a elaborar los módulos de automatización para generar Isolíneas a partir de un archivo de puntos, permitiendo su rápida ejecución. Una vez definidos los datos de entrada, el módulo de Isolíneas insertado en el proyecto agiliza los procesos y tiempos de ejecución, las Isoyetas es sólo una aplicación, pero se pueden generar todo tipo de Isolíneas tales como Isotermas, Isobaras y Curvas de Nivel entre otras.

Como el municipio de San José de Miranda carece de estación meteorológica se utilizó la información de la precipitación previamente solicitada al IDEAM, de las estaciones de los Municipios de Molagavita, Málaga, Carcasí y Capitanejo.

En función de la Altitud y Latitud varia la Precipitación y con los datos pluviométricos (Grafica 17) de las estaciones meteorológicas anteriormente mencionados (Tabla 59) se obtiene el mapa general de las ocho Microcuencas objeto del estudio que se puede observar en la siguiente figura 50

Grafica 17. Precipitación Total anual (mm) de los municipios que intervienen en el proceso de interpolación para un periodo de dieciséis años.

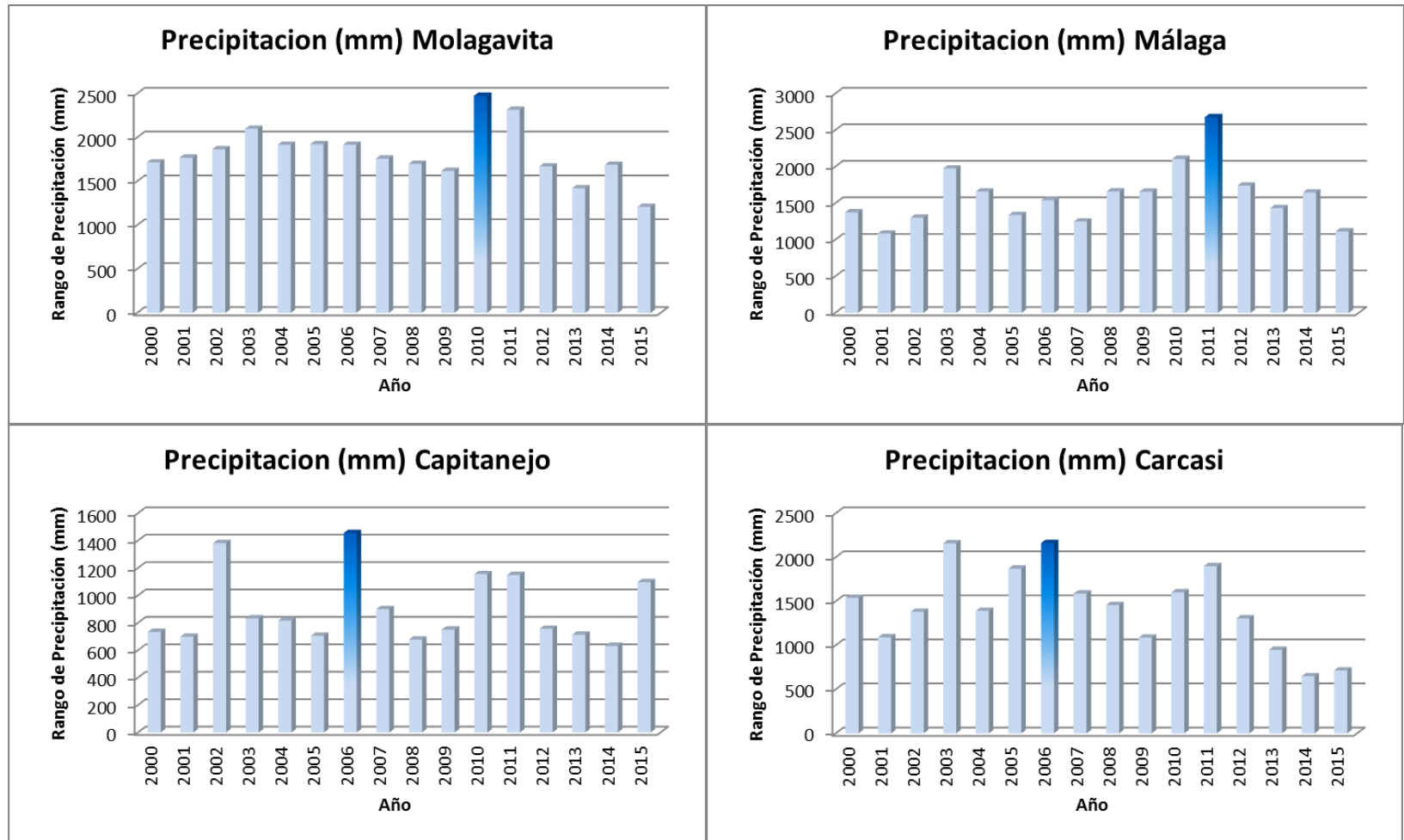
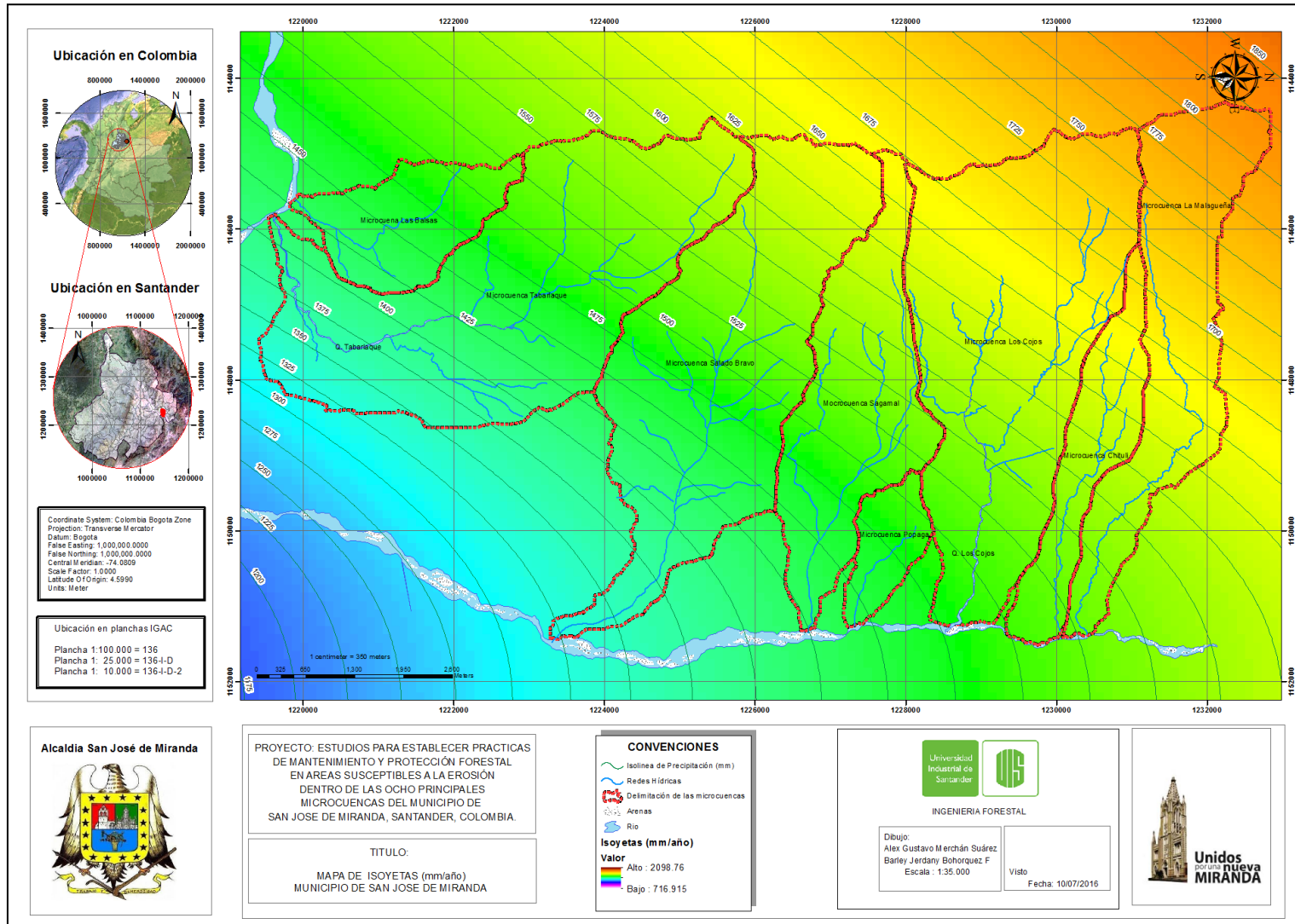


Figura 50. Precipitación total multianual para el municipio San José de Miranda.



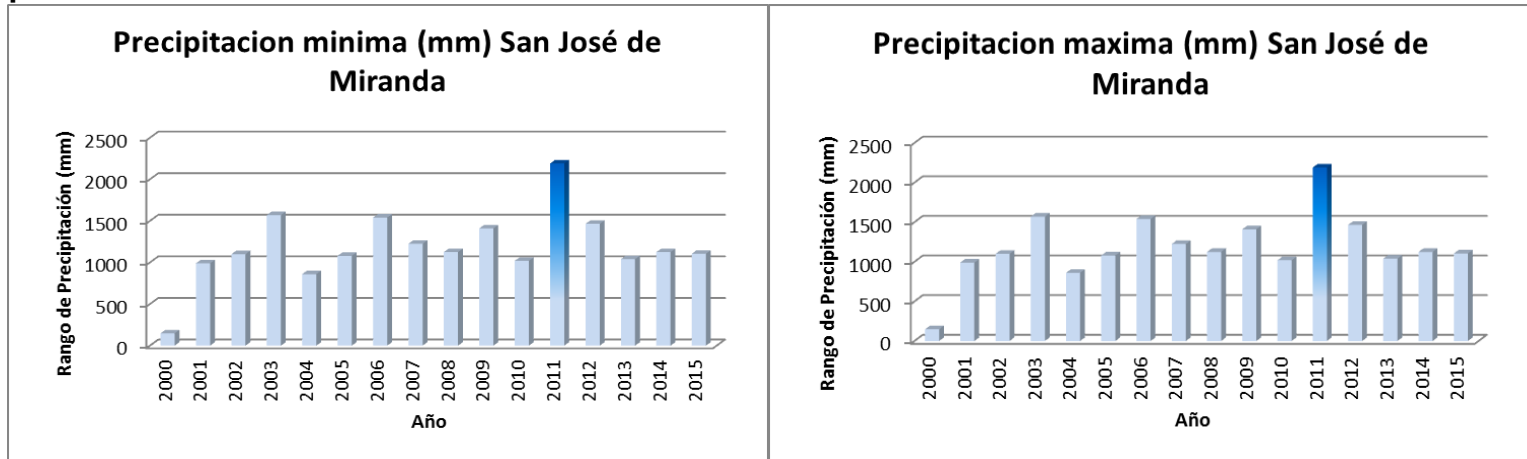
Con base en este proceso y teniendo el valor total de la precipitación para el área de estudio, se determinó que el mayor régimen pluvial fue registrado en el **año 2011** (Tabla 60), entonces, estos patrones fueron los escogidos para llevar a cabo el análisis de erosión hídrica bajo el modelo de precipitación en condiciones extremas.

Tabla 60. Registros de Precipitación municipio de San José de Miranda, derivados del proceso de Interpolación.

Precipitación total anual (mm) para San José de Miranda		
Año	Min	Max
2000	148	1680
2001	990	1500
2002	1100	1700
2003	1570	2148
2004	860	1945
2005	1080	1750
2006	1540	1810
2007	1225	2555
2008	1125	1760
2009	1410	2475
2010	1020	3675
2011	2190	3740
2012	1465	2620
2013	1040	1485
2014	1125	1750
2015	1105	1180

Posteriormente y teniendo en cuenta los valores de precipitación tanto en condiciones normales (Precipitación total multianual) como en condiciones extremas (Año 2011), se calculó el índice Modificado de Fournier (Ver graficas 18 y 19) y el Factor R de erosividad pluvial para los dos escenarios (Ver figura 51 y 52)

Grafica 18. Precipitación Min.y Max. para área total de San Jose de Miranda derivada del proceso de interpolación



Grafica 19. Índice modificado de Fournier para los modelos en condiciones Normales y Extremas de Precipitación

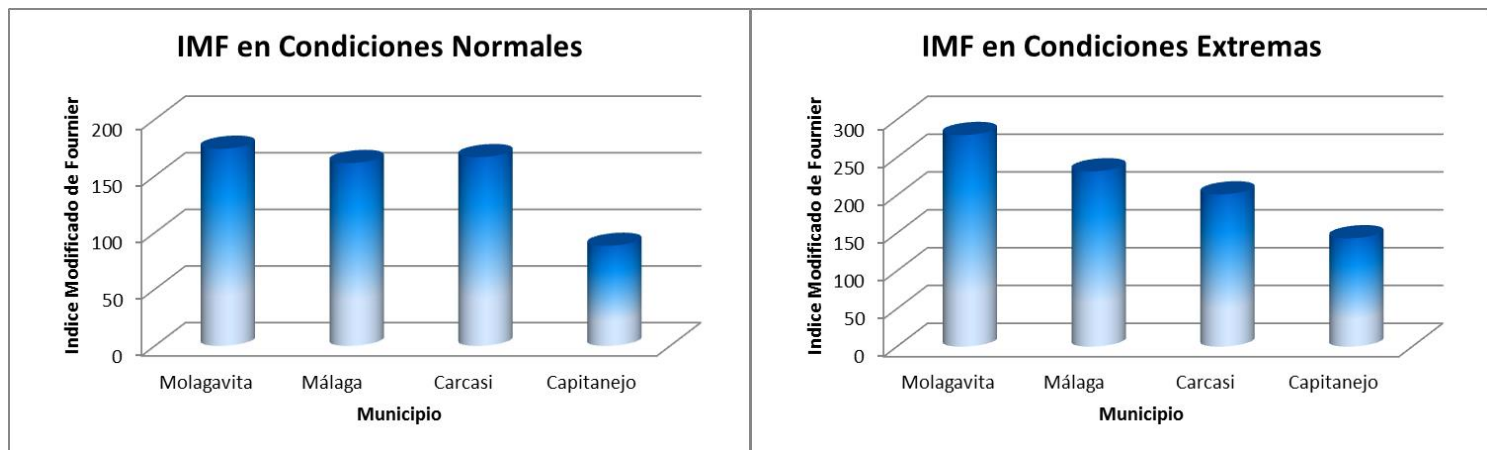


Figura 51. Mapa Factor R, para condiciones Normales de Precipitación para las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda

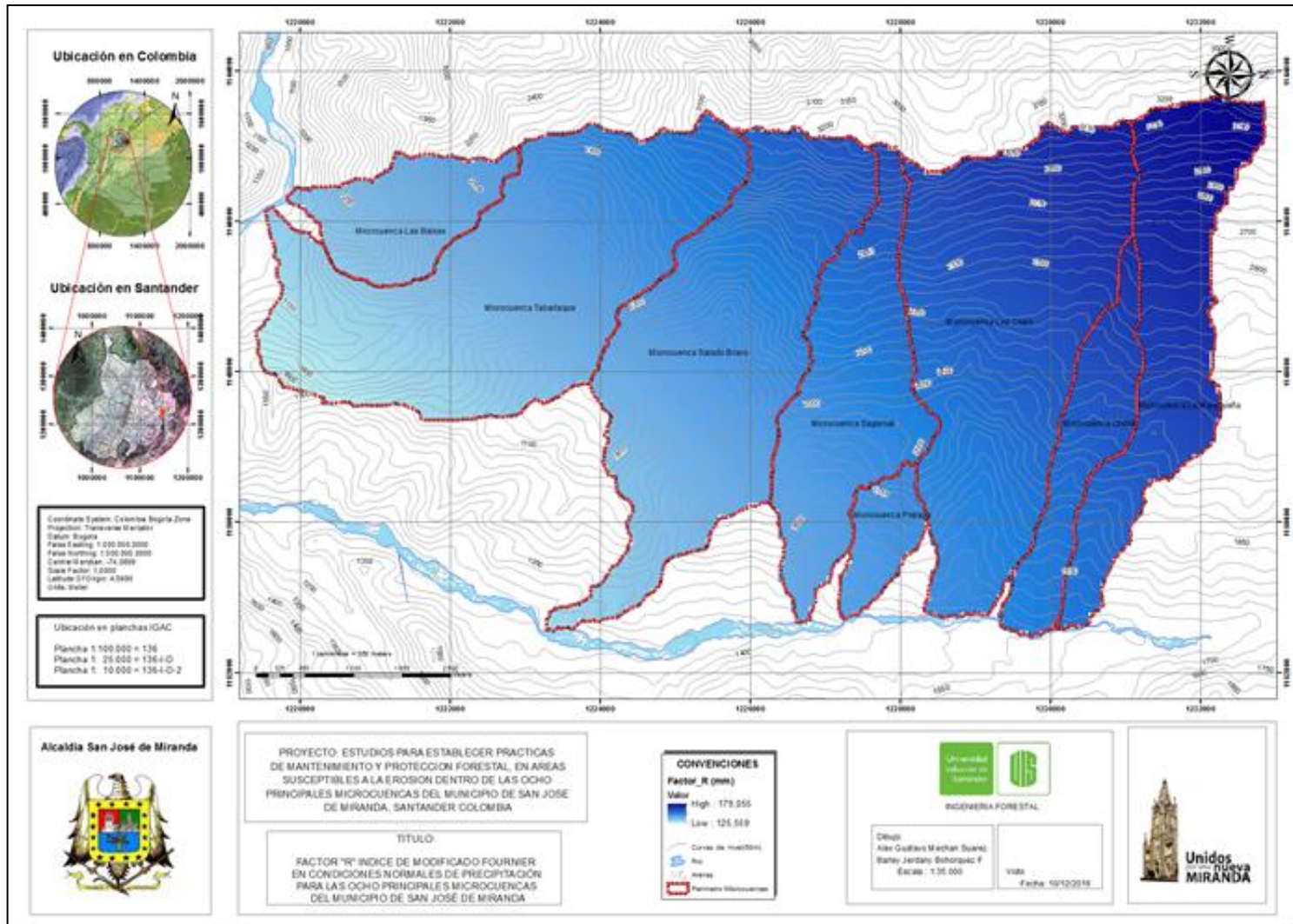
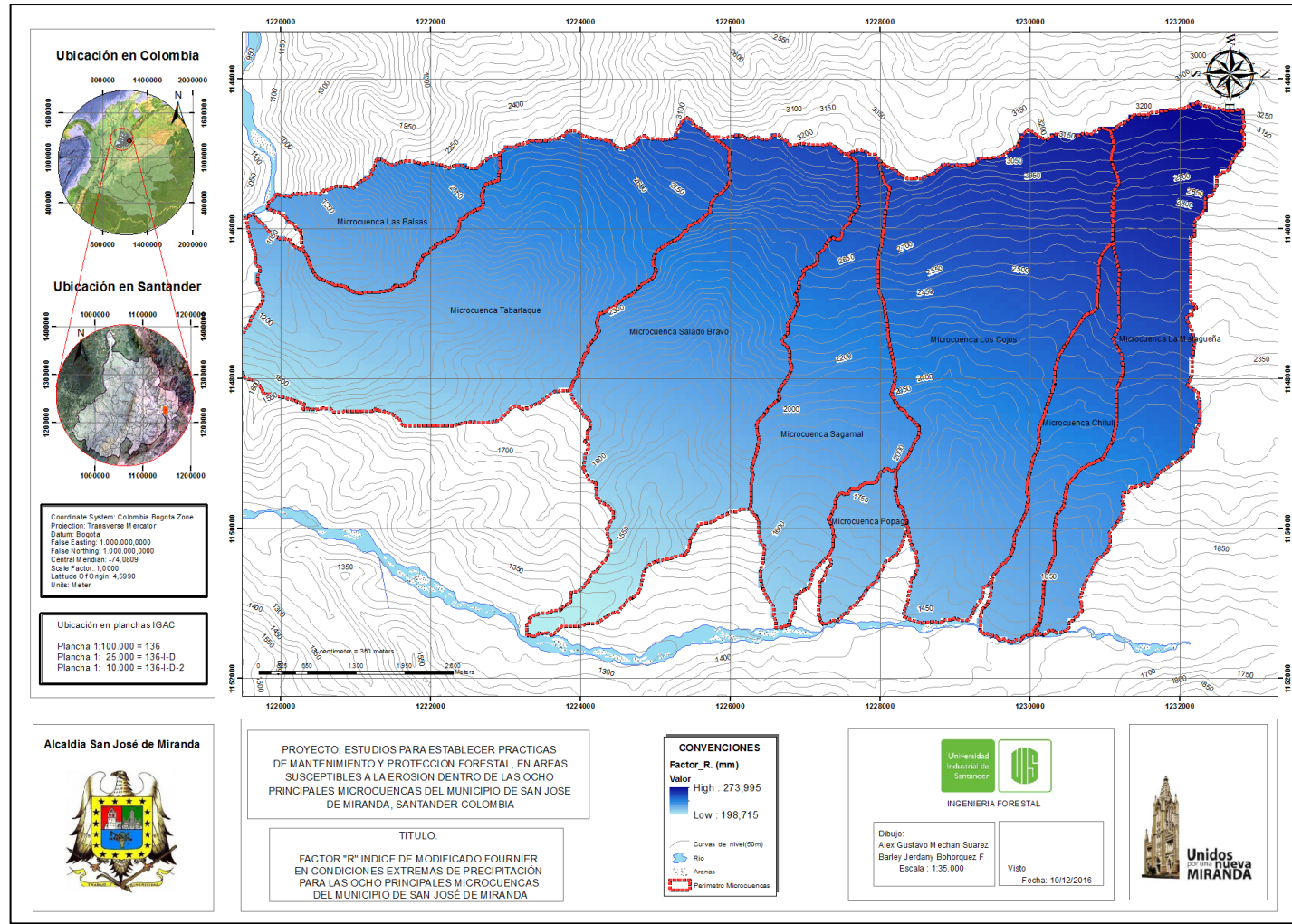


Figura 52. Mapa Factor R para condiciones Extremas de Precipitación en las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda



Factor K : (Ortiz, Gómez, & Khalajabadi, 2009) la Erodabilidad o Factor K, es una medida de la susceptibilidad del suelo al desprendimiento y transporte de sus partículas, la cual está influenciada por numerosas propiedades, tales como textura, estabilidad estructural, contenido de materia orgánica, mineralogía de arcillas y constituyentes químicos, entre otros⁴²

(RIVERA P., 1997) El Factor K representa el grado de resistencia natural que ofrece el suelo a ser erosionado, al actuar sobre éste los otros factores erosivos (KIKBY M. & MORGAN R., 1984) Este Factor refleja el hecho que diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas, cuando los demás factores que afectan la erosión son los mismos

Manipulación de información geológica (Componente Geológico): para determinar el Factor “K”, fue necesario consultar la información geológica del municipio de San José de Miranda, ya que es importante conocer las clases texturales que conforman las ocho principales Microcuencas de este, para ello se consultó la información del E.O.T de 2003.

⁴² RAMÍREZ ORTIZ, Fernando Andrés; HINCAPIÉ GÓMEZ, Edgar; SADEGHIAN KHALAJABADI, Siavosh. Erodabilidad de los suelos de la zona central cafetera del departamento de caldas. En: CENICAFE,2009, vol. 60 no.1. p.58-71

Tabla 61. Resumen de las unidades litológicas del municipio de San José de Miranda

EDAD	TIPO	UNIDADES	FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN
Devónico	Sedimentarias	Dfm	Floresta	Limolitas y arcillas laminadas, amarillo crema, de aspecto sedoso y areniscas de grano fino.
Jurásico		Jg	Girón	Conglomerados masivos, lenticulares, areniscas conglomeráticas, gris amarillentas a pardo rojizas y limolitas pardo rojizas.
Cretácico		Kscm	Colón y Mito-Juan	Arcillas negras laminadas areniscas grises de grano fino micáceas, areniscas verdes con oolitos de hierro y algunas capas delgadas de carbón.
		Ksl	La Luna	<i>PARTE SUPERIOR:</i> Calizas en bancos delgados, capas de chert delgadas, arcillas negras laminadas y algunos bancos fosfáticos delgados. <i>PARTE INFERIOR:</i> Arcillas negras laminadas con capas delgadas de chert negro, concreciones calcáreas aplanadas hasta de 2 m de diámetro.
		Ksc	Capacho	Arcillas negras laminadas, calizas fosilíferas, calizas y areniscas calcáreas con exogira squamata, calizas con estructura "cone in cone" y areniscas formando un nivel importante hacia la base.
		Kia	Aguardiente	Areniscas blancas cuarcíticas, compactas, de grano fino a grueso, excepcionalmente conglomeráticas con delgados niveles de arcillas negras laminadas intercaladas.
		Kitm	Tibu-Mercedes	<i>PARTE SUPERIOR:</i> Arcillas negras laminadas con intercalaciones arenáceas. <i>PARTE INTERMEDIA:</i> Calizas gris oscuras, compactas, fosilíferas. <i>PARTE INFERIOR:</i> Areniscas blancas cuarcíticas de grano fino a grueso, a veces conglomeráticas.
		Kirn	Rio Negro	Areniscas blancas a grises, grano medio a grueso gradando a conglomerados que presentan localmente muscovita y moteado de materia orgánica. Intercalaciones de lutita negra, localmente arenosa
		Terciario	Tec	Carbonera
Tem			Mirador	Areniscas de grano grueso, arcillosas, conglomerados con guijos redondeados de 2 a 3 cm; y arcillas grises amarillentas y rojizas.
Tplc			Los Cuervos	Limos verdes en la base, arcillas abigarradas, algunos bancos de arenisca clara, arcillosa, de grano fino y esporádicos mantos delgados de carbón.
Tpb			Barco	Areniscas blancas cuarzosas de grano medio, algunas conglomeráticas, areniscas verdozas y grises de grano fino arcillosas. Arcillas grises oscuras y limos verdosos como intercalaciones dentro de las areniscas.

Fuente: EOT. 2003.

Figura 53 . Mapa Formación Geológica Microcuenca La Malagueña

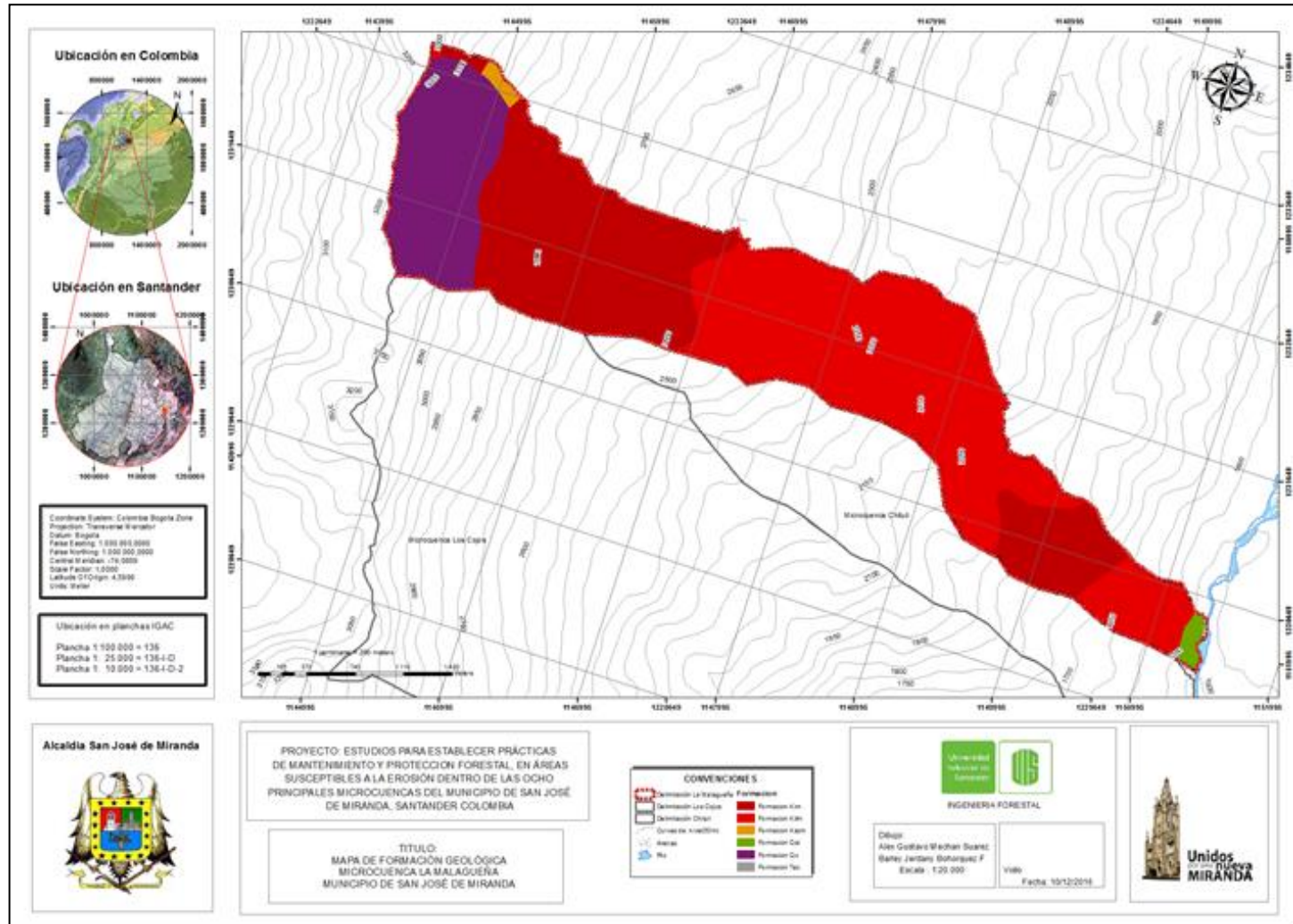


Tabla 62 . Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje, Microcuenca La Malagueña.

FORMACIÓN	ÁREA (%)	CLASE TEXTURAL
Kirn	36,328	Lutitas y Areniscas
Kitm	45,801	Caliza
Kscm	0,576	Arcillas y Areniscas
Qal	0,803	Deposito Aluvial
Qc	16,446	Deposito Coluvial
Tec	0,046	Areniscas Blancas

La Malagueña cuenta con seis Formaciones Geológicas (Ver Tabla 62) y se puede observar que la Kitm conforma la mayor área con 45.801 %, indicando que la clase textural Caliza predomina en esta Microcuenca, seguida de la Formación Kirn con 36.328 % en la parte alta y media-baja, mientras tanto la menor presencia es la Formación Tec con 0.046 % de Areniscas blancas en la parte baja.

La siguiente grafica (Grafica 20) muestra la distribución de las Formaciones Geológicas presentes en toda el área de la Microcuenca, y evidencia el color rojo como el de mayor área con 46%, correspondiente a la Formación Kitm.

Grafica 20. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca La Malagueña.

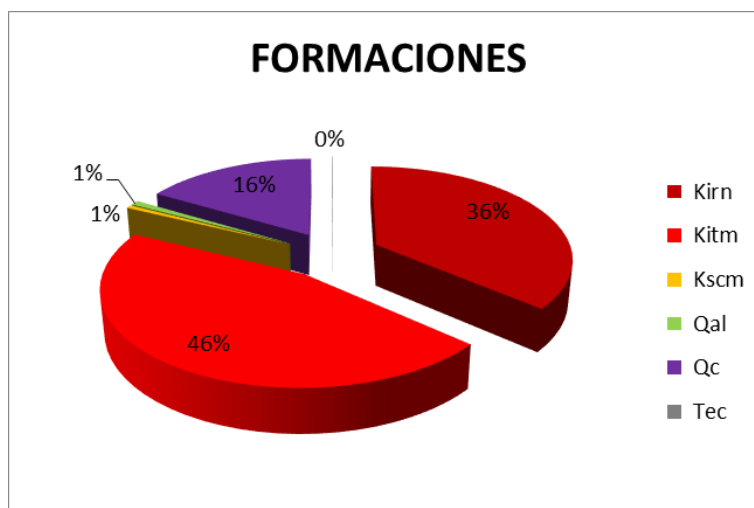


Figura 54. Mapa Formación Geológica Microcuenca Chituli

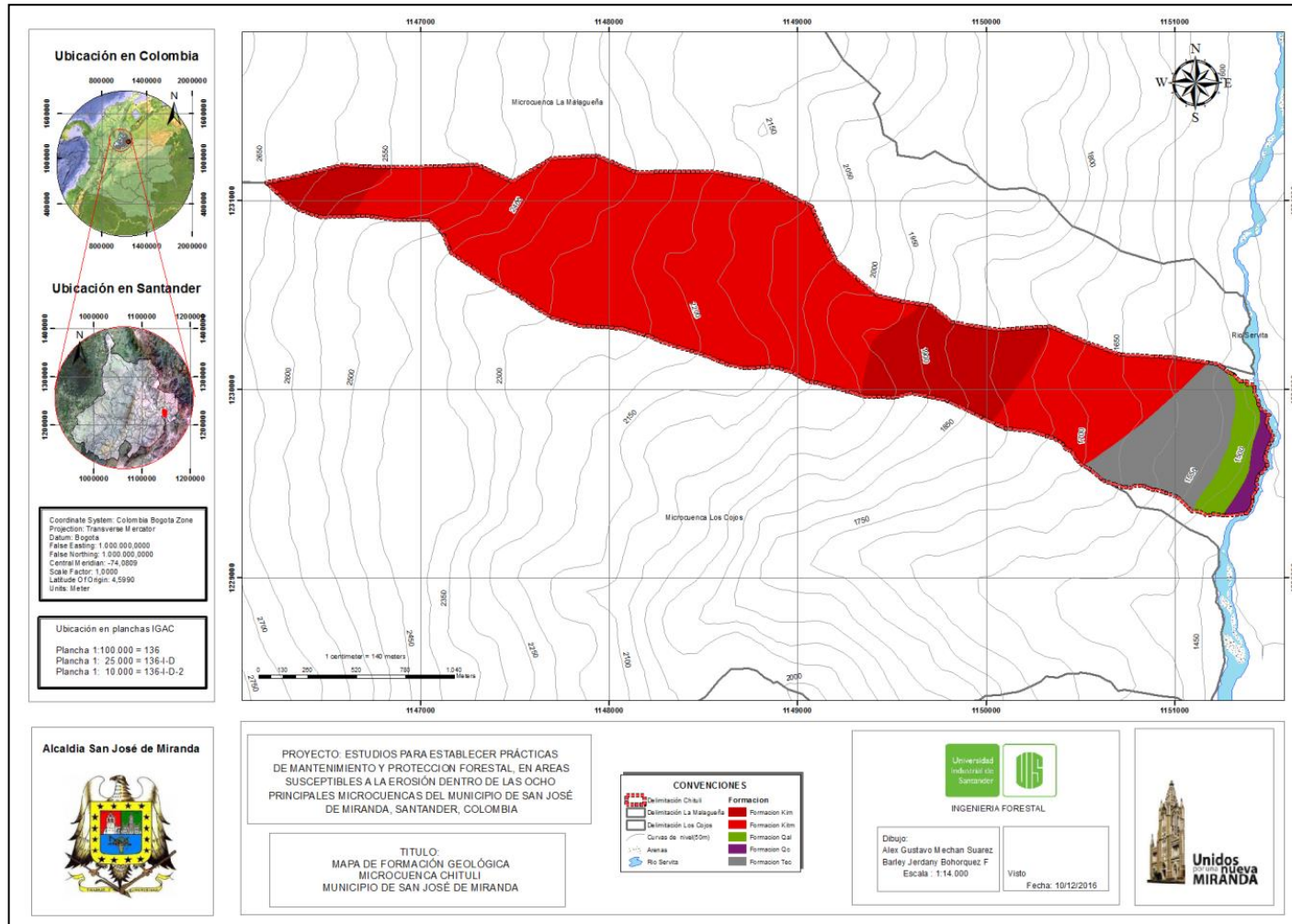


Tabla 63. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje, Microcuenca Chituli.

FORMACIÓN	ÁREA (%)	CLASE TEXTURAL
Kirn	14.369	Lutitas y Areniscas
Kitm	71.698	Caliza
Kscm	3.135	Arcillas y Areniscas
Qal	1.353	Deposito Aluvial
Qc	9.445	Deposito Coluvial

En la tabla anterior (Tabla 63) se aprecia el área en porcentaje con sus respectivas Formaciones y clases texturales presentes en la Microcuenca Chituli; y se evidencia que la formación Kitm es la que sobresale con una ocupación de área del 71.698 % correspondiente a textura caliza, seguida de Lutitas y Areniscas correspondiente a la Formación Kirn, siendo estas dos las que predominan en esta Microcuenca con algo más de un 85 % con respecto al área total.

Grafica 21. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Chituli.



Las Formaciones geológicas presentes en la Microcuenca Chituli están distribuidas como lo muestra el gráfico circular anterior (Grafica 21) con el color

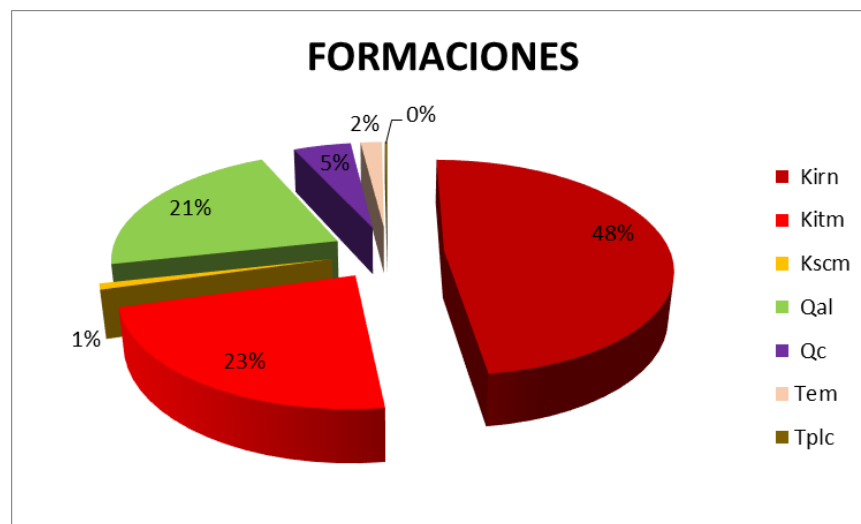
rojo correspondiente a la formación Kitm ocupando la mayoría de área con un 72%.

La Formación Kirn con 47.942 % de área correspondiente a Lutitas y Areniscas es la que mayor presencia hace en la Microcuenca Los Cojos, le sigue la Kitm con 22.657% (Caliza) y los Depósitos Coluviales (Formación Qal) con 21.641 % son las siguientes clases texturales presentes en esta Microcuenca. (Tabla 64)

Tabla 64. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje, Microcuenca Los Cojos.

FORMACIÓN	ÁREA (%)	CLASE TEXTURAL
Kirn	47.942	Lutitas y Areniscas
Kitm	22.657	Caliza
Kscm	0.894	Arcillas y Areniscas
Qal	4.864	Deposito Aluvial
Qc	21.641	Deposito Coluvial
Tem	1.799	Arenisca Litica
Tplc	0.202	Limos

Grafica 22. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Los Cojos.



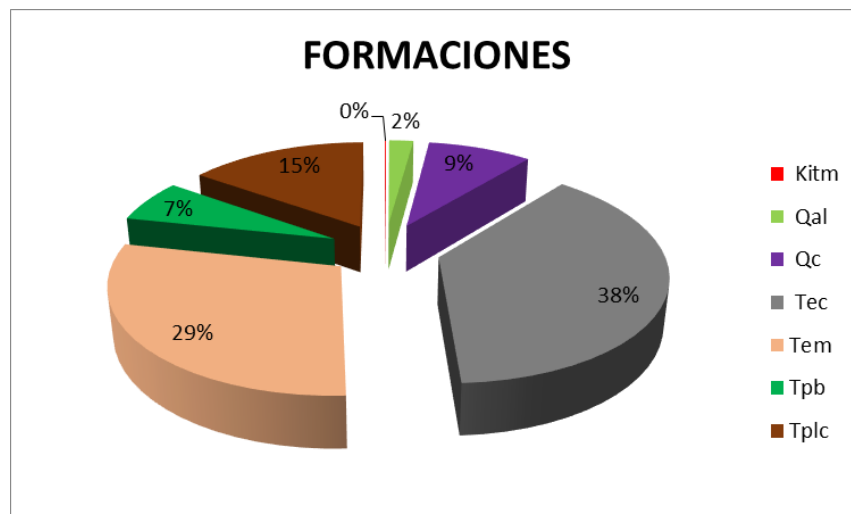
En la gráfica anterior (Grafica 22) La Formación Kirn con cerca de 48 %, muestra el predominio en esta Microcuenca y por otra parte se aprecia que la Formación Tplc con 0.202 % presenta un valor muy mínimo siendo la de menor presencia.

Tabla 65. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje, Microcuenca Popagá

FORMACIÓN	ÁREA (%)	CLASE TEXTURAL
Kitm	0.088	Caliza
Qal	2.059	Deposito Aluvial
Qc	8.850	Deposito Coluvial
Tec	38.234	Areniscas Blancas
Tem	29.119	Arenisca Litica
Tpb	6.479	Arcillas Grises
Tplc	15.171	Limos

La Clase Textural denominada como Areniscas Blancas (Tec) con 38.234 % corresponde a la Formación predominante en esta Microcuenca, seguida de Arenisca Litica (Tem) con 29.119 %, luego se ubica Limos (Tplc) con 15.171 %; siendo estas tres Formaciones las más representativas superando juntas un 80 % con respecto al área total de Popagá como se puede apreciar en la tabla anterior (Ver Tabla 65).

Grafica 23. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Popagá.



Al contrario de las Microcuencas anteriores en donde la Formación Kitm tiene gran presencia, para Popagá tan solo registra un 0.088 % con respecto a su área total. Esta Formación correspondiente a la Clase Textural Caliza debe su escasa presencia a que es una Microcuenca pequeña y comprendida en un gradiente altitudinal comprendido entre los 1751-1366 m.s.n.m.

Figura 57. Mapa Formación Geológica Microcuenca Sagamal

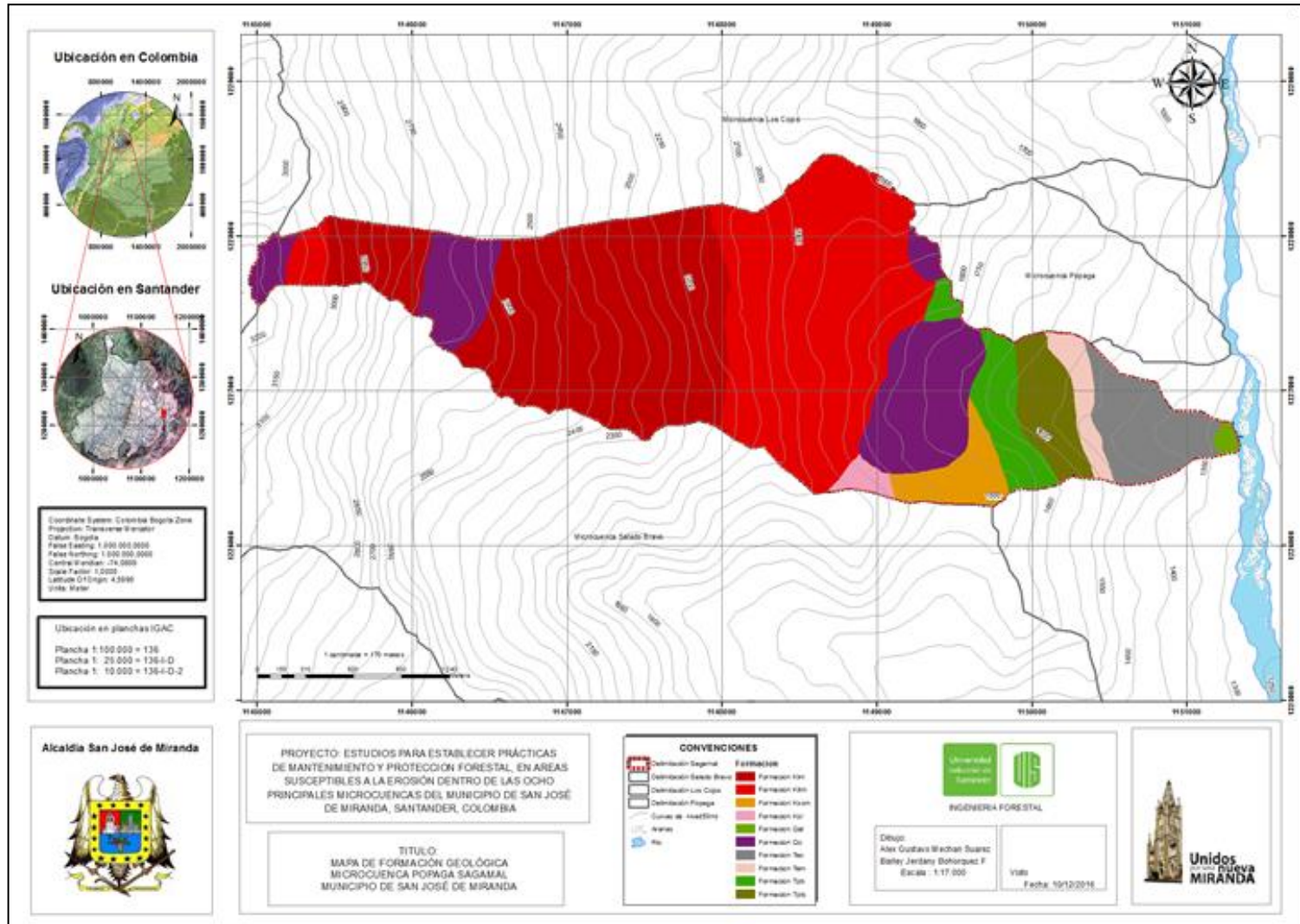
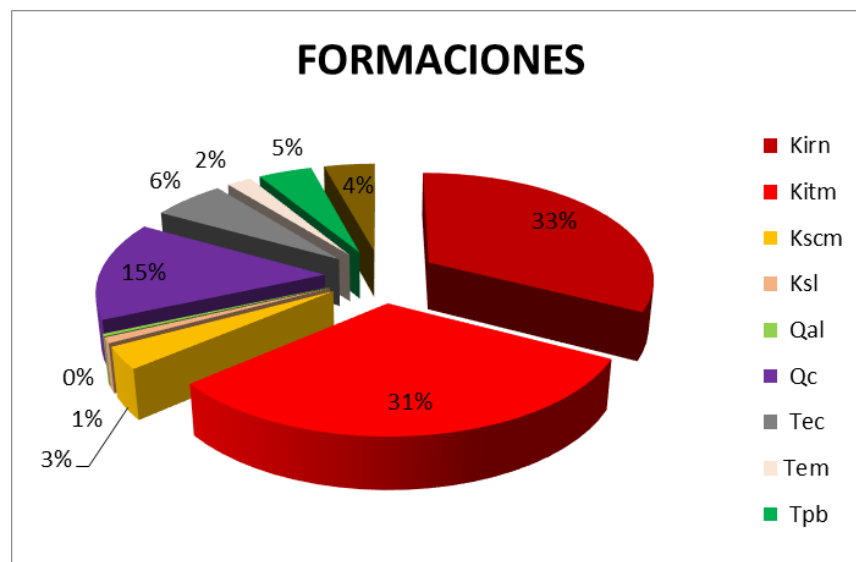


Tabla 66. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje, Microcuenca Sagamal

FORMACION	Porcentaje (%)	CLASE TEXTURAL
Kirn	32.561	Lutitas y Areniscas
Kitm	31.360	Caliza
Kscm	3.269	Arcillas y Areniscas
Ksl	0.843	Arcillas Negras Laminadas
Qal	0.357	Deposito Aluvial
Qc	14.744	Deposito Coluvial
Tec	6.066	Areniscas Blancas
Tem	2.073	Arenisca Litica
Tpb	4.487	Arcillas Grises
Tplc	4.240	Limos

En la tabla anterior (Tabla 66) se puede apreciar que las Formaciones Kirn y Kitm con 32.561 % y 31.36 % respectivamente son las de mayor presencia, seguida con 14.744 % correspondiente a la Formación Qc de Clase Textural Deposito Coluvial en la Microcuenca Sagamal.

Grafica 24. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Sagamal.



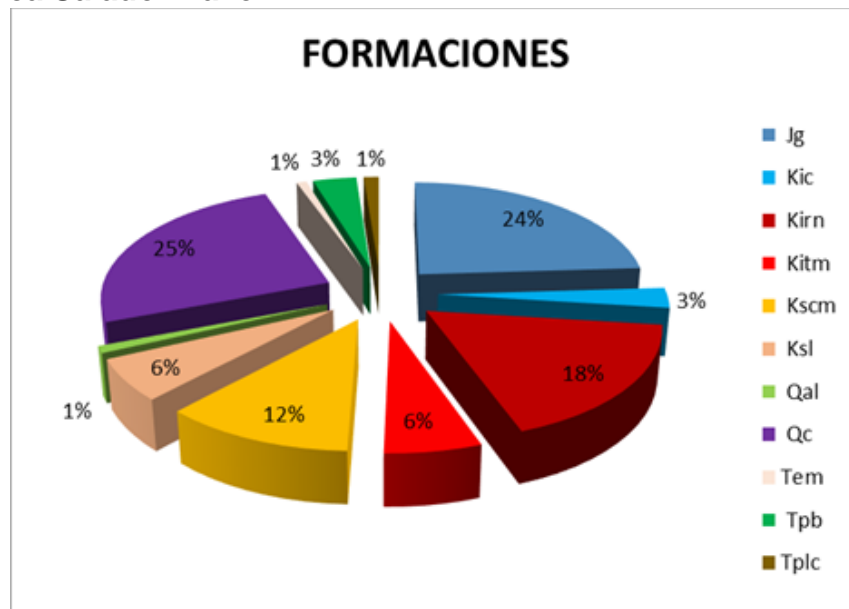
En la gráfica anterior (Grafica 24) se observa que para la Microcuenca Sagamal la conforman diez formaciones geológicas, evidenciando que la Qal y Ksl son las de menor presencia con 0.357 % y 0.843 % respectivamente con relación a su área total , mientras que la Kirn con 32.561 % y la Kitm con el 31.36 % , son las de mayor presencia.

Tabla 67. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje, Microcuenca Salado Bravo.

FORMACIÓN	Porcentaje (%)	CLASE TEXTURAL
Jg	24.021	Arenisca Conglomerática
Kic	2.924	Marga
Kirn	17.601	Lutitas y Areniscas
Kitm	5.898	Caliza
Kscm	11.596	Arcillas y Areniscas
Ksl	6.086	Arcillas Negras
Qal	1.020	Deposito aluvial
Qc	25.300	Deposito Coluvial
Tem	0.812	Arenisca Litica
Tpb	3.528	Arcillas Grises
Tplc	1.213	Limos

Para la Microcuenca Salado Bravo se tiene que Las Formaciones Qc con 25.3 % y Jg con 24.021 % predominan con un poco menos del 50 % del área total; mientras que Qal con 1.02 % y 1.213 % respectivamente son las formaciones de menor presencia.

Grafica 25. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Salado Bravo.



Esta Microcuenca está conformada por once Formaciones Geológicas donde se aprecia el predominio con respecto al área total de las Clases Texturales: Deposito Coluvial con 25 %, Arenisca Conglomerática con 25 % y Lutitas y Areniscas con 18 %, por otra parte las de menor presencia son: Arenisca Litica con 1 % y Deposito Aluvial con un poco más del 1 %, como se puede evidenciar en el grafico anterior (Ver Grafica 25).

Figura 59. Mapa Formación Geológica Microcuenca Tabarlaque

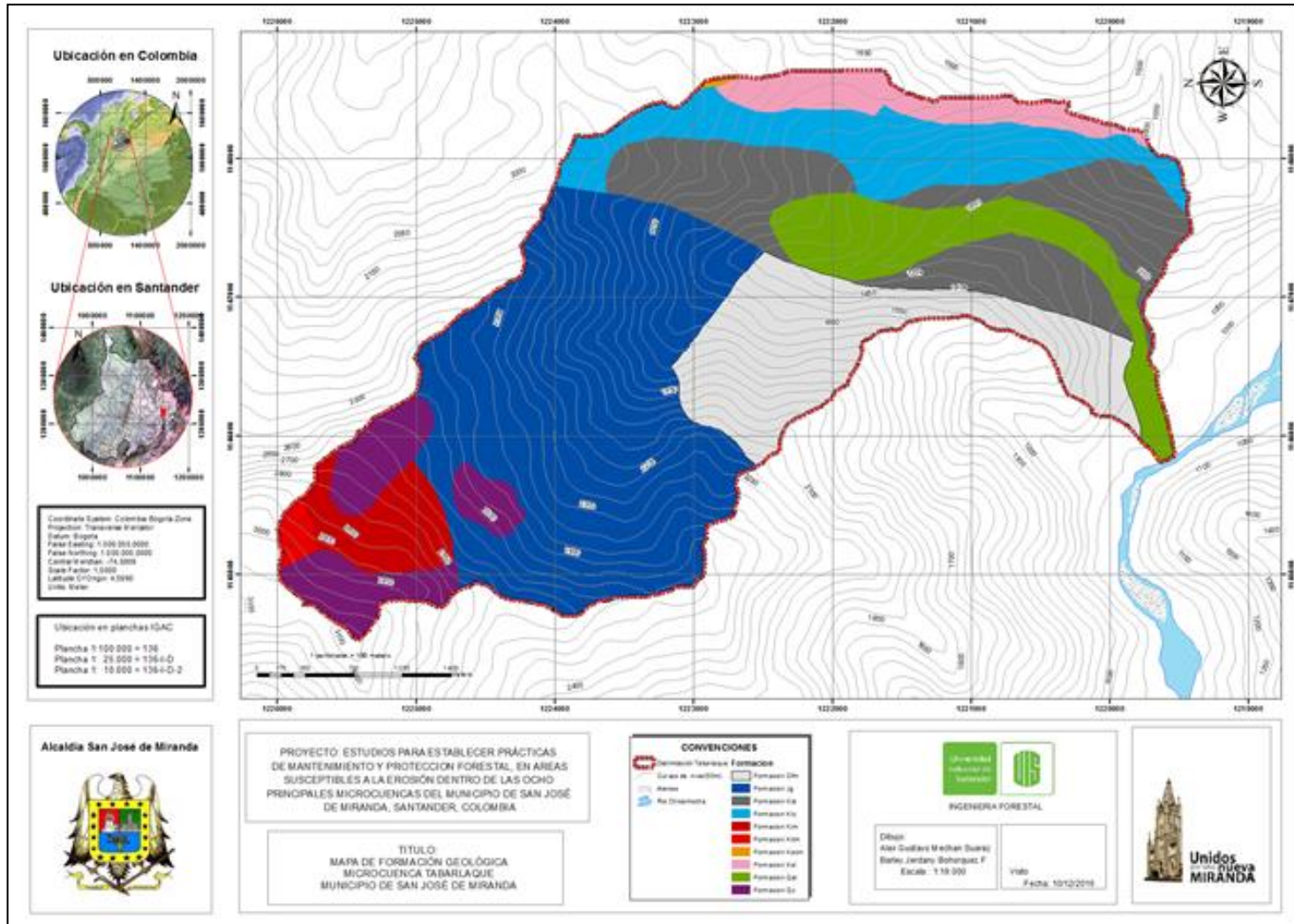
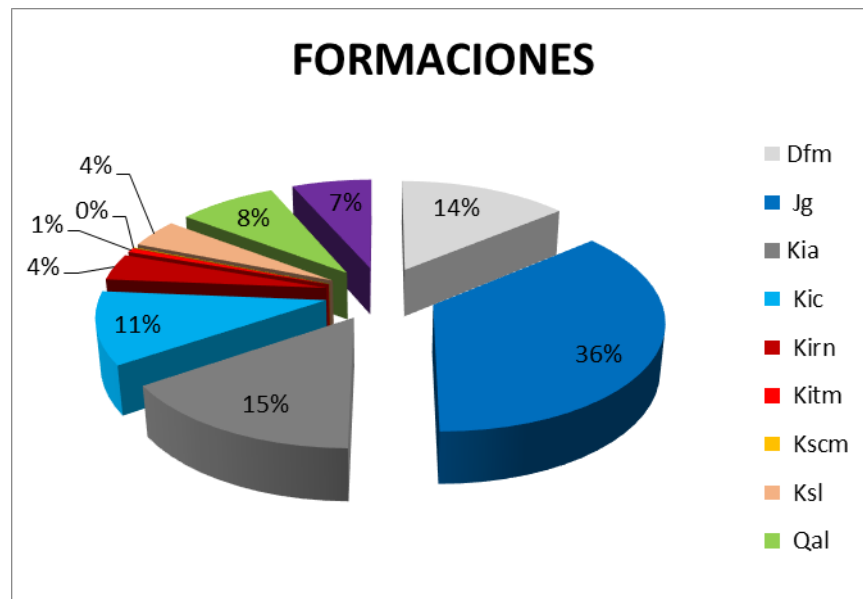


Tabla 68. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje de las Microcuenca Tabarlaque.

FORMACIÓN	Porcentaje (%)	CLASE TEXTURAL
Dfm	14,014	Metareniscas
Jg	36,082	Arenisca Conglomerática
Kia	15,458	Arenisca Blanca
Kic	10,768	Marga
Kirn	3,935	Lutitas y Areniscas
Kitm	0,655	Caliza
Kscm	0,084	Arcillas y Areniscas
Ksl	4,233	Arcillas Negras
Qal	8,177	Deposito Aluvial
Qc	6,595	Deposito Coluvial

En la tabla anterior (Tabla 68) se observa que la Formación que predomina es la Jg con 36.082 %, seguida de Kia y Dfm con 15.458 % y 14.014 % respectivamente; entre estas tres acumulan un poco más del 65 % con relación al área total de la Microcuenca Tabarlaque.

Grafica 26. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Tabarlaque.



En la gráfica anterior (Grafica 26) se observa que las Formaciones Kscm, Kitm, Kirn, son las de menos presencia en la Microcuenca Tabarlique y no alcanzan a sumar juntas un 4 %, con respecto a las Formaciones Jg, Kia y Dfm las cuales alcanzan un poco más del 65 % con respecto al área total de la Microcuenca.

Figura 60 . Mapa Formación Geológica Microcuenca Las Balsas

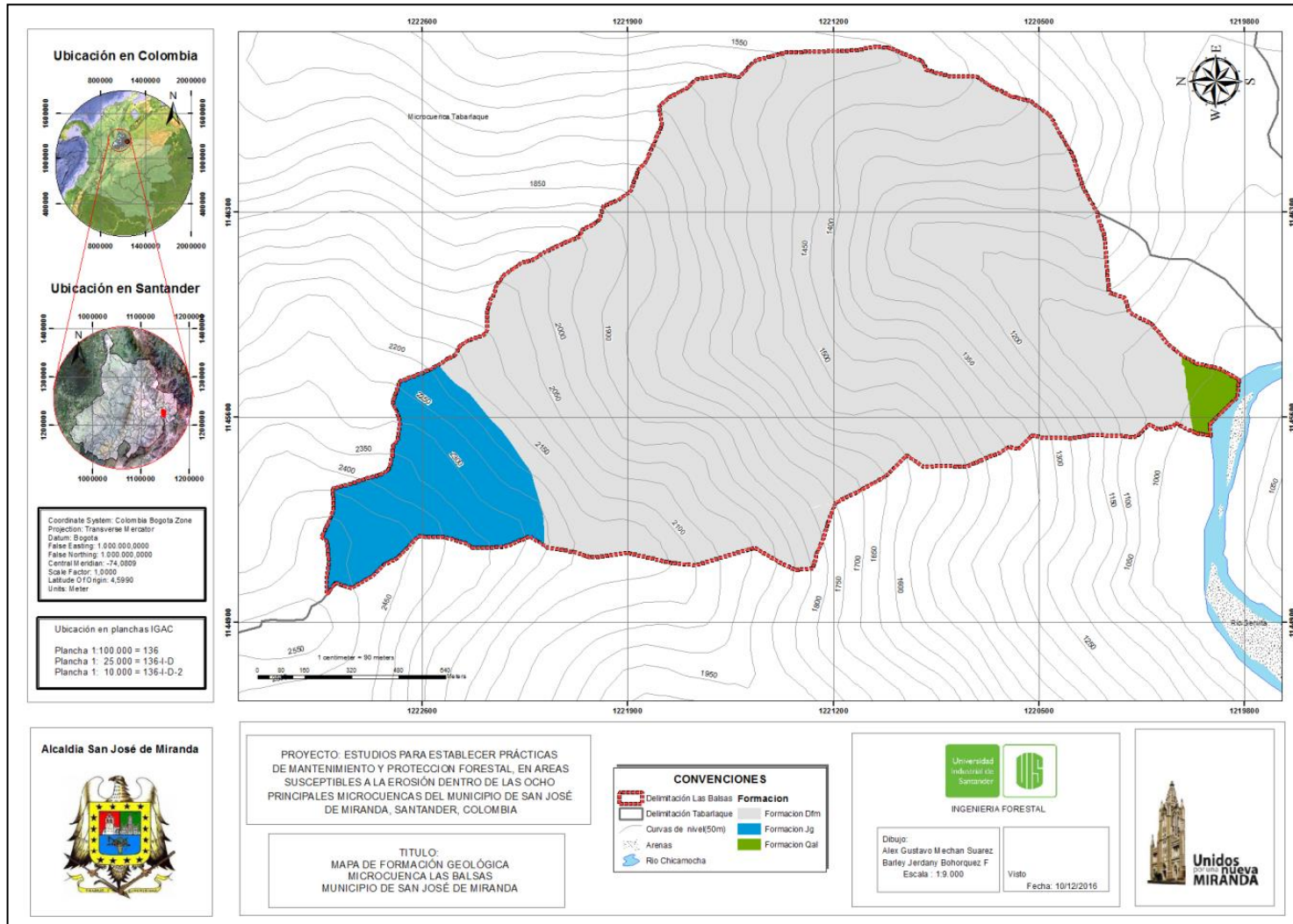


Tabla 69. Formaciones Geológicas, Clase Textural y Área en porcentaje Microcuenca Las Balsas.

FORMACIÓN	PORCENTAJE (%)	CLASE TEXTURAL
Dfm	89,460	Metareniscas
Jg	9,575	Arenisca Conglomerática
Qal	0,965	Deposito Aluvial

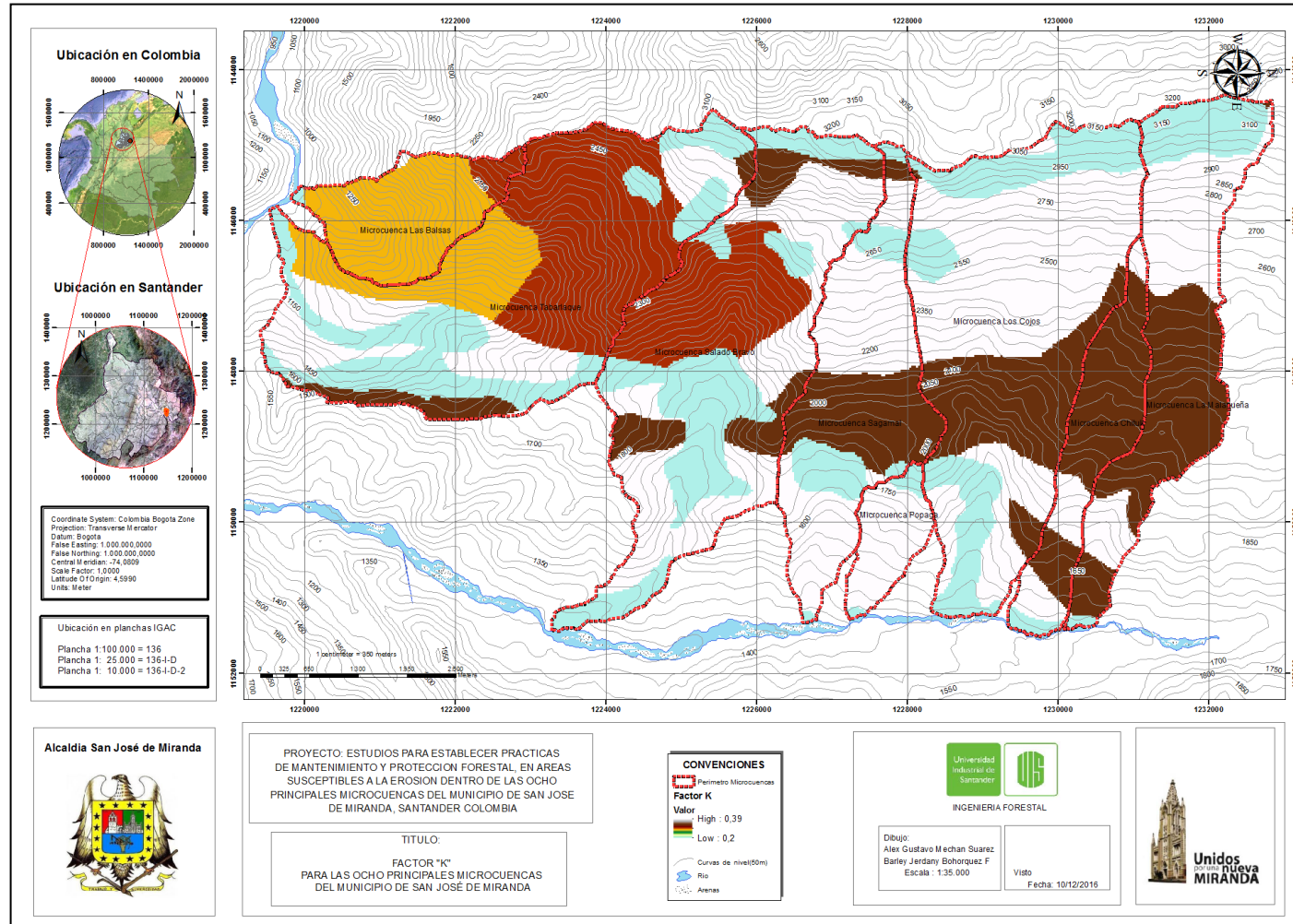
A diferencia de las otras Microcuencas que cuentan con seis o más Formaciones Geológicas Las Balsas tan sólo presenta tres que son: Dfm con 89.46 %, Jg con 9.575 % y Qal con 0.965 %.

Grafica 27. Porcentaje de las Formaciones Geológicas presentes. Microcuenca Las Balsas.



Como se observa en el gráfico circular (Grafica 27), la Formación Dfm de color gris está abarcando la mayoría del área en porcentaje para la Microcuenca Las Balsas con 89 % y la de menor presencia es Qal con un poco menos del 1 %. Teniendo en cuenta las clases texturales que conforman cada Microcuenca y los respectivos valores de “K” para cada una de ellas, se desarrolló el mapa de Factor K tal y como lo muestra la siguiente figura (figura 61).

Figura 61. Mapa Factor K para las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda



Factor LS: (Peralta, 1976) el agua que cae sobre el suelo y escurre por su superficie, no condiciona por sí sola el grado de erosión, sino que se encuentra fuertemente influenciado por la pendiente, la cual actúa por medio del largo de ella, lo que determina una mayor acumulación de agua escurriéndose por la misma en el grado de inclinación de ésta, lo cual condiciona la velocidad de escurrimiento de las aguas.

(León, Alcántara, & Celis, 2011) El efecto de la topografía sobre la erosión está representado por los factores: longitud (L) y grado de pendiente (S). La longitud L se define como la distancia desde el punto de origen de un escurrimiento hasta el punto donde decrece la pendiente, al grado de que ocurre una sedimentación o bien hasta el punto donde el escurrimiento, una vez concentrado, encuentra un canal de salida bien definido. El factor de grado de pendiente (S) refleja la influencia del ángulo de la misma en la erosión. La pendiente puede ser determinada usando mapas topográficos con curvas a nivel equidistantes, si se tiene el cuidado adecuado, o en el mejor de los casos, utilizando un DEM (Modelo Digital de Elevación)⁴³

Para el cálculo del factor LS se aplicó la siguiente expresión:

$$LS = (0.0065 + 0.0456 * S + 0.006541 * S^2) * (resolución/22.1)^2$$

Dónde:

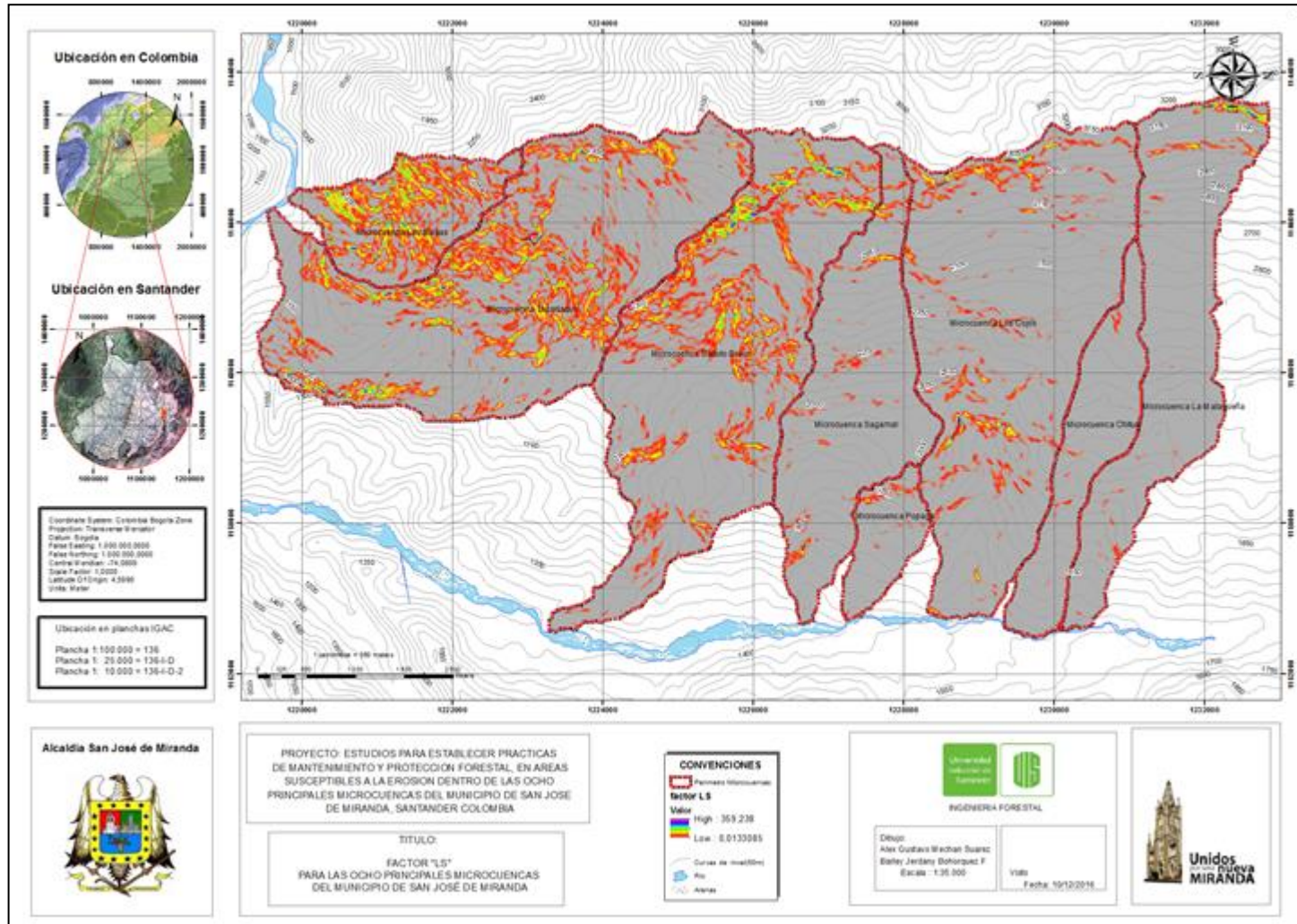
S: Pendiente del terreno expresada en porcentaje

Resolución: Resolución de la capa raster (12.5m)

Una vez realizado el cálculo se obtiene el factor **LS** representado en la siguiente figura (figura 62).

⁴³ MONTES LEÓN, María Alejandrina Leticia; URIBE ALCÁNTARA, Edgar Misael; GARCÍA CELIS, Efraín. Op. Cit. p. 5 - 17.

Figura 62. Mapa Factor LS para las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda



6.2.5 Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo USLE: (Cuellar & et, 2013) la expresión de la USLE, comprende la tasa de pérdidas de suelo por erosión hídrica (**A**) como una función directamente proporcional a las variables de: Índice de erosión de la lluvia (**R**), Factor de erodabilidad de los suelos (**K**), Factor de cobertura vegetal (**C**), y el Factor topográfico (**LS**); tal como se describe en la siguiente expresión. (La tasa de pérdidas de suelo por erosión hídrica (**A**) está dada en ton/ha/año)⁴⁴

$$A = C * R * K * LS$$

Donde,

A: Dada en ton/ha/año

C: Adimensional

R: Dada en Mj-mm/ha-h

K: Dada en (ton/ha) / (Mj/mm/h)

LS: Adimensional

Teniendo estos factores determinados, se ejecutó la función **mapa de algebra** de Argis v.10.3 dando como resultado la cartografía final de erosión potencial para cada uno de los modelos planteados, en condiciones Normales y en condiciones Extremas de Precipitación.

6.2.6 Cartografía de erosión: como resultado del procesamiento algebraico y raster de cada uno de los Factores de erosión fue posible identificar las áreas con mayor afectación ante esta problemática para el total del área del municipio de San José de Miranda. Toda la información adaptada permitió generar los respectivos mapas de erosión de suelos, para los cuales se vio la necesidad de realizar procesamiento de reclasificación con el fin de generar una salida temática de fácil interpretación.

⁴⁴ CUELLAR, R., et al. Ecuación Universal de Perdida de Suelo. Bogota: Universidad de La Salle.2013. p.8

Todas las capas de información final fueron empleadas en formato raster, es decir, capas con píxeles de 80 x 80 metros del territorio, a los cuales se les asocio la respectiva información ambiental.

Esto permite conocer con valores exactos los parámetros de los que depende la erosión y su valor final (Ver tabla 70). Por tanto se generó una capa de análisis para el total del territorio donde se describen seis diferentes calificaciones, tal y como se pueden identificar a partir de la figura 63.

A continuación se presenta un análisis crítico de la erosión potencial para el municipio, iniciando desde el nivel veredal, seguido del análisis por Microcuencas y finalmente por coberturas, esto para los dos modelos procesados en condiciones Normales y Extremas de Precipitación o Fenómeno de La Niña.

Tabla 70. Rangos de clasificación de la erosión potencial (USLE)

Tipo	Rango (ton/ha/año)	Clasificación	Descripción
1	< 50	Baja	Zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables. Probablemente no hay erosión neta.
2	50 - 100	Media	Zonas con procesos erosivos leves. Existe erosión, aunque no es apreciable a simple vista.
3	100 - 150	Considerable	Zonas con procesos erosivos moderados. Existe erosión aunque puede no ser apreciable a simple vista.
4	150 -200	Alta	Zonas con procesos erosivos graves. Existe erosión y es apreciable a simple vista.
5	200 - 250	Muy Alta	Zonas con procesos erosivos muy graves. Existe erosión y es manifiesta a simple vista.
6	> 250	Extrema	Zonas con procesos erosivos extremos. Existe erosión y es evidente a simple vista.

Fuente: IDER.2005

(IDER Ingeniería y Desarrollo Rural, 2005) para una densidad aparente media de 1 ton/m³ del suelo y para unas pérdidas de suelo de 10 ton/ha/año, se produciría

una reducción del espesor del suelo de 1 milímetro al año. La velocidad a la que se genera material fino en el suelo es también de este orden, aunque varía en función de diversos factores, por lo que para valores de pérdidas por erosión de hasta 10 ton/h-año, en general no puede hablarse de pérdidas netas. Sin embargo, cuando las pérdidas llegan a 100 ton/ha /año, la reducción del espesor del suelo es del orden de 1 cm/año, lo cual hace que sea un nivel de pérdidas neto inadmisibles e incluso que sea observable a simple vista por los efectos que genera en el terreno.⁴⁵

6.2.7 Análisis de erosión bajo condiciones normales de precipitación: en la siguiente figura muestra el factor A derivado del procesamiento raster de la ecuación universal de pérdida de suelo USLE en condiciones normales de precipitación.

⁴⁵ DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE Y POLÍTICA TERRITORIAL. Mapa del grado de erosión hídrica de los suelos.[En línea] Alava (España): Eusko Jaurlaritza, 2005.p.1. [Citado en enero de 2017] Disponible en: http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-7932/es/contenidos/ds_geograficos/erosion/es_opendata/indice.html

Figura 63. Mapa Factor A en condiciones Normales de precipitación para las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda

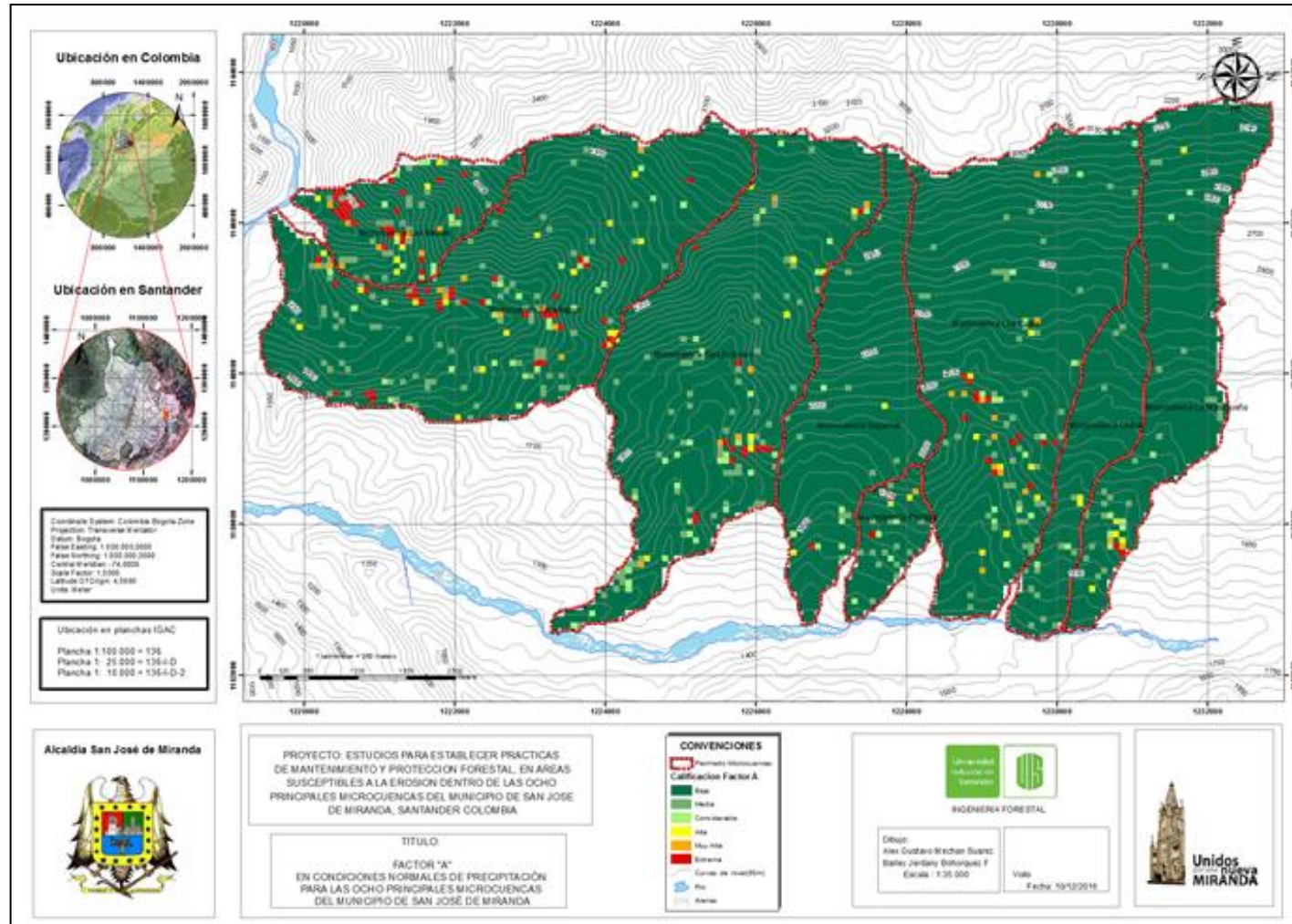


Tabla 71. Calificación de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las veredas de San José de Miranda.

VEREDAS	Calificación y porcentaje erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Carbonera	91.010	4.846	3.286	0.335	0.523	0.000
Cruz de Piedra	97.055	0.893	0.741	0.635	0.062	0.613
Cucharito	89.188	3.851	1.305	0.984	1.047	3.624
Cucurucho	97.175	2.090	0.003	0.330	0.204	0.198
Cutaligua	96.295	1.705	0.590	0.424	0.227	0.758
El Espinal	95.133	3.051	0.547	0.119	0.480	0.670
El Pozo	97.672	0.856	0.697	0.419	0.199	0.156
Lucusguta	98.067	1.431	0.331	0.000	0.171	0.000
Moralito	94.381	3.354	0.892	0.243	0.253	0.878
Popaga	94.651	3.030	1.831	0.000	0.000	0.488
Sagamal	98.389	0.553	0.128	0.274	0.227	0.429
Salado Bravo	91.648	3.080	2.426	0.557	0.351	1.939
Tequia	96.848	1.502	0.813	0.225	0.378	0.234
Tierra Blanca	90.668	5.562	1.465	1.444	0.589	0.273
Versalles	94.604	2.466	0.839	0.164	0.634	1.293
Yerbabuena	99.206	0.680	0.113	0.000	0.000	0.000

Para condiciones normales o promedio de Precipitación en el municipio de San José de Miranda se tiene que:

Para las calificaciones más críticas (Alta, Muy Alta y Extrema), la vereda Yerbabuena no presenta valores para estas categorías, mientras que la vereda Cucharito por el contrario presenta los más altos valores de área en las tres categorías con una suma de 399953,84 m² equivalente a un porcentaje de 5.65 % del área total de la vereda, aclarando que esta es la más grande con 7472085,54 m² o 747,2 ha.

También se tiene que en las veredas Carbonera y Lucusguta no se evidencia erosión Extrema; la vereda Popagá carece de erosión “Alta” y “Muy Alta” pero en cambio evidencia una pequeña área de erosión “Extrema” de 4634,72 m² equivalente a un porcentaje de 0,48 % con respecto al total de la misma.

Para el resto de veredas del municipio de San José de Miranda se registran valores para todas las seis calificaciones anteriormente descritas, donde podemos resaltar que las veredas Cucharito con 256283,6 m² (3,62 %), Moralito con 61155,02 m² (0,87 %) y Salado Bravo que posee 60312,72 m² (1,93 %) poseen los más altos valores respectivamente para la categoría erosión “Extrema”.

En la siguiente gráfica (Grafica 28) están los valores de área representados en porcentaje para una mayor comprensión.

Grafica 28. Porcentaje de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las veredas de San José de Miranda.

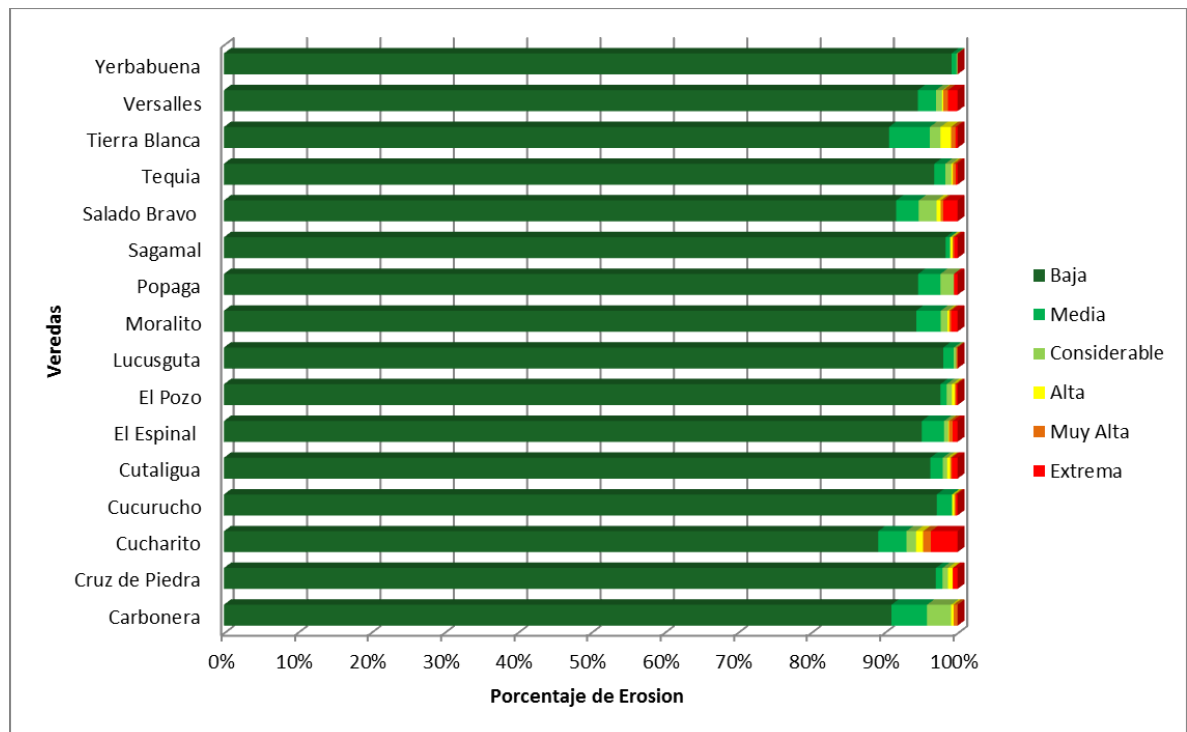


Tabla 72. Porcentaje y Calificación de erosión para condiciones Normales de Precipitación en las ocho principales Microcuencas de San José de Miranda.

MICROCUENCAS	Calificación y Porcentaje (%) de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
La Malagueña	96.984	1.616	0.610	0.413	0.189	0.189
Chituli	97.491	1.788	0.325	0.396	0.000	0.000
Los Cojos	96.472	1.751	0.583	0.313	0.419	0.462
Popaga	91.924	4.566	1.744	0.331	0.331	1.103
Sagamal	98.572	0.835	0.393	0.137	0.000	0.063
Salado Bravo	95.004	2.412	1.331	0.410	0.246	0.598
Tabarlaque	93.955	2.740	0.950	0.603	0.406	1.346
Las Balsas	85.584	4.231	2.097	1.223	1.291	5.573

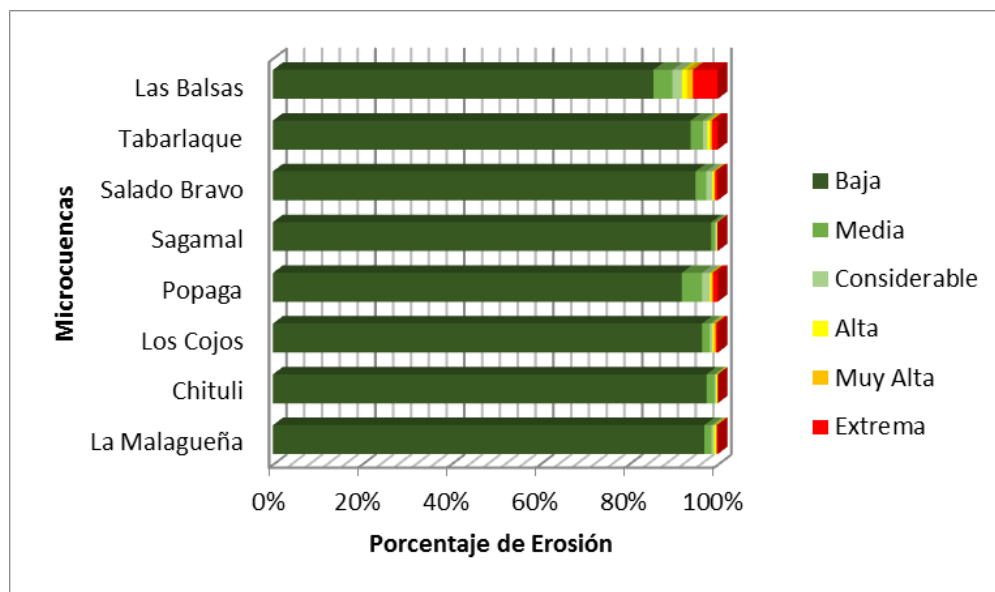
Teniendo en cuenta los datos anteriores se tiene que la Microcuenca Las Balsas, es la más afectada por la erosión en todas sus calificaciones pero en especial en las más críticas. “Alta” con 1,223 %, “Muy Alta” 1,291 % y “Extrema” 5,573 % con respecto al total de su área que es 3,19 km² o 3190000 m²; como se observa en la gráfica 27 en comparación con las demás la diferencia es significativa e indica que su deterioro va en progreso, puesto que las calificaciones “Baja” con 85,58 %, “Media” 4,23 % y “Considerable” 2,09 % también presentan una notable diferencia con respecto a las otras.

Sagamal por su parte es la Microcuenca mejor conservada según los datos ya que los porcentajes para las categorías más críticas “Alta” con 0,137 %, Muy Alta 0,00 % y 0,063 % “Extrema”, son menores con respecto a las demás Microcuencas y en consecuencia las calificaciones “Baja” con 98,57 %, “Media” 0,83 % y “Considerable” 0,39 % indican la menor afectación frente a las demás. (Gráfica 27).

Por su parte Tabarlaque es la segunda Microcuenca con más porcentaje de erosión “Extrema” con 1,34 % y de erosión “Alta” con 0,603 % con respecto al total de su área que es de 14,21 km² o 14210000 m² y comparado con las demás, lo cual se puede observar mejor en la gráfica 27.

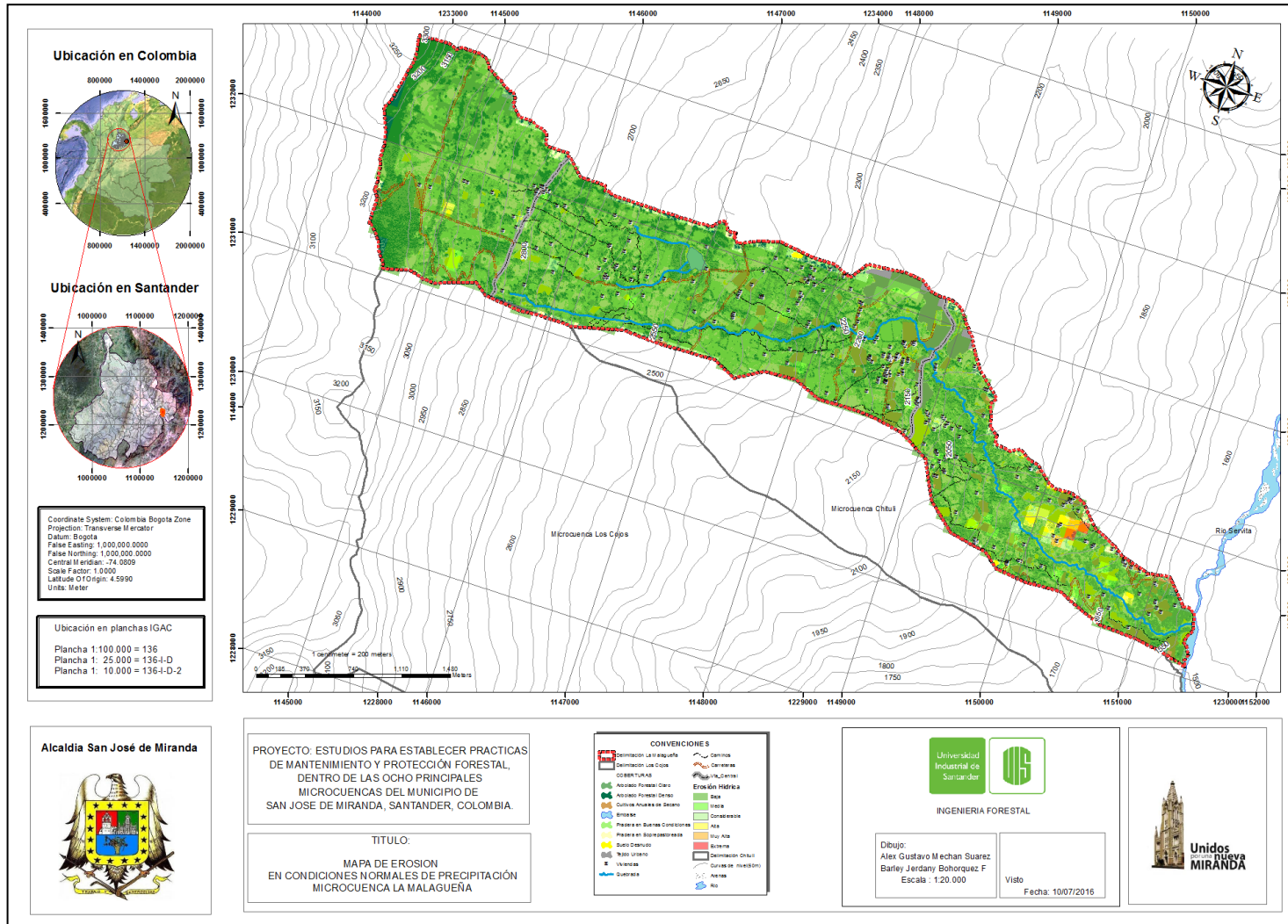
Popagá mientras tanto es la que presenta mayor porcentaje de erosión “Media” con 4,56 % frente al resto de Microcuencas y posee un área de 1,41 km² o 1410000 m², siendo la más pequeña de todas. Chituli para las categorías más críticas tan solo evidencia erosión “Alta” con un 0,39 % equivalente a 129 m², ya que no presenta erosión “Muy Alta”, ni “Extrema”, esta posee un área total de 3,31 km² o 3310000 m², es una Microcuenca que se puede resaltar como una de las menos afectada (Ver Gráfica 27). Por último las Microcuencas Salado Bravo y Los Cojos tienen valores similares para todas las calificaciones, pero en especial se resalta los valores de erosión “Extrema” de 0,59 % y 0,46 % respectivamente, ya que esta erosión para el caso de la primera se encuentra dispersa por toda la Microcuenca, mientras que para la segunda se evidencia la mayor concentración a un lado de la vía que comunica a los municipios de San José de Miranda y Málaga en el punto de referencia km 31.

Gráfica 29. Porcentaje de erosión para condiciones Normales de Precipitación en las ocho principales Microcuencas de San José de Miranda.



En el intervalo de imágenes de la 79 a 85 se muestra la salida cartográfica de erosión potencial USLE en condiciones Normales de Precipitación para cada una de las Microcuencas analizadas en este estudio.

Figura 64. Mapa Erosión para condiciones Normales de Precipitación Microcuenca La Malagueña



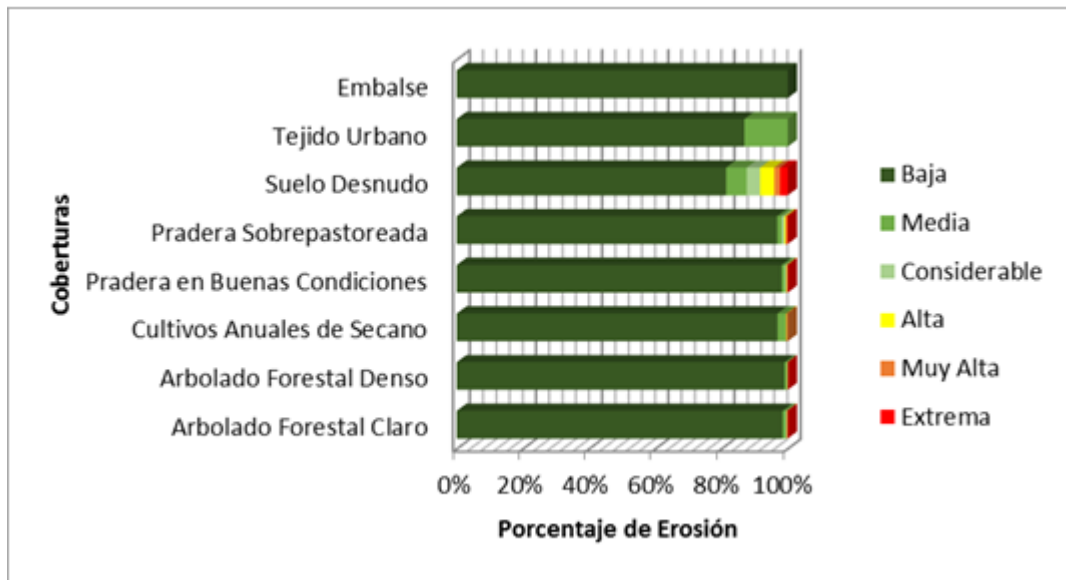
Con base en el procesamiento de erosión en condiciones normales de precipitación para las coberturas presentes en el área de la Microcuenca se generó un rango de calificación de “Baja” a “Extrema” con sus respectivos porcentajes de ocupación, como se muestra en la siguiente tabla (Tabla 73).

Tabla 73. Calificación y Porcentaje de erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca La Malagueña.

Coberturas La Malagueña	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	98.503	0.942	0.315	0.123	0.029	0.089
Arbolado Forestal Denso	99.096	0.629	0.200	0.066	0.008	0.001
Cultivos Anuales de Secano	96.931	2.582	0.000	0.177	0.310	0.000
Pradera en Buenas Condiciones	98.184	0.992	0.449	0.234	0.078	0.062
Pradera Sobrepastoreada	96.800	1.378	0.865	0.455	0.312	0.190
Suelo Desnudo	81.367	6.247	4.091	4.214	1.807	2.276
Tejido Urbano	86.960	13.040	0.000	0.000	0.000	0.000
Embalse	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Para la Microcuenca La Malagueña se obtuvo que la erosión más representativa es la denominada como “Baja”, ya que para todas coberturas digitalizadas se obtuvieron valores superiores al 80 %, por otro lado, las áreas que presentan mayor erosión, son las digitalizadas como “Suelo Desnudo” con un registro de 2.276 % con calificación “Extrema” (Ver grafica 30)

Grafica 30. Diagrama erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca La Malagueña.



En el diagrama anterior (Grafica 30) se resalta que la cobertura Suelo Desnudo presenta todas las calificaciones de erosión siendo la cobertura de mayor afectación ya que presenta 2.27 % para “Extrema”, 1.8 % “Muy Alta” y 4.21 % “Alta”, para condiciones Normales de Precipitación.

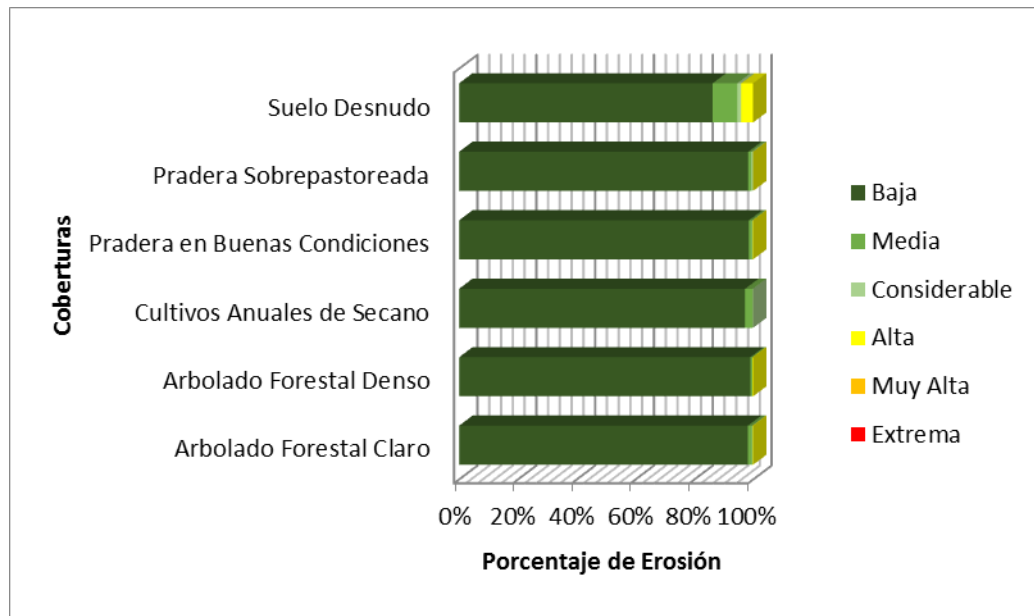
En análisis de erosión para las coberturas pertenecientes a la Microcuenca Chituli arrojó que no existe ningún porcentaje de erodabilidad dentro de las calificaciones de “Muy Alta” a “Extrema” (Ver Tabla 74), siendo de igual forma las coberturas con mayor susceptibilidad aquellas digitalizadas como “Suelo Desnudo” con 4.058 % para la calificación de “Alta”.

Tabla 74. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Chituli.

Coberturas Chituli	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	98.217	1.413	0.187	0.184	0.0	0.0
Arbolado Forestal Denso	99.033	0.719	0.006	0.242	0.0	0.0
Cultivos Anuales de Secano	97.269	2.622	0.109	0.000	0.0	0.0
Pradera en Buenas Condiciones	98.590	1.045	0.233	0.132	0.0	0.0
Pradera Sobrepastoreada	98.298	1.127	0.495	0.080	0.0	0.0
Suelo Desnudo	86.197	8.373	1.373	4.058	0.0	0.0

La problemática con mayor registro es la denominada como “Baja”, ya que la totalidad de coberturas digitalizadas registraron porcentajes superiores al 80 %, destacando en este aspecto las unidades vegetales arbóreas, especialmente el “Arbolado Forestal Denso” con un registro de 99 %. (Ver grafica 31)

Grafica 31. Diagrama erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Chituli.



En el diagrama anterior (Grafica 31) se evidencia la ausencia de erosión “Extrema” en condiciones normales de Precipitación para las seis coberturas presentes en la Microcuenca Chituli, lo cual indica la poca degradación en esta.

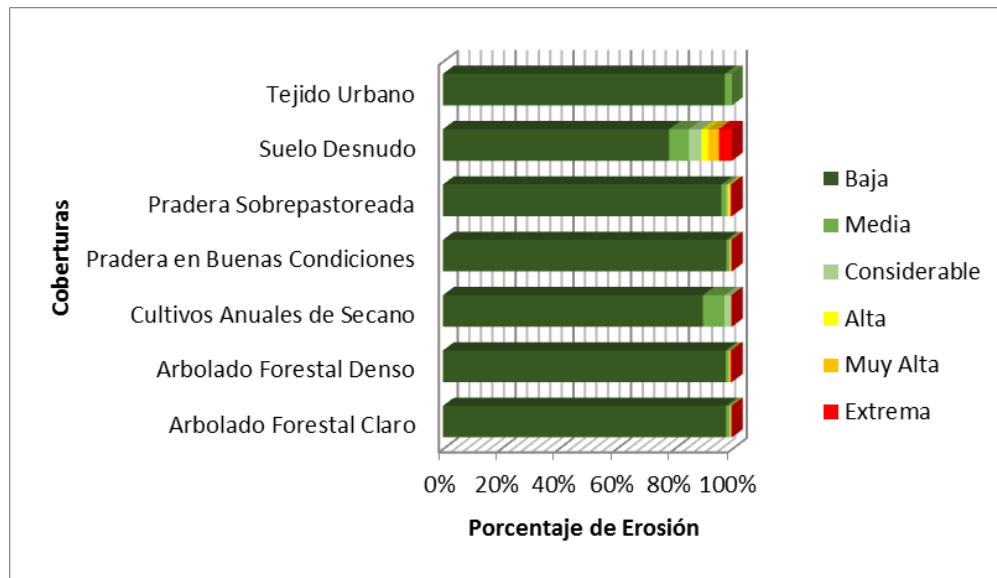
En la siguiente tabla (Tabla 75) tabulada para la Microcuenca Los Cojos se encuentran siete diferentes clases de coberturas, cada una con sus respectivos valores en porcentaje de erosión y respectiva calificación.

Tabla 75. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Los Cojos.

Coberturas Los Cojos	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	98.002	1.122	0.313	0.196	0.188	0.180
Arbolado Forestal Denso	97.876	1.025	0.187	0.254	0.151	0.507
Cultivos Anuales de Secano	89.962	7.543	2.272	0.018	0.000	0.205
Pradera en Buenas Condiciones	98.045	1.157	0.246	0.148	0.209	0.195
Pradera Sobrepastoreada	96.372	1.750	0.585	0.367	0.534	0.393
Suelo Desnudo	78.326	6.804	4.280	2.365	3.708	4.517
Tejido Urbano	97.600	2.400	0.000	0.000	0.000	0.000

El procesamiento raster derivado de la identificación de erodabilidad distingue nuevamente que los polígonos digitalizados como “Suelo Desnudo” son aquellos con mayor registro de erosión ya que el 4.517 % de su ocupación está calificada como “Extrema”, seguido del “Arbolado Forestal Denso” con 0.5% de su territorio y en tercer lugar “Pradera Sobrepastoreada” con un 0.393 %. En contraste este análisis determino que las coberturas con menor erosión son las pertenecientes a los patrones vegetales de Arbolado Forestal Denso y Pradera en Buenas Condiciones.

Grafica 32. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Los Cojos.



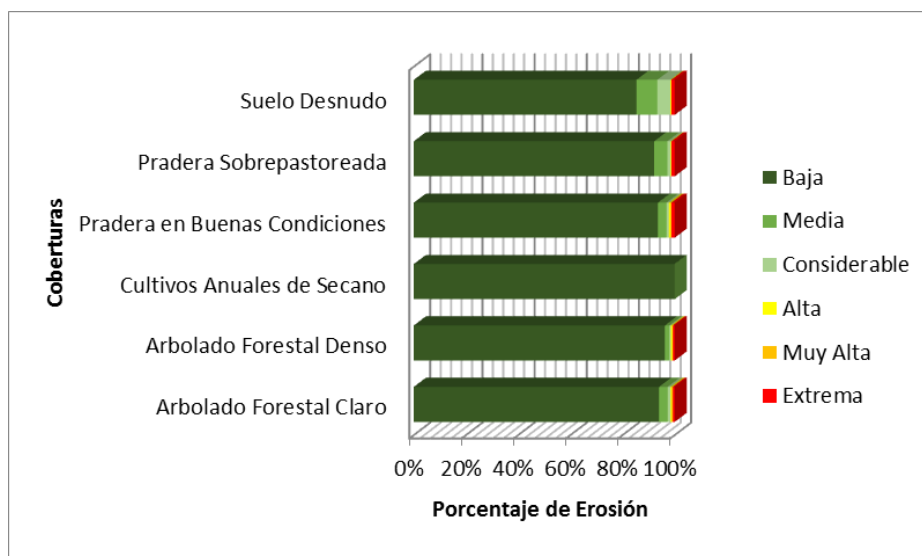
En el diagrama anterior (Grafica 32) se puede evidenciar que la cobertura “Suelo Desnudo” es la más afectada en estas condiciones Normales de Precipitación, ya que presenta todas las calificaciones de erosión pero en especial la más preocupante denominada “Extrema” con 4.5 % con respecto a su área.

Tabla 76. Calificación y Porcentaje de erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Popagá.

Coberturas Popaga	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	93.996	3.287	1.100	0.423	0.473	0.722
Arbolado Forestal Denso	96.208	1.718	0.632	0.518	0.225	0.699
Cultivos Anuales de Secano	99.935	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000
Pradera en Buenas Condiciones	93.541	3.275	0.941	0.422	0.592	1.229
Pradera Sobrepastoreada	92.135	5.066	1.215	0.249	0.126	1.208
Suelo Desnudo	85.328	7.954	5.026	0.230	0.161	1.301

Para el análisis de erosión en condiciones normales de precipitación se obtuvo que para las coberturas pertenecientes a la Microcuenca Popagá la calificación más representativa es la denominada como “Baja”, (Ver tabla 76), sin embargo existen problemas significativos de erosión de “Extrema” especialmente en la cobertura Suelo Desnudo, Pradera Sobrepastoreada y Pradera en Buenas Condiciones con valores de 1.3 %, 1.20 % y 1.29 % respectivamente. (Ver grafica 33)

Grafica 33. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Popaga.



La cartografía resultante del análisis USLE, determinó siete coberturas presentes dentro la Microcuenca Sagamal como se muestra en la siguiente tabla (Tabla 77) con sus respectivos porcentajes y calificaciones.

Tabla 77. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Sagamal.

Coberturas Sagamal	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	99.227	0.385	0.158	0.184	0	0.045
Arbolado Forestal Denso	99.553	0.289	0.108	0.050	0	0.000
Cultivos Anuales de Secano	97.120	2.880	0.000	0.000	0	0.000
Pradera en Buenas Condiciones	99.071	0.589	0.229	0.046	0	0.065
Pradera Sobrepastoreada	97.463	1.399	0.798	0.241	0	0.098
Suelo Desnudo	93.676	3.400	2.360	0.357	0	0.206
Tejido Urbano	100.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000

En el siguiente diagrama (Grafica 34) se evidencia que para la calificación “Muy Alta” el total de las coberturas registran un valor de cero, mientras que para la calificación “Extrema” los porcentajes de calificación no alcanzan el 1 %, por tanto esta Microcuenca es una de la menos afectada por erodabilidad para estas condiciones.

Grafica 35. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Sagamal.

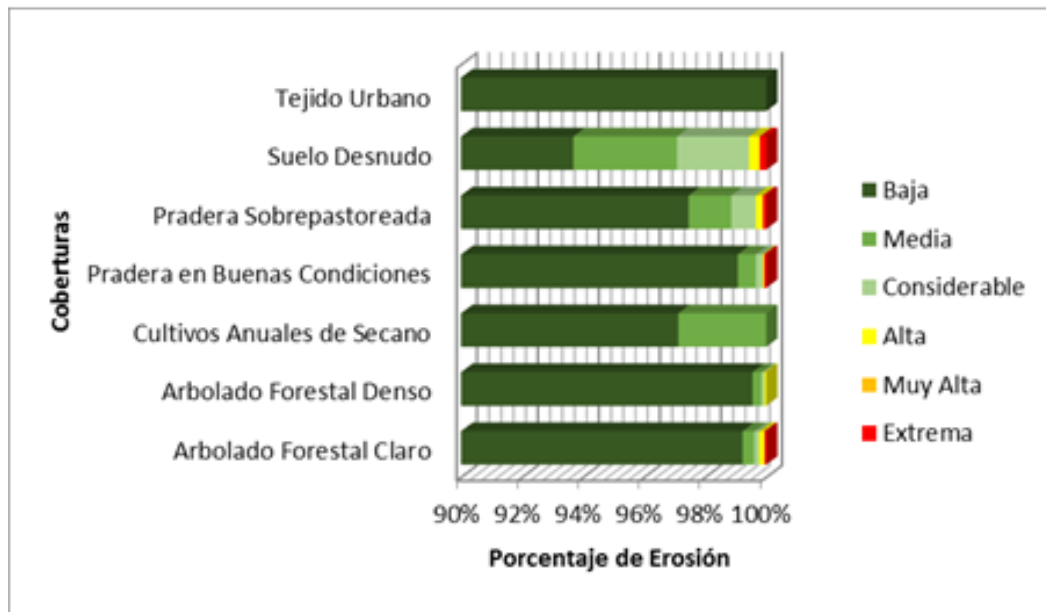


Figura 68. Mapa Erosión para condiciones Normales de Precipitación Microcuenca Salado Bravo

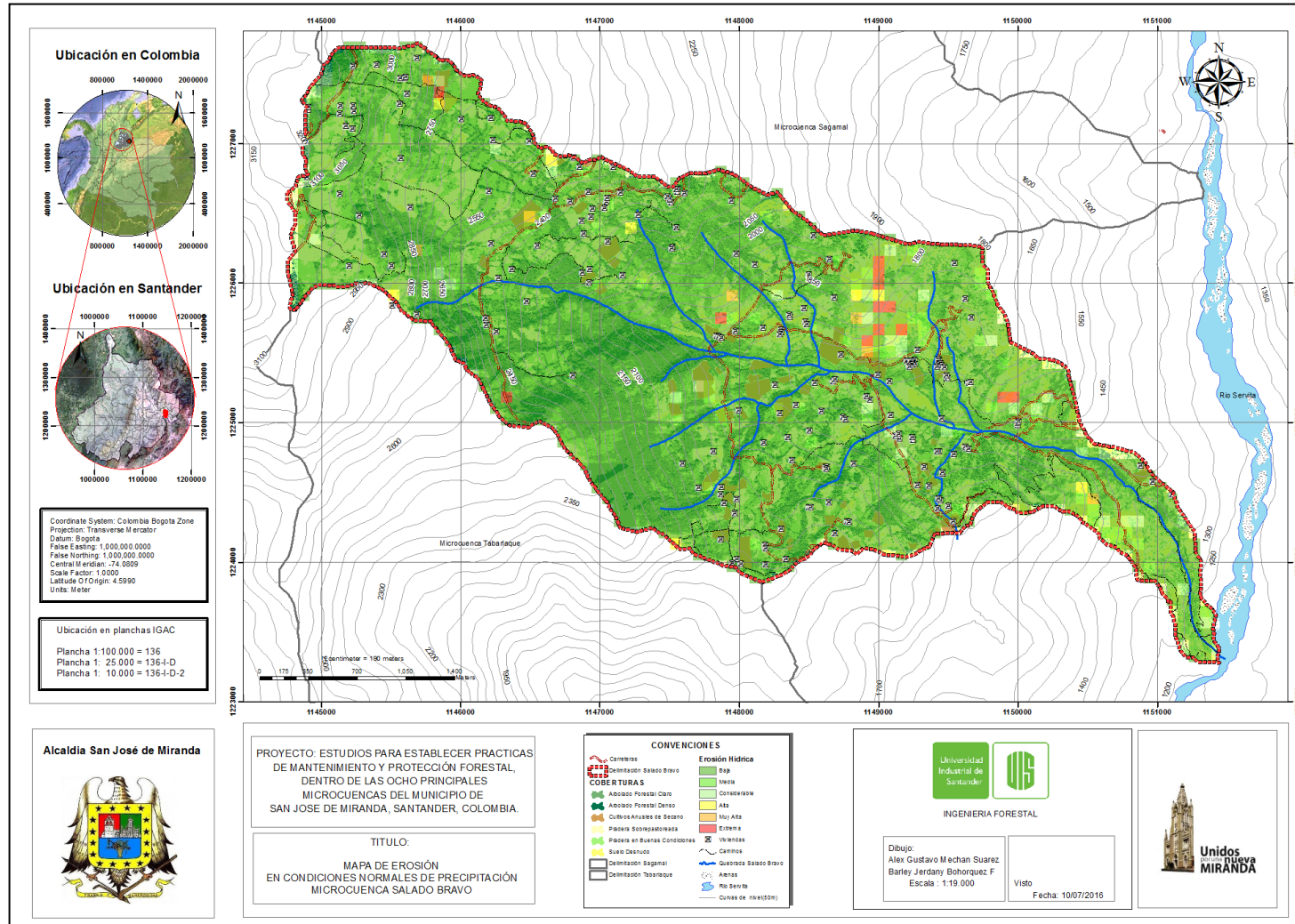


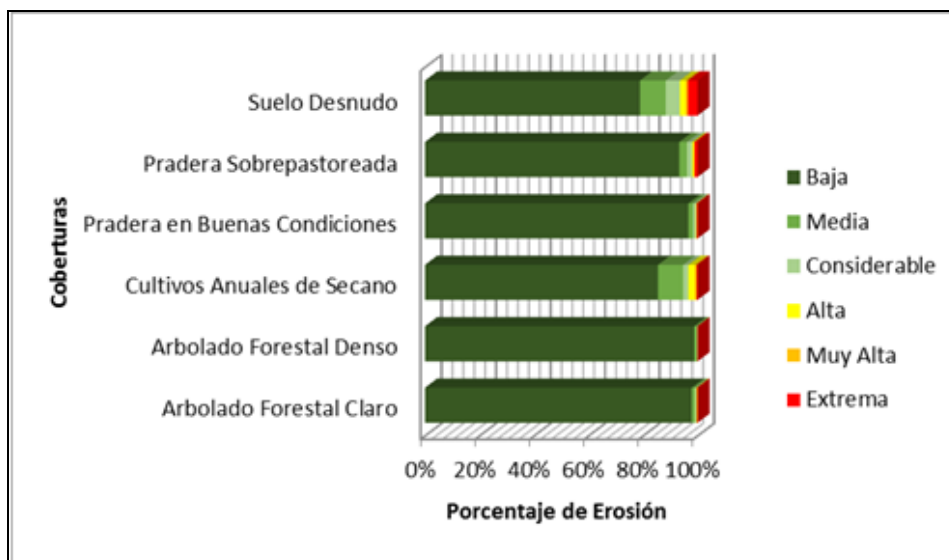
Tabla 78. Calificación y Porcentaje de erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Salado Bravo.

Coberturas Salado Bravo	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	97.867	1.132	0.552	0.104	0.184	0.161
Arbolado Forestal Denso	98.744	0.889	0.194	0.028	0.084	0.061
Cultivos Anuales de Secano	85.468	9.224	1.973	2.200	0.785	0.350
Pradera en Buenas Condiciones	96.585	1.731	1.094	0.148	0.167	0.274
Pradera Sobrepastoreada	93.313	2.732	2.014	0.627	0.239	1.074
Suelo Desnudo	78.848	9.450	5.204	1.993	0.888	3.616

En la tabla anterior (Tabla 78) las calificaciones “Alta” y “Muy Alta” para las seis coberturas presentes en la Microcuenca Salado Bravo suman un poco más del 7 % con respecto a su área total, mientras que la calificación “Extrema” totaliza 5.5 % lo que indica el grado de vulnerabilidad significativo bajo condiciones Normales de Precipitación.

En el siguiente diagrama (Grafica 35) se observa con claridad que la cobertura más afectada es Suelo Desnudo para todas las calificaciones “Alta” y “Muy Alta”.

Grafica 36. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Salado Bravo.

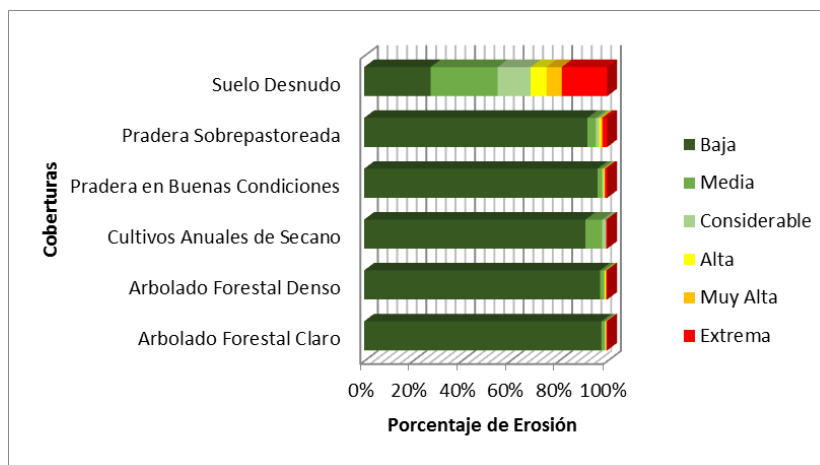


La calificación de erosión en condiciones normales de Precipitación para la Microcuenca Tabarlaque (ver tabla 79), dio a conocer que su territorio es uno de los que presenta mayor potencial erosivo.

Tabla 79. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Tabarlaque.

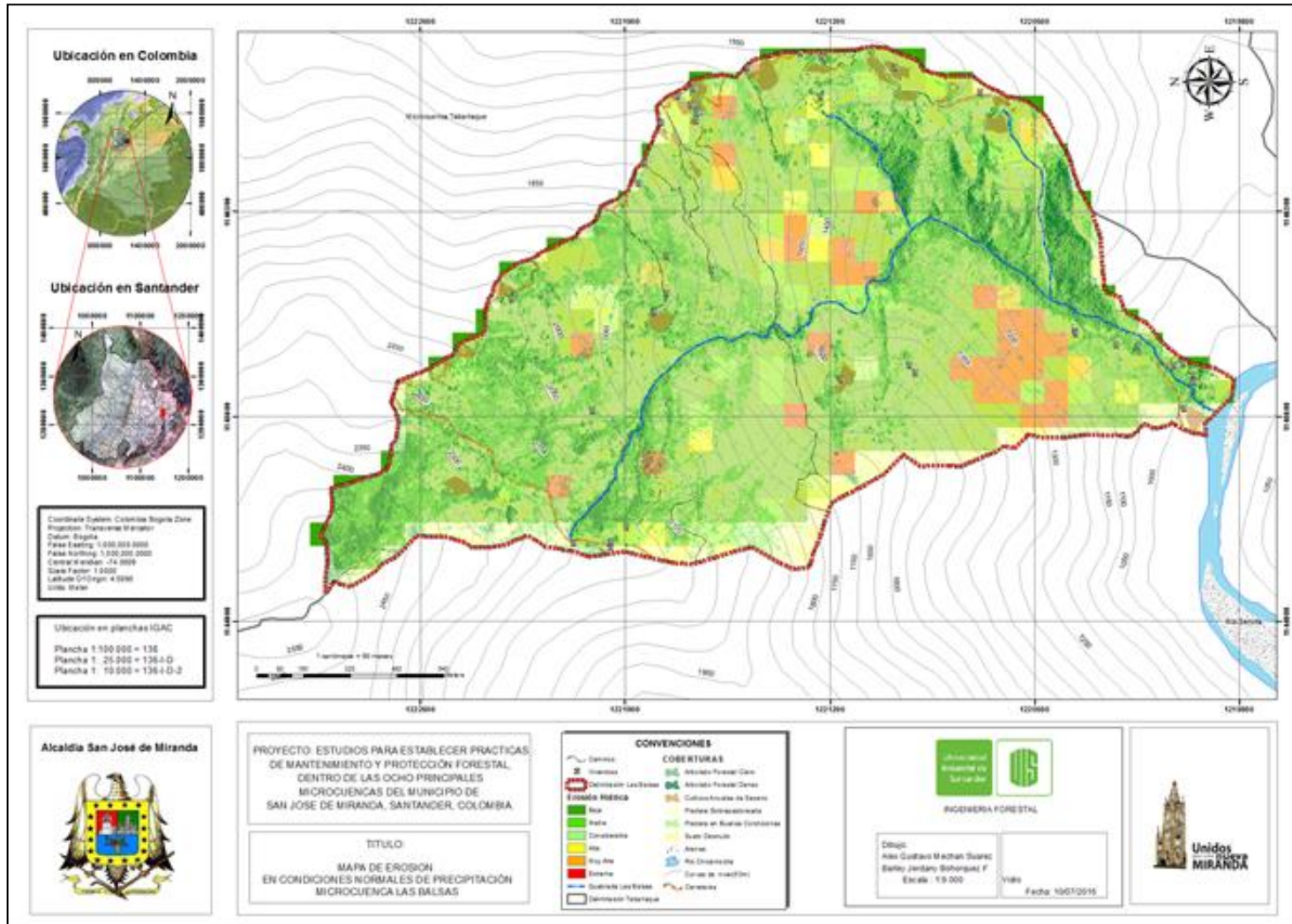
Coberturas Tabarlaque	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	97.631	1.323	0.301	0.244	0.173	0.328
Arbolado Forestal Denso	97.033	1.681	0.258	0.480	0.151	0.396
Cultivos Anuales de Secano	91.051	6.822	1.683	0.024	0.037	0.382
Pradera en Buenas Condiciones	96.026	1.879	0.532	0.414	0.257	0.892
Pradera Sobrepastoreada	91.849	3.477	1.303	0.886	0.505	1.980
Suelo Desnudo	27.347	27.564	13.548	6.557	6.282	18.701

Grafica 37. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Tabarlaque.



En el diagrama anterior (Grafica 36) los porcentajes de erosión “Extrema” para las seis coberturas presentes en esta Microcuenca alcanzan el 22.67 %, en donde la mayor proporción la registra Suelo Desnudo con el 18.7 %, seguido de la cobertura digitalizada como Pradera Sobrepastoreada y Pradera en Buenas Condiciones con 1.98 % y 0.89 % respectivamente.

Figura 70. Mapa Erosión para condiciones Normales de Precipitación Microcuenca Las Balsas



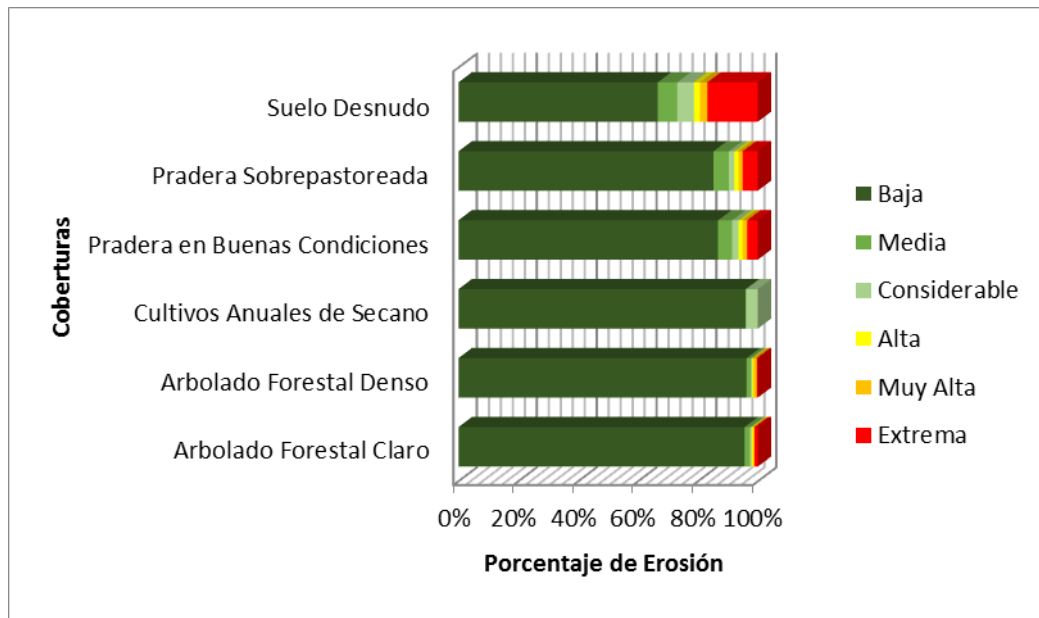
Teniendo en cuenta el análisis de erosión potencial USLE bajo el modelo de condiciones Normales de precipitación, la Microcuenca Las Balsas es el área que registra mayor problemática de erodabilidad, con una proporción del 26.972 % para la categoría de erosión “Extrema”, siendo los patrones pertenecientes a las coberturas de Suelo Desnudo aquellas con mayor afectación, ya que 16 % de su territorio forma parte de dicha calificación. (Tabla 80)

Tabla 80. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Normales de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Las Balsas.

Coberturas Las Balsas	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	95.528	1.873	0.539	0.434	0.552	1.073
Arbolado Forestal Denso	96.258	1.434	0.402	0.482	1.035	0.389
Cultivos Anuales de Secano	95.863	0.199	3.938	0.000	0.000	0.000
Pradera en Buenas Condiciones	86.723	4.704	2.105	1.432	1.472	3.564
Pradera Sobrepastoreada	85.155	5.183	1.769	1.432	1.345	5.116
Suelo Desnudo	66.556	6.546	5.493	2.054	2.522	16.830

Por otro lado, la cobertura con menor erosión es la denominada como Arbolado Forestal Denso con el 0,389 % de su ocupación correspondiente a la calificación “Extrema” y el 96.258 % de su ocupación con registros de erosión Baja, para una mejor percepción ver la siguiente gráfica (Grafica 37).

Grafica 38. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Normales de Precipitación. Microcuenca Las Balsas.



6.2.8 Análisis de erosión en condiciones Extremas de Precipitación: en la siguiente figura (figura 71) se muestra el Factor A derivado del procesamiento raster de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE en condiciones Extremas de precipitación para el total del área de estudio

Figura 71. Mapa erosión en condiciones Extremas de Precipitación para las ocho principales Microcuencas del municipio de San José de Miranda

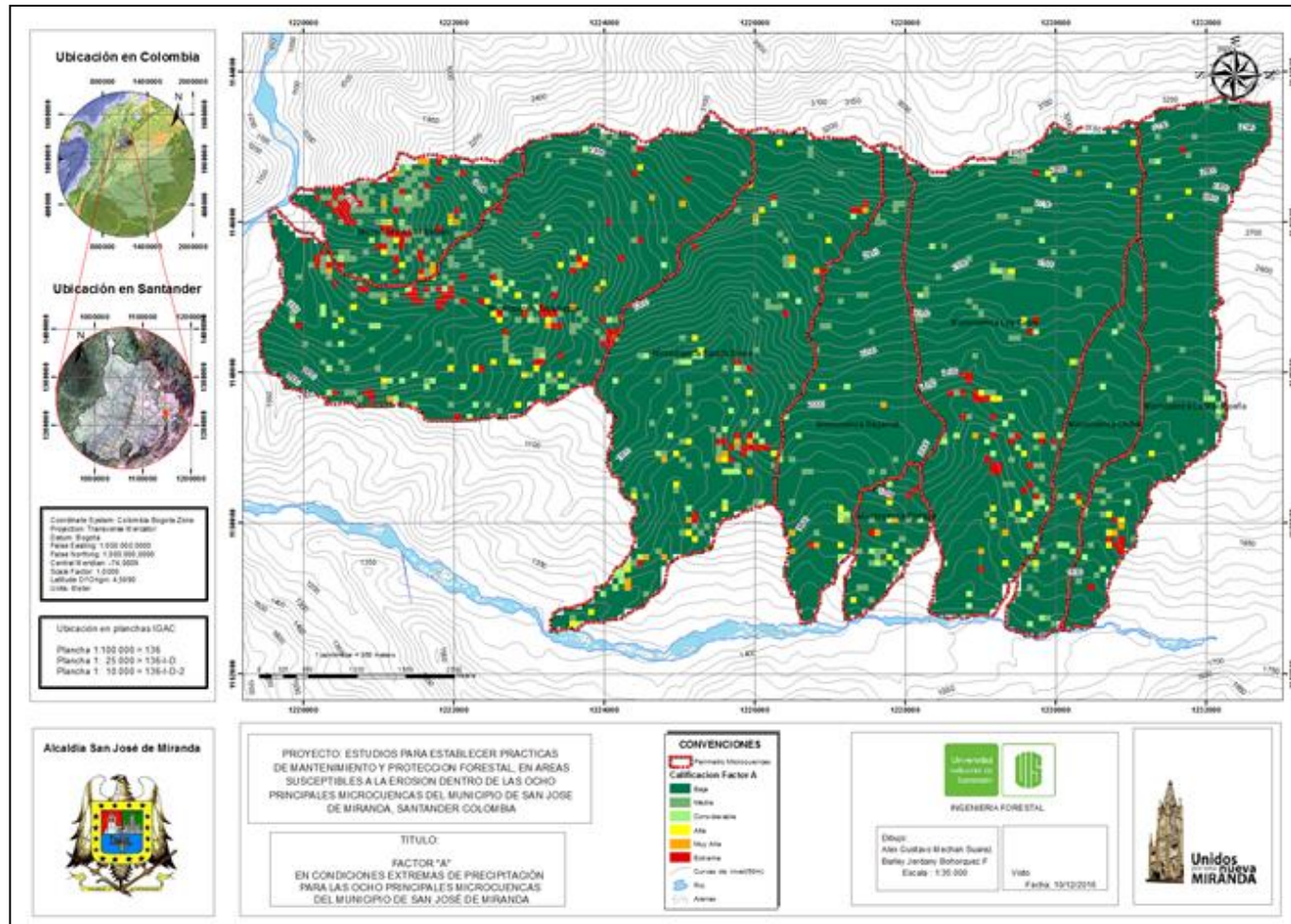


Tabla 81. Calificación de erosión en condiciones Extremas de Precipitación para las veredas del municipio de San José de Miranda

Vereda	Calificación y porcentaje de erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Cruz de Piedra	94.854	2.075	0.534	0.437	0.476	1.625
Cucharito	80.693	9.754	1.748	1.005	0.899	5.901
Cucurucho	96.300	1.656	1.177	0.204	0.269	0.395
El Pozo	95.952	1.968	0.387	0.355	0.571	0.767
Lucusguta	49.689	49.689	0.393	0.163	0.066	0.000
Moralito	90.258	4.067	2.381	1.074	0.297	1.923
Popaga	94.226	2.398	1.670	0.749	0.621	0.336
Sagamal	98.019	1.390	0.198	0.195	0.198	0.000
Salado Bravo	89.607	3.684	2.538	1.286	1.109	1.777
Tequia	95.569	2.128	0.618	0.536	1.148	0.000
Tierra Blanca	90.815	4.277	2.345	1.147	0.326	1.090
Cutaligua	95.371	1.385	1.327	0.190	0.580	1.147
Versalles	91.797	3.039	1.752	0.352	0.489	2.571
Yerbabuena	98.487	0.965	0.218	0.220	0.109	0.000
El Espinal	95.133	3.051	0.547	0.119	0.480	0.670
Carbonera	91.010	4.846	3.286	0.335	0.523	0.000

Grafica 39. Porcentaje de erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las veredas de San José de Miranda.

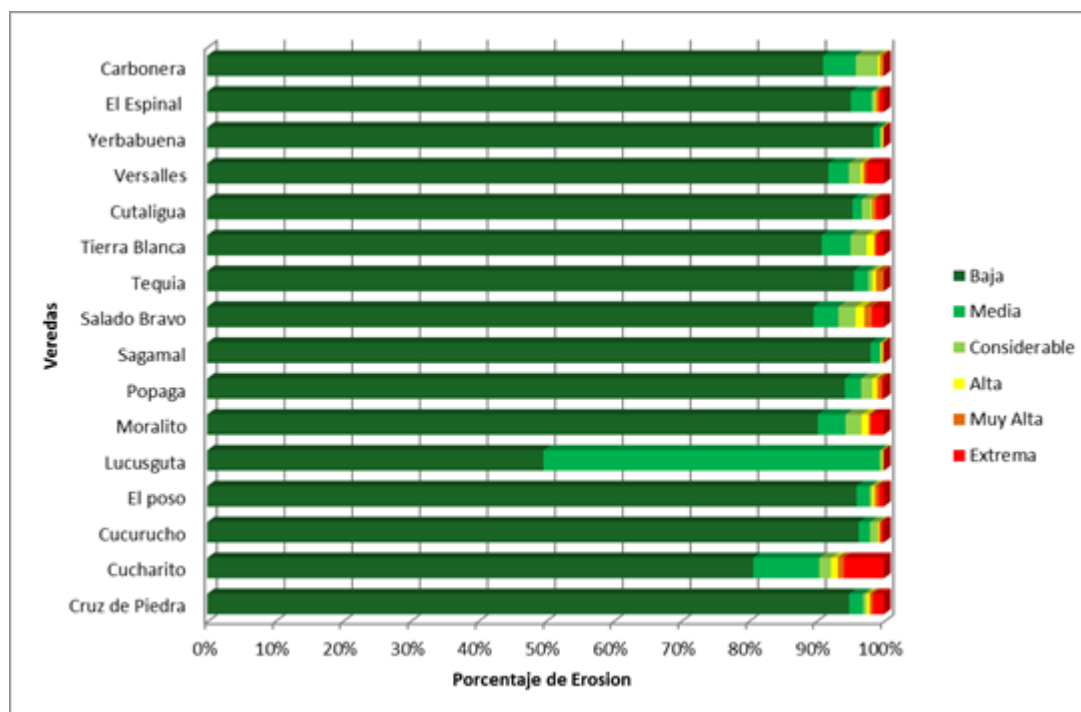


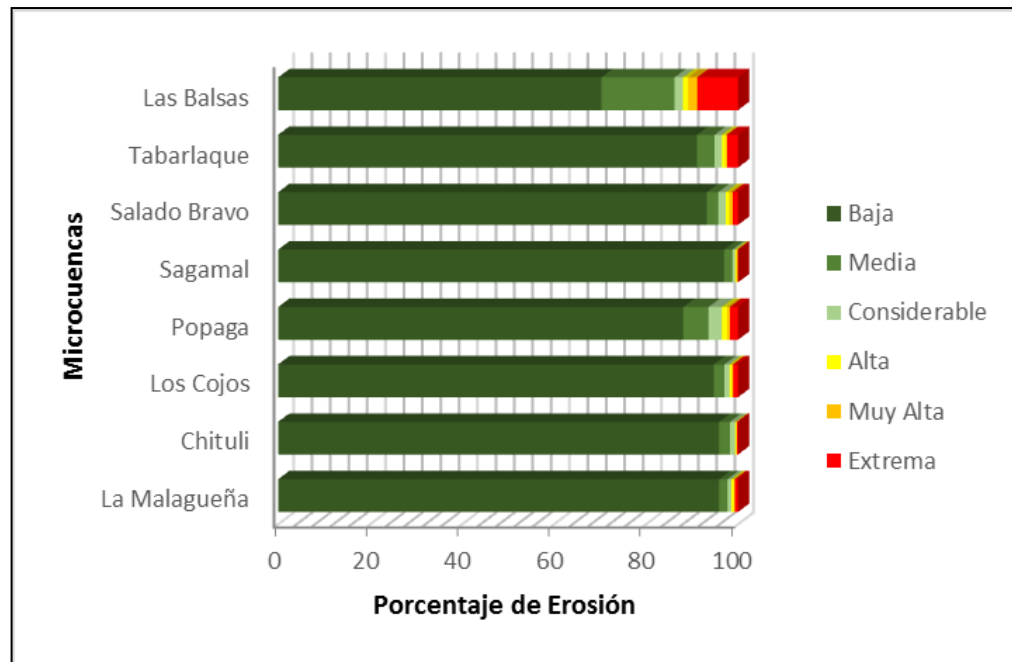
Tabla 82. Calificación y Porcentaje de erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las ocho principales Microcuencas de San José de Miranda.

Microcuenca	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
La Malagueña	95.904	1.802	0.831	0.574	0.190	0.699
Chituli	95.914	2.349	1.142	0.198	0.198	0.198
Los Cojos	94.770	2.284	1.107	0.585	0.185	1.068
Popaga	88.123	5.483	2.887	1.124	0.619	1.764
Sagamal	96.990	1.788	0.594	0.297	0.262	0.069
Salado Bravo	93.207	2.504	1.629	0.747	0.759	1.154
Tabarlaque	91.102	3.815	1.566	0.811	0.314	2.393
Las Balsas	70.317	15.892	1.823	1.156	1.939	8.873

En la tabla anterior (Tabla 82) se evidencia que para condiciones Extremas de Precipitación el potencial erosivo aumenta, por ejemplo para las calificaciones

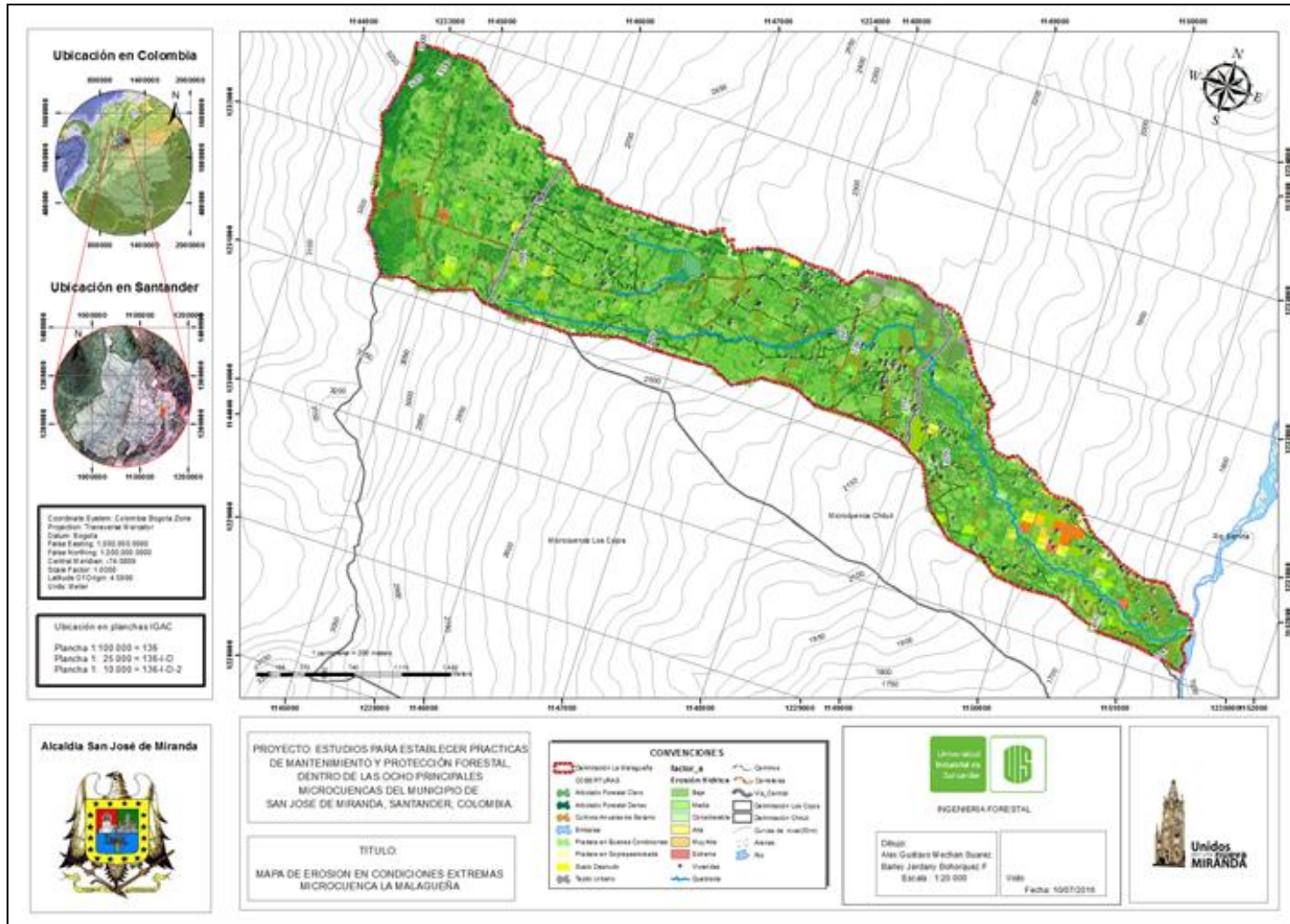
“Alta”, “Muy Alta” y “Extrema” empeora para todas las Microcuencas, pero es más preocupante para Las Balsas y Tabarlaque.

Grafica 40. Porcentaje de erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las ocho principales Microcuencas de San José de Miranda.



En el diagrama anterior (Grafica 39) se evidencia que la afectación por erodabilidad aumenta para las ocho Microcuencas, pero en las Las Balsas y Tabarlaque el potencial erosivo aumenta significativamente, indicando el riesgo de problemas asociados con este fenómeno.

Figura 72. Mapa erosión para condiciones Extremas de Precipitación Microcuenca La Malagueña



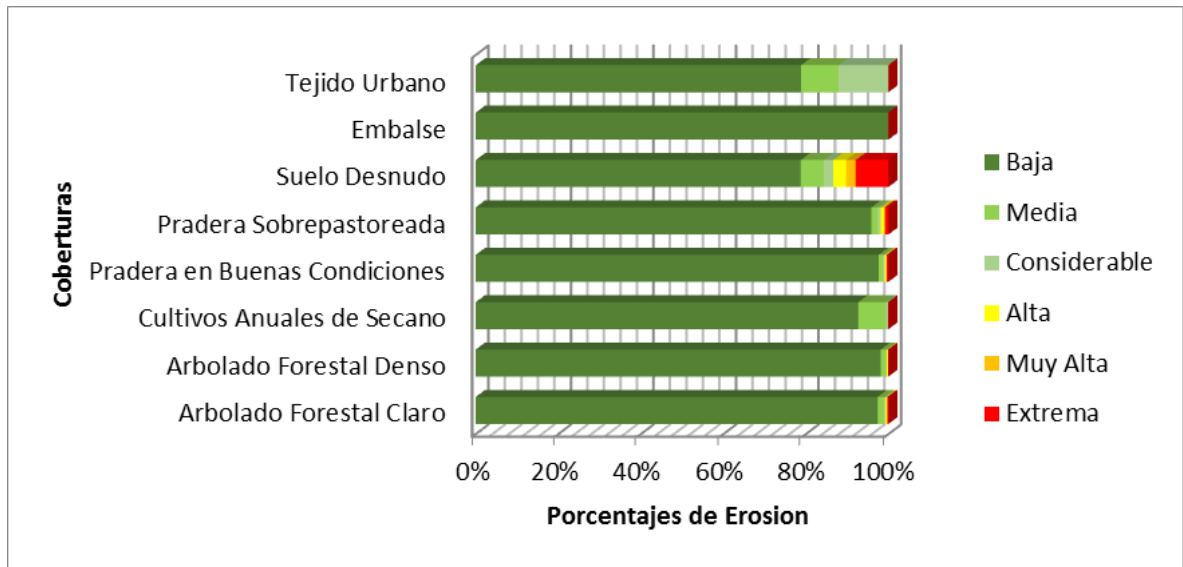
En cada Microcuenca se identificaron las diferentes coberturas (Imágenes de la 88 a la 95), luego se calculó su área en porcentaje y grado de erosión (calificación) para condiciones Extremas de Precipitación como se muestra en la siguiente tabla (Ver tabla 83), empezando con La Malagueña.

Para la calificación de erosión “Extrema” se tiene que Suelo Desnudo con 7.89 % siendo la cobertura más afectada por el potencial erosivo por lluvia y en segundo lugar se ubica Pradera Sobrepastoreada con 0.813 %.

Tabla 83. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca La Malagueña.

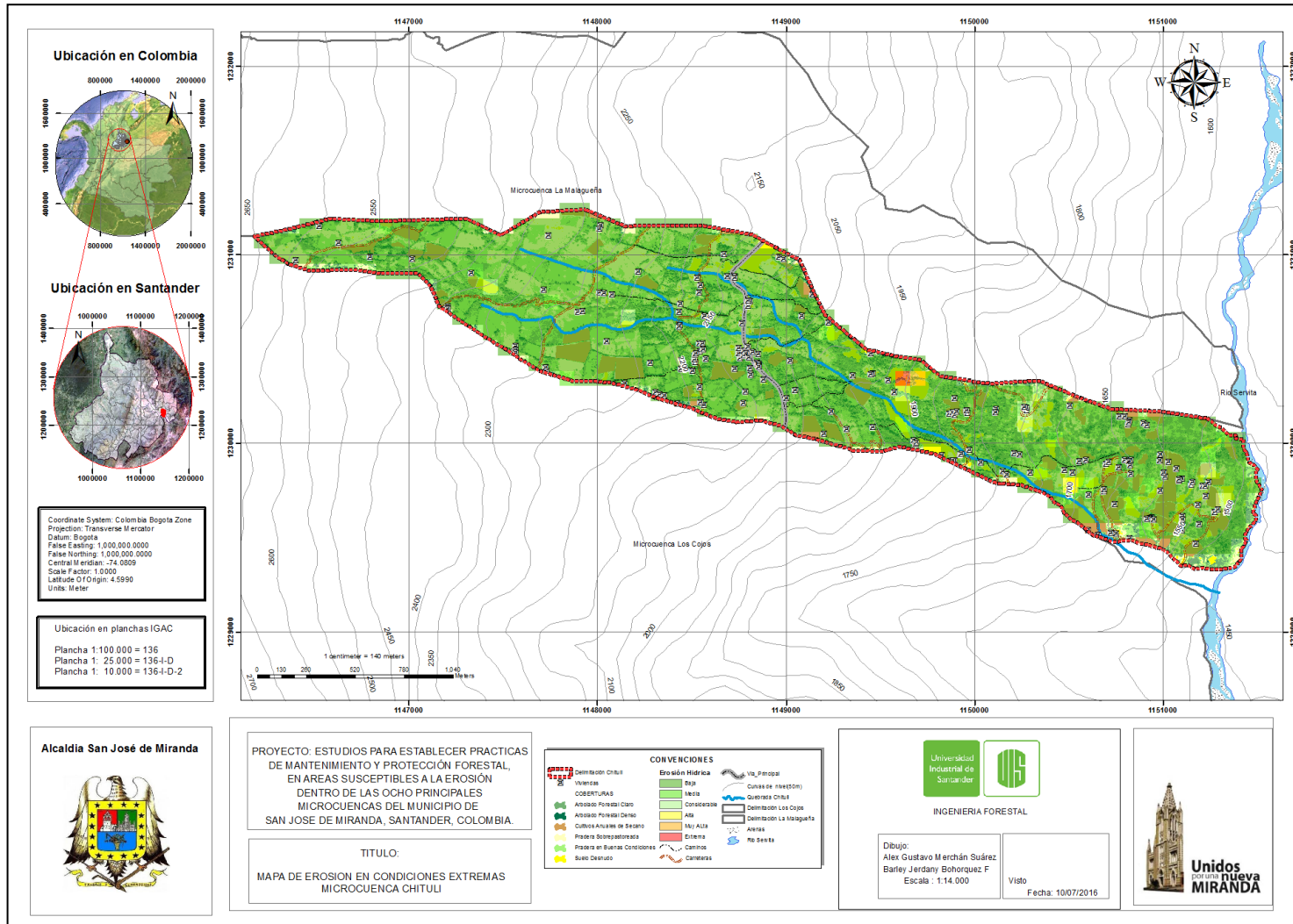
Coberturas la Malagueña	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	97.410	1.589	0.333	0.391	0.047	0.230
Arbolado Forestal Denso	98.130	1.252	0.226	0.312	0.036	0.043
Cultivos Anuales de Secano	92.722	6.703	0.524	0.005	0.000	0.046
Pradera en Buenas Condiciones	97.645	1.090	0.381	0.449	0.076	0.359
Pradera Sobrepastoreada	95.902	1.501	0.743	0.819	0.221	0.813
Suelo Desnudo	78.758	5.580	2.310	3.134	2.325	7.893
Embalse	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tejido Urbano	78.819	9.160	12.021	0.000	0.000	0.000

Grafica 41. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca La Malagueña.



En el diagrama anterior (Grafica 40) se puede evidenciar que la cobertura “Suelo Desnudo” presenta todas las calificaciones de erosión, siendo la más afectada con respecto a las demás coberturas presentes en esta Microcuenca.

Figura 73. Mapa erosión para condiciones Extremas de Precipitación Microcuenca Chituli

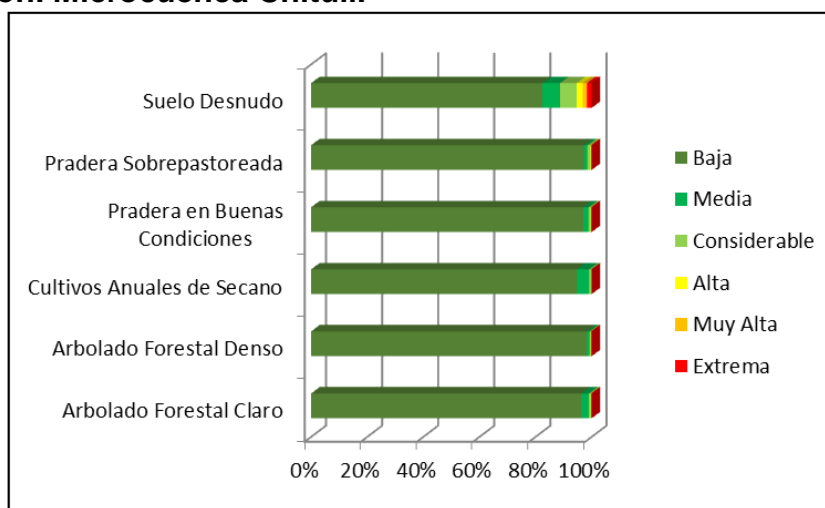


Para Chituli la cobertura con mayor registro de erosión “Extrema” y más significativa es “Suelo Desnudo” con 1.65 %, seguida de “Pradera Sobrepastoreada” con 0.155 % (Ver tabla 84).

Tabla 84. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Chituli.

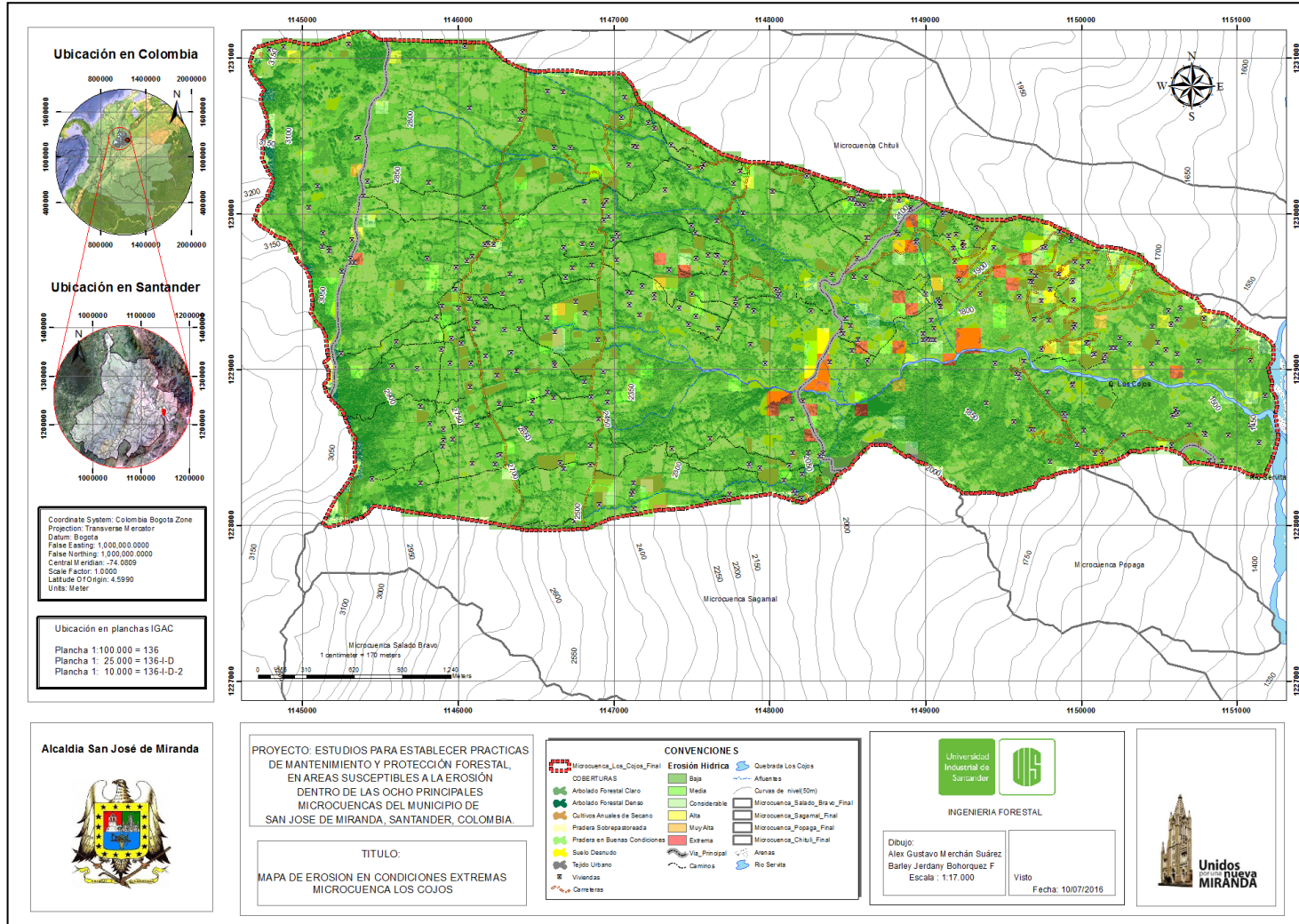
COBERTURAS CHITULI	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	96.276	2.689	0.775	0.029	0.129	0.102
Arbolado Forestal Denso	98.210	1.112	0.370	0.000	0.154	0.154
Cultivos Anuales de Secano	94.725	4.368	0.907	0.000	0.000	0.000
Pradera en Buenas Condiciones	96.990	1.952	0.783	0.066	0.126	0.084
Pradera Sobrepastoreada	97.199	1.327	1.058	0.172	0.090	0.155
Suelo Desnudo	82.407	6.344	5.939	2.100	1.550	1.659

Grafica 42. Diagrama erosión de coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Chituli.



En el diagrama anterior (Grafica 41) se puede evidenciar que la cobertura “Suelo Desnudo” presenta todas las mayores calificaciones de erosión para las calificaciones de “Alta”, “Muy Alta” y “Extrema” siendo la más afectada con respecto a las demás coberturas presentes en esta Microcuenca.

Figura 74. Mapa Erosión para condiciones Normales de Precipitación Microcuenca Los Cojos

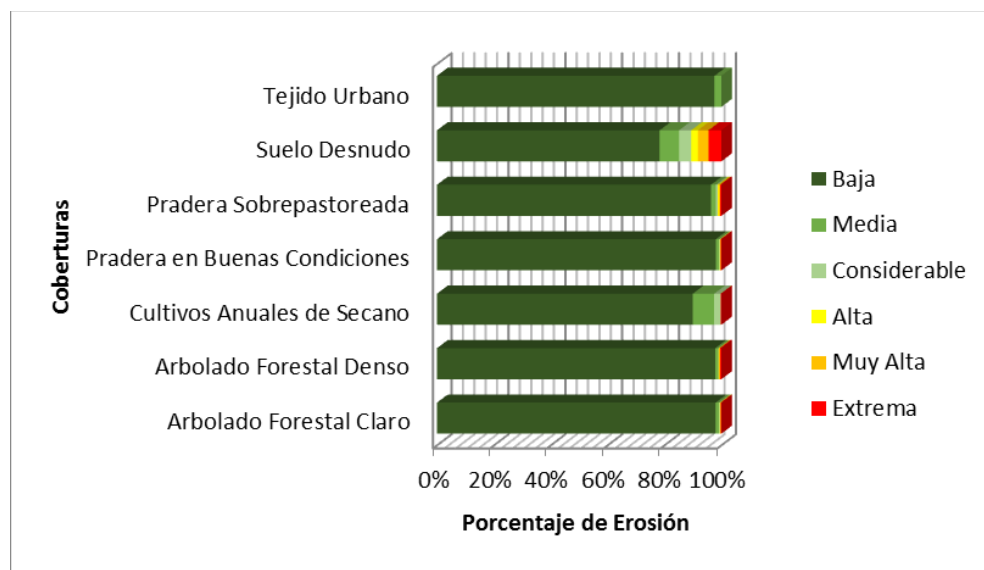


El análisis de erosión en condiciones extremas de precipitación para la Microcuenca Los Cojos, arrojó que la cobertura más susceptible a la erosión “Extrema” es Suelo Desnudo, para este caso se registró una proporción del 8,34 %, seguida de “Arbolado Forestal Denso” con 0.94 % como se observa en la siguiente tabla (Ver tabla 85).

Tabla 85. Calificación y Porcentaje de erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Los Cojos.

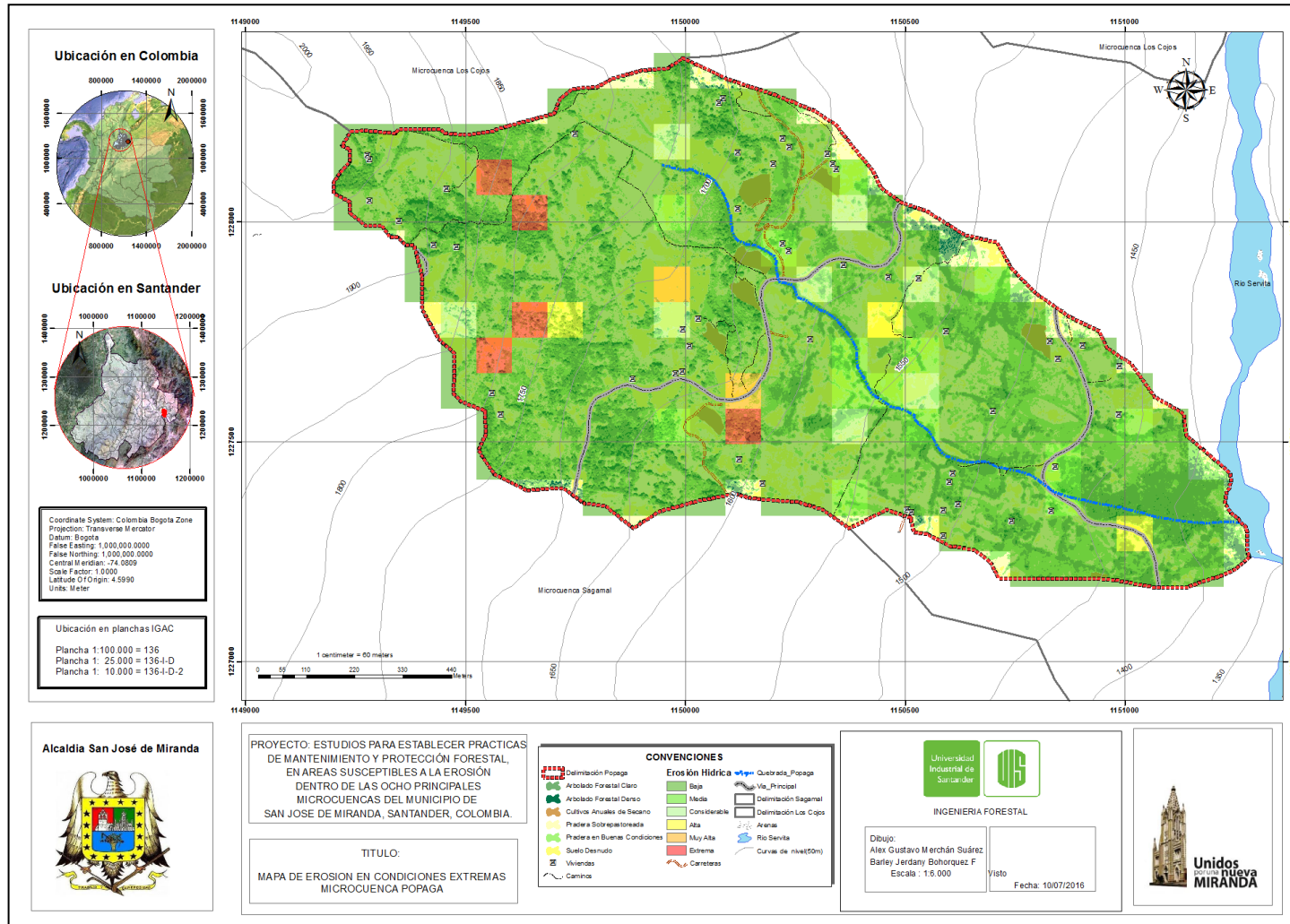
Coberturas los Cojos	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	96.460	1.563	0.853	0.322	0.161	0.641
Arbolado Forestal Denso	96.118	1.625	0.903	0.247	0.161	0.946
Cultivos Anuales de Secano	81.428	12.034	3.118	3.180	0.137	0.103
Pradera en Buenas Condiciones	96.614	1.616	0.791	0.291	0.149	0.539
Pradera Sobrepastoreada	94.934	2.236	1.087	0.436	0.163	1.144
Suelo Desnudo	77.011	5.660	4.237	3.823	0.923	8.346
Tejido Urbano	80.796	10.115	9.089	0.000	0.000	0.000

Grafica 43. Diagrama erosión de Coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Los Cojos.



En el diagrama de barras anterior se puede cotejar cada cobertura en condiciones extremas de precipitación y se evidencia con claridad que la cobertura “Suelo Desnudo”, es la más afectada por el fenómeno de erosión para las calificaciones “Alta”, “Muy Alta” y “Extrema”. (Ver Grafica 42).

Figura 75. Mapa erosión para condiciones Extremas de Precipitación Microcuenca Popagá

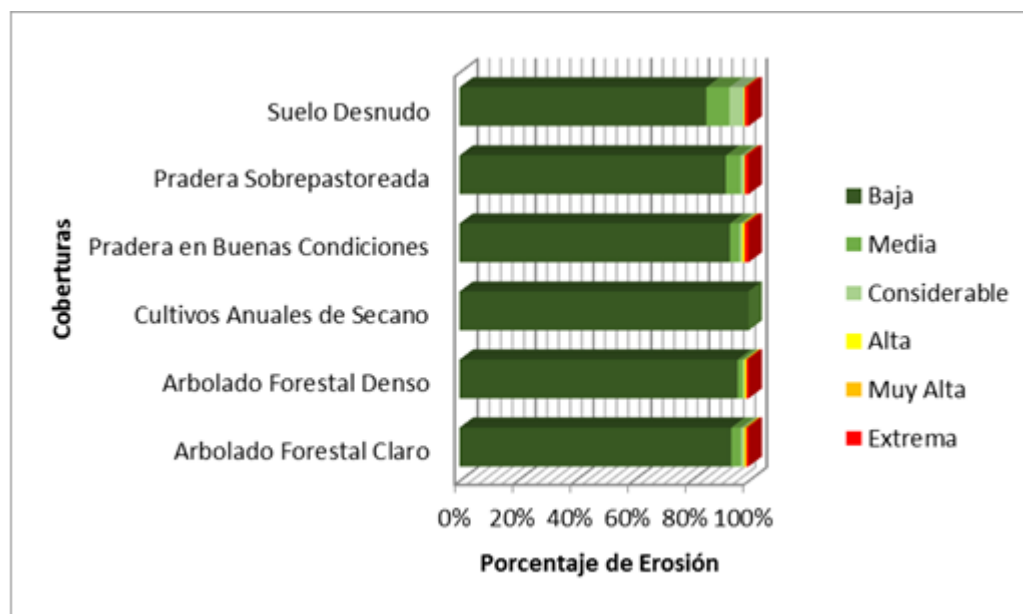


La Microcuenca Popagá es una de las áreas de estudio en donde se registró erosión “Extrema” para la mayoría de las coberturas (Ver tabla 86), aunque en pequeño porcentaje (Ver tabla 86), en donde se ubica en primer lugar “Pradera en Buenas Condiciones” con 2.45 %, seguida de 1.74 % para “Arbolado Forestal Claro”, luego “Arbolado Forestal Denso” con 1.63 % y “Suelo Desnudo” con 1.54 % como las más significativas.

Tabla 86. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Popagá

Coberturas Popagá	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	89.899	5.824	1.420	1.052	0.063	1.741
Arbolado Forestal Denso	93.918	2.958	0.694	0.767	0.025	1.639
Cultivos Anuales de Secano	95.129	4.763	0.108	0.000	0.000	0.000
Pradera en Buenas Condiciones	90.122	4.160	2.137	0.888	0.243	2.450
Pradera Sobrepastoreada	88.213	5.375	3.562	0.912	0.480	1.459
Suelo Desnudo	79.424	8.312	6.222	2.197	2.300	1.544

Grafica 44. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Popagá.



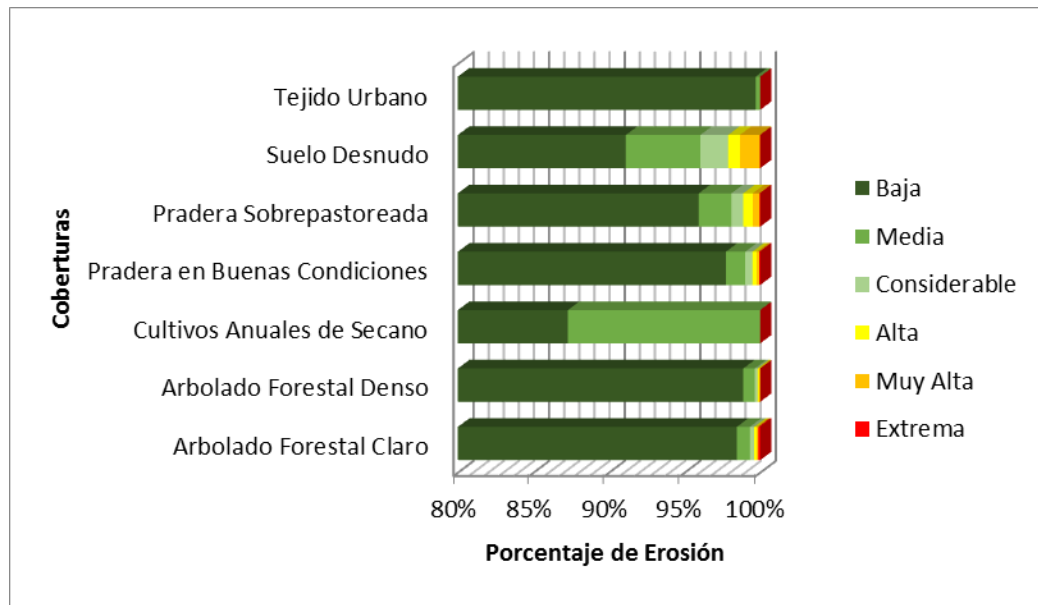
En el diagrama anterior (Grafica 43) además se observa que la cobertura “Suelo Desnudo” es la más afectada para todas las calificaciones de erosión, mientras que Cultivos Anuales de Secano es la cobertura con menor problema de erodabilidad, para las calificaciones “Alta”, “Muy Alta” y “Extrema”.

En Sagamal la afectación erosiva para las calificaciones “Alta”, “Muy Alta” y “Extrema” no son muy significativas (Ver tabla 87), lo cual indica una relativa estabilidad de los suelos para esta Microcuenca, pero si hay un grado de alerta en las coberturas: Cultivos Anuales de Secano y Suelo Desnudo para la calificación “Media” debido a un mayor porcentaje con respecto a las demás coberturas presentes.

Tabla 87. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Sagamal.

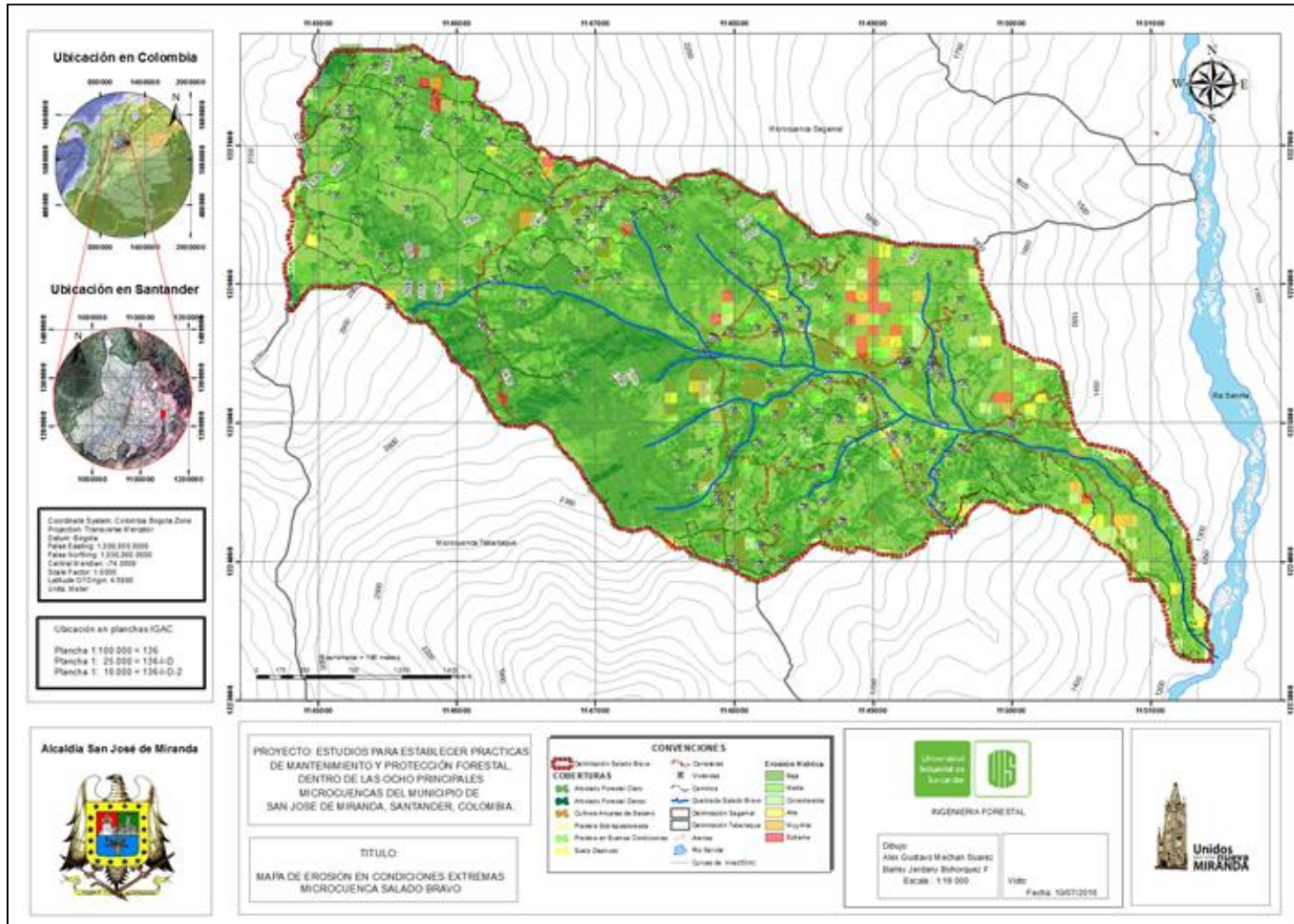
Coberturas Sagamal	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	98.456	0.861	0.292	0.152	0.119	0.119
Arbolado Forestal Denso	98.886	0.766	0.174	0.104	0.070	0.000
Cultivos Anuales de Secano	87.281	12.719	0.000	0.000	0.000	0.000
Pradera en Buenas Condiciones	97.730	1.283	0.475	0.281	0.166	0.066
Pradera Sobrepastoreada	95.941	2.159	0.792	0.617	0.450	0.041
Suelo Desnudo	91.120	4.925	1.850	0.768	1.329	0.009
Tejido Urbano	99.701	0.299	0.000	0.000	0.000	0.000

Grafica 45. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Sagamal.



En el diagrama de barras anterior (Grafica 44) se puede observar con claridad que para Suelo Desnudo y Cultivos Anuales de Secano se presenta un porcentaje diferenciado para la calificación “Media” con respecto a las demás coberturas lo cual indica una pequeña degradación en estas condiciones Extremas de Precipitación.

Figura 77. Mapa erosión para condiciones Extremas de Precipitación Microcuenca Salado Bravo



El análisis de erosión potencial para la Microcuenca Salado Bravo identifico las coberturas de Cultivos Anuales de Secano y las digitalizadas como Suelo Desnudo como aquellas áreas con mayor problemática de erodabilidad bajo condiciones Extremas de Precipitación (Ver tabla 88).

Tabla 88. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Salado Bravo.

Coberturas Salado Bravo	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	96.432	1.653	0.796	0.348	0.326	0.446
Arbolado Forestal Denso	97.413	1.583	0.564	0.135	0.132	0.173
Cultivos Anuales de Secano	83.318	5.466	5.542	0.796	2.669	2.210
Pradera en Buenas Condiciones	94.400	2.426	1.233	0.725	0.604	0.613
Pradera Sobrepastoreada	90.789	3.121	1.896	1.290	0.988	1.916
Suelo Desnudo	79.106	4.421	6.310	1.811	2.787	5.565

En la siguiente grafica (Grafica 45) se muestra la mayor afectación para las coberturas Suelo Desnudo, seguida de Cultivos Anuales de Secano para las calificaciones “Alta”, “Muy Alta” y “Extrema”.

Grafica 46. Diagrama Erosión de Coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Salado Bravo.

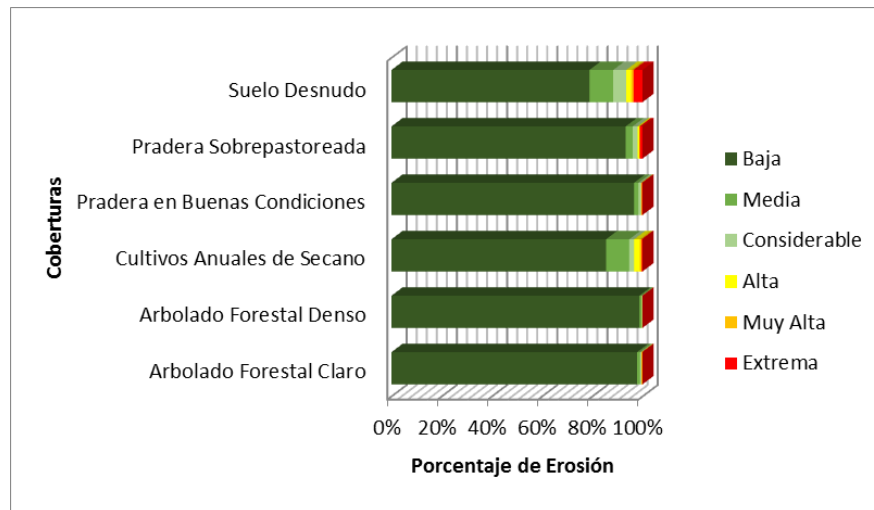
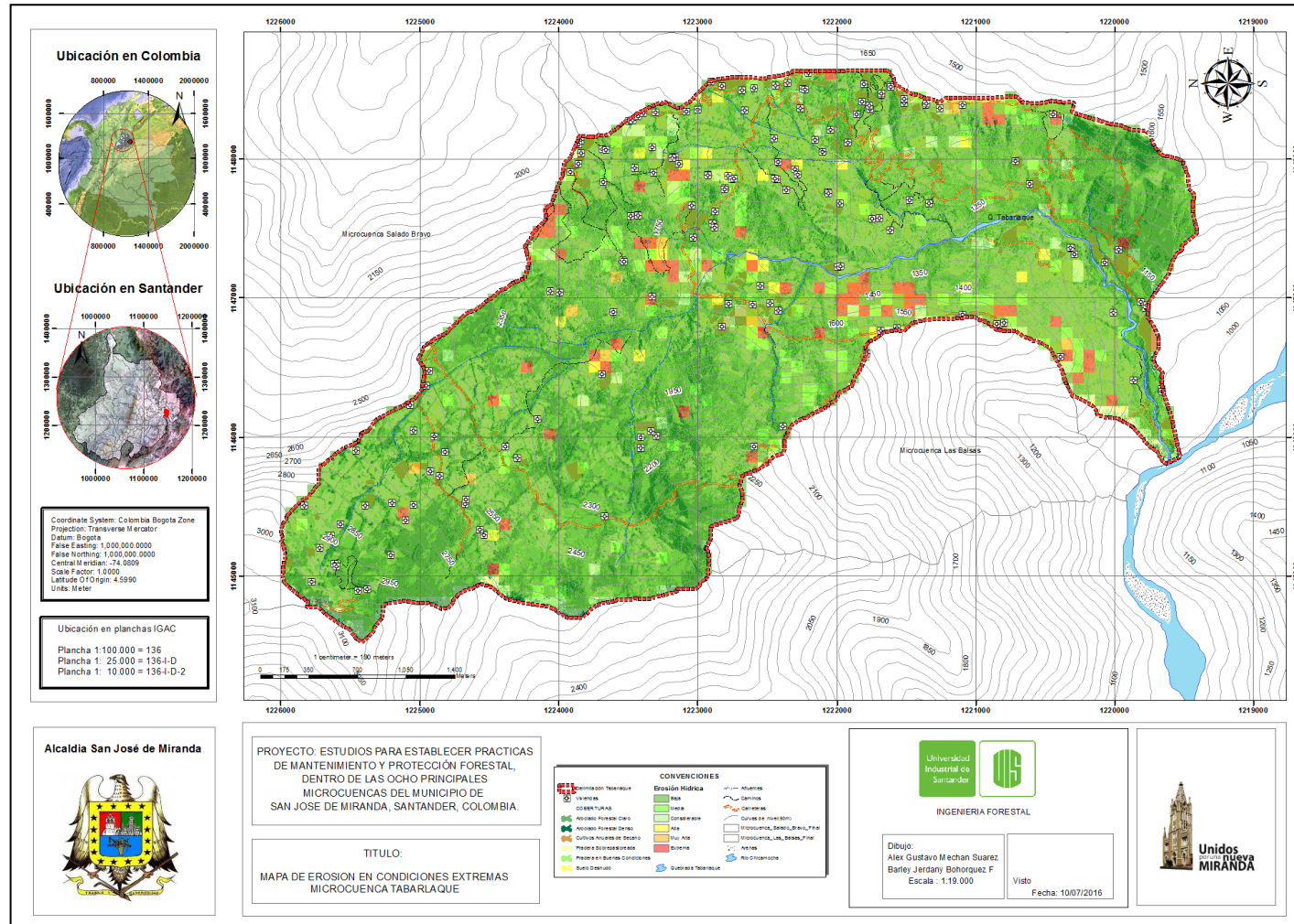


Figura 78. Mapa erosión para condiciones Extremas de Precipitación Microcuenca Tabarlaque

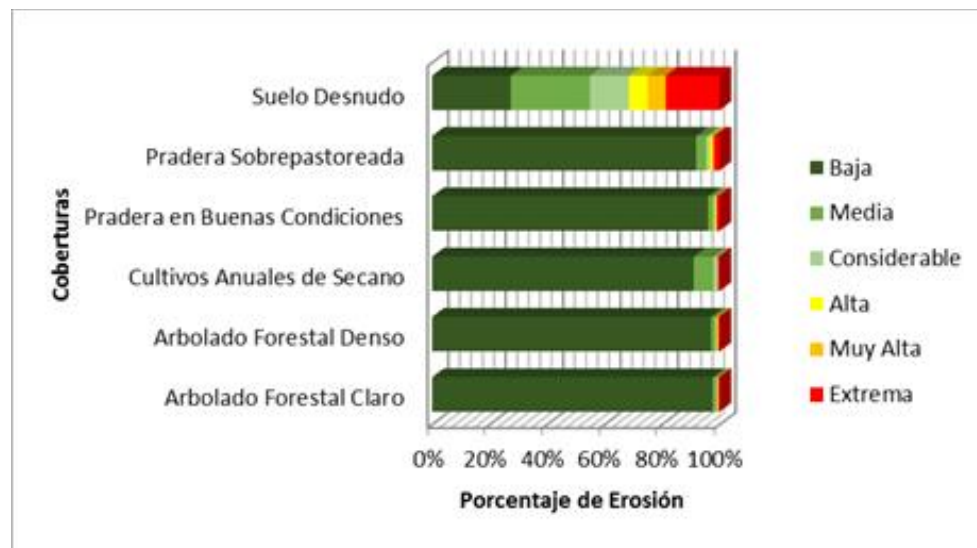


La Microcuenca Tabarlaque bajo el modelo analizado en condiciones Extremas de Precipitación corrobora la problemática que se presenta en esta área de estudio, ya que en la calificación “Extrema” se obtuvo 11.25 % para la cobertura digitalizada como Suelo Desnudo, para Pradera Sobrepastoreada el 3.38 %, Pradera en Buenas Condiciones 1.68 % y 1.089 % para Arbolado Forestal Denso, lo cual indica la gran afectación que tiene esta Microcuenca (Ver Tabla 89).

Tabla 89. Calificación y Porcentaje de Erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Tabarlaque.

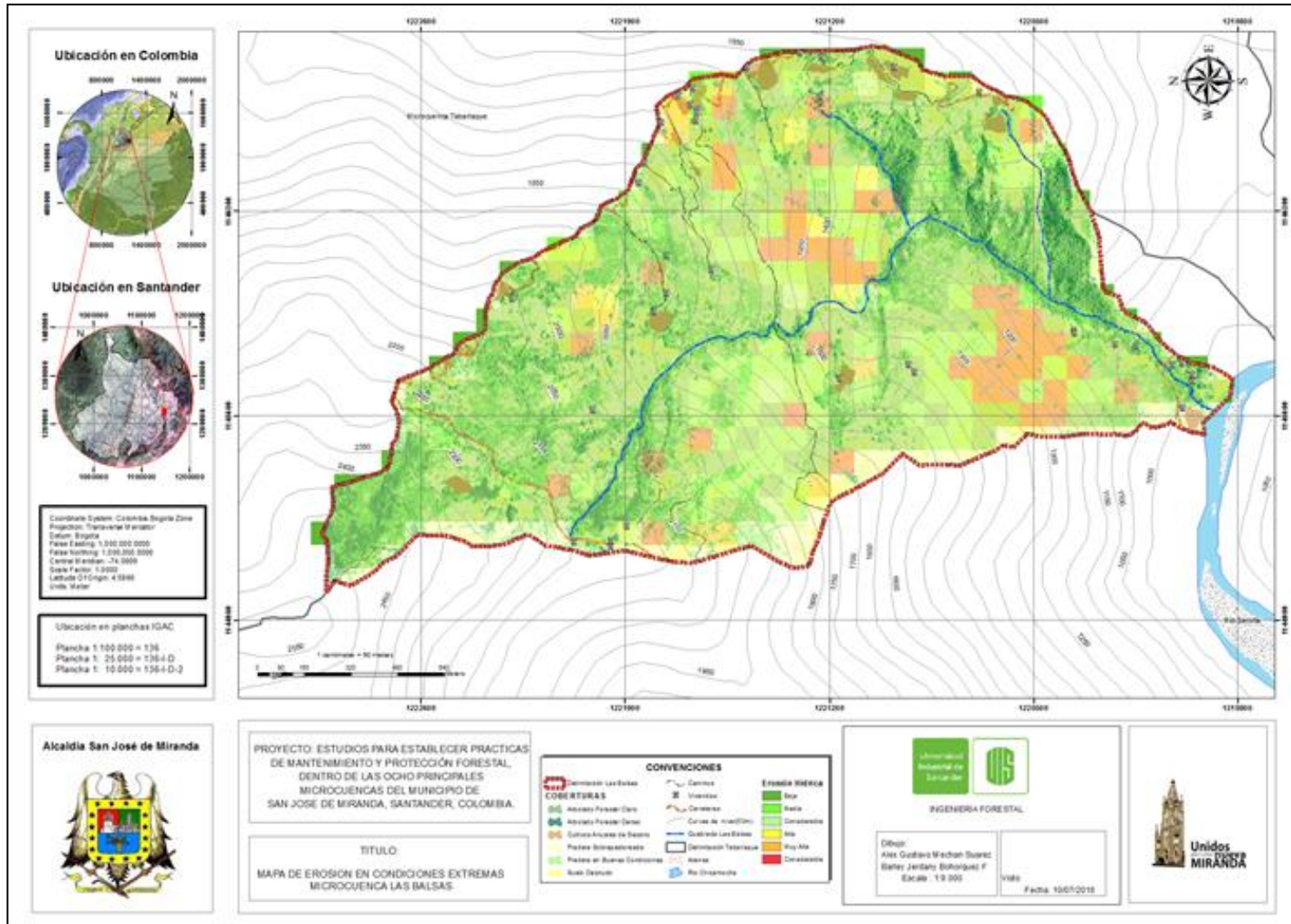
Coberturas Tabarlaque	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	95.759	1.933	0.867	0.331	0.143	0.967
Arbolado Forestal Denso	95.200	2.052	1.236	0.297	0.126	1.089
Cultivos Anuales de Secano	85.471	5.596	6.282	1.720	0.609	0.322
Pradera en Buenas Condiciones	93.349	3.213	1.020	0.538	0.194	1.685
Pradera Sobrepastoreada	87.858	5.475	1.796	1.040	0.442	3.388
Suelo Desnudo	71.668	16.520	0.553	0.000	0.000	11.259

Grafica 47. Diagrama erosión de coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Tabarlaque.



En el diagrama de barras anterior (Grafica 46) se evidencia que la cobertura Suelo Desnudo es la más afectada, seguida de Pradera Sobrepastoreada para todas las calificaciones de erosión con respecto a las demás coberturas analizadas.

Figura 79. Mapa erosión para condiciones Extremas de Precipitación Microcuenca Las Balsas

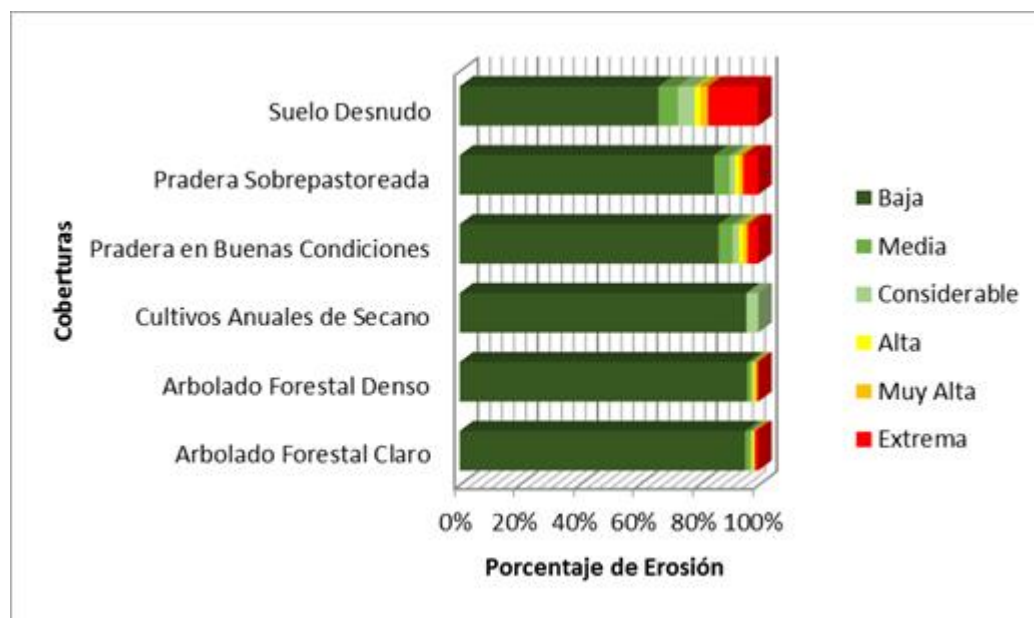


El problema erosivo en la Microcuenca Las Balsas es preocupante para la calificación “Extrema” ya que al sumar dicha calificación para las seis coberturas superan el 35 %, encontrando de nuevo la cobertura Suelo Desnudo con 23.85 % en primer lugar, seguida de Pradera Sobrepastoreada 9.05 % y Pradera Buenas Condiciones con 4.34 % (Ver tabla 90)

Tabla 90. Calificación y Porcentaje de erosión para condiciones Extremas de Precipitación en las Coberturas presentes. Microcuenca Las Balsas.

Coberturas Las Balsas	Calificación y Porcentaje de Erosión					
	Baja	Media	Considerable	Alta	Muy Alta	Extrema
Arbolado Forestal Claro	90.576	5.333	1.148	0.386	0.513	2.044
Arbolado Forestal Denso	92.073	4.372	0.741	0.509	0.256	2.050
Cultivos Anuales de Secano	85.761	7.762	0.169	0.000	6.308	0.000
Pradera en Buenas Condiciones	82.377	9.882	1.461	0.576	1.364	4.340
Pradera Sobrepastoreada	63.428	22.707	1.823	1.295	1.696	9.050
Suelo Desnudo	45.464	21.357	2.710	2.194	4.425	23.850

Grafica 48. Diagrama erosión de coberturas para condiciones Extremas de Precipitación. Microcuenca Las Balsas.



En el diagrama anterior se evidencia que la cobertura Suelo Desnudo al igual que la Microcuenca anterior es la más afectada para todas las calificaciones de erosión.

6.3 FASE DE PROSPECTIVA

6.3.1 Validación del Análisis de Erosión Potencial USLE: todo proceso cartográfico de riesgo requiere su respectiva validación a escala real y en campo, con el fin de confirmar o hacer a un lado los resultados obtenidos a través del análisis. Este proceso fue posible gracias a los acercamientos directos con los habitantes del sector rural del municipio, de recorridos en las márgenes de las quebradas y de la ubicación geográfica referenciada a partir de las salidas cartográficas.

Se visitaron en total 23 áreas categorizadas como de erosión extrema (con base los análisis de erosión obtenidos en el presente estudio) y que afectan de forma directa la red hídrica principal de cada una de las Microcuencas, así mismo se realizó un registro fotográfico (intervalo de imágenes 96 a 118) para cada una de las áreas visitadas. Para la Microcuenca La Malagueña se identificaron dos áreas características de erosión extrema y evidente a simple vista, con pérdidas suelo superior a los 2.5 cm/año

Imagen 46. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca La Malagueña. Coordenadas 1150295.81 Este 1230855.60 Norte.



Imagen 47. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca La Malagueña. Coordenadas 1149971.96 Este 1230792.10 Norte



Para la Microcuenca Los Cojos se identificaron seis áreas con características de erosión extrema apreciables a simple vista y con pérdidas de suelo superiores a los 2.5 cm/año

Imagen 48. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Los Cojos. Coordenadas 1148037.06 Este y 1228799.12 Norte



Imagen 49. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Los Cojos. Coordenadas 1148313.02 Este y 1228941.20 Norte



Imagen 50. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Los Cojos. Coordenadas 1148589.24 Este y 1229171.71 Norte



Imagen 51. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Los Cojos. Coordenadas 1149274.66 Este y 1229205.49 Norte



Imagen 52. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Los Cojos. Coordenadas 1149154.01 Este y 1229093.31 Norte



Imagen 53. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Los Cojos. Coordenadas 1149154.01 Este y 1229093.31 Norte



Para la Microcuenca Popagá se identificaron dos áreas con características de erosión extrema apreciables a simple vista y con pérdidas de suelo superiores a los 2.5 cm/año

Imagen 54. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Popagá. Coordenadas 1149636.94 Este y 1227792.65 Norte



Imagen 55. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Popagá. Coordenadas 1150125.76 Este y 1227563.79 Norte



Para la Microcuenca Tabarlaque se identificaron seis áreas con características de erosión extrema apreciables a simple vista y con pérdidas de suelo superiores a los 2.5 cm/año

Imagen 56. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Tabarlaque. Coordenadas 1146956.84 Este y 1223332.64 Norte



Imagen 57. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Tabarlaque. Coordenadas 1147174.86 Este y 1223209.88 Norte



Imagen 58. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Tabarlaque. Coordenadas 1147854.31 Este y 1223156.96 Norte



Imagen 59. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Tabarlaque. Coordenadas 1146511.08 Este y 1220181.40 Norte



Imagen 60. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Tabarlaque. Coordenadas 1146511.08 Este y 1220181.40 Norte



Imagen 61. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Tabarlaque. Coordenadas 1146274.64 Este y 1220000.06 Norte



Para la Microcuenca Las Balsas se identificaron siete áreas con características de erosión extrema apreciables a simple vista y con pérdidas de suelo superiores a los 2.5 cm/año

Imagen 62. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Alta, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1145839.13 Este y 1222040.90 Norte



Imagen 63. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Alta, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1145515.28 Este y 1221634.50 Norte



Imagen 64. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Alta, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1146404.28 Este y 1221549.83 Norte



Imagen 65. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Alta, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1145818.86 Este y 1221221.81 Norte

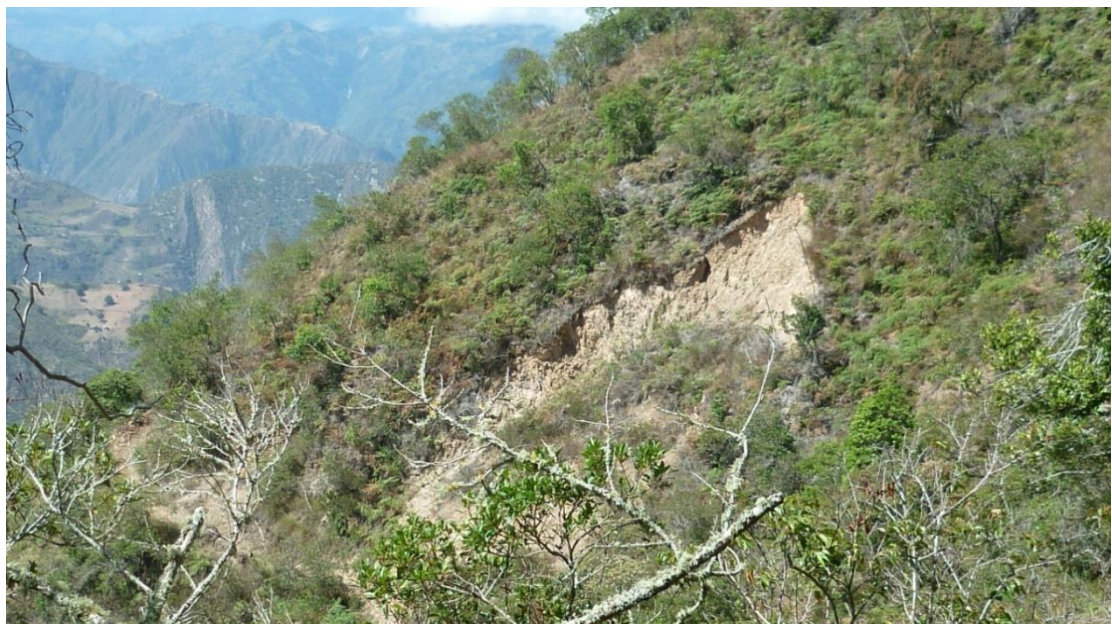


Imagen 66. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Media, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1146084.77 Este y 1221113.00 Norte



Imagen 67. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1145603.61 Este y 1220428.63 Norte



Imagen 68. Área con erosión extrema ubicada en la Parte Baja, Microcuenca Las Balsas. Coordenadas 1145670.02 Este y 1220174.10 Norte



6.3.2 Clasificación de Zonas de Vida según Holdridge: para llevar a cabo la clasificación de zonas de vida para el municipio de San Jose de Miranda, se vio la necesidad de calcular los siguientes parámetros climatológicos

Isotermas: para el caso de las Isotermas, al igual que en las Isoyetas, se realizó una demarcación mediante líneas que sobre el área de trabajo, une los puntos que tienen la misma temperatura según los datos obtenidos por el IDEAM. (Para una representación gráfica del mapa de isotermas (Ver figura 80).

Debido a la falta de estaciones climatológicas en el área de estudio, el cálculo de la temperatura se realizó a partir de las “**GENERALIDADES DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y DE LA PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA**”⁴⁶ establecida por el IDEAM.

Tabla 91. Ecuaciones de distribución espacial y temporal de la temperatura

REGION	ECUACIÓN DE REGRESIÓN	GRADIENTE °C/km	T° a 0 m DE ALTITUD
COLOMBIA	$Y = 28.1 - 0.00553X$	5.53	28.1
1. CARIBE	$y = 28.1 - 0.00589X$	5.89	28.1
2. ANDINA	$y = 29.3 - 0.00613X$	6.13	29.3
2.1 CATATUMBO	$y = 28.4 - 0.00606X$	6.06	28.4
2.2 MAGDALENA	$y = 29.6 - 0.00624X$	6.24	29.6
2.3 CAUCA	$y = 29.4 - 0.00617X$	6.17	29.4
3 Y 4. ORINOQ. Y AMAZON.	$y = 27.1 - 0.00544X$	5.44	27.1
3 ORINOQUIA	$y = 27.4 - 0.00551X$	5.51	27.4
4. AMAZONIA	$y = 26.5 - 0.00529X$	5.29	26.5
5. PACIFICO	$y = 26.2 - 0.00462X$	4.62	26.2

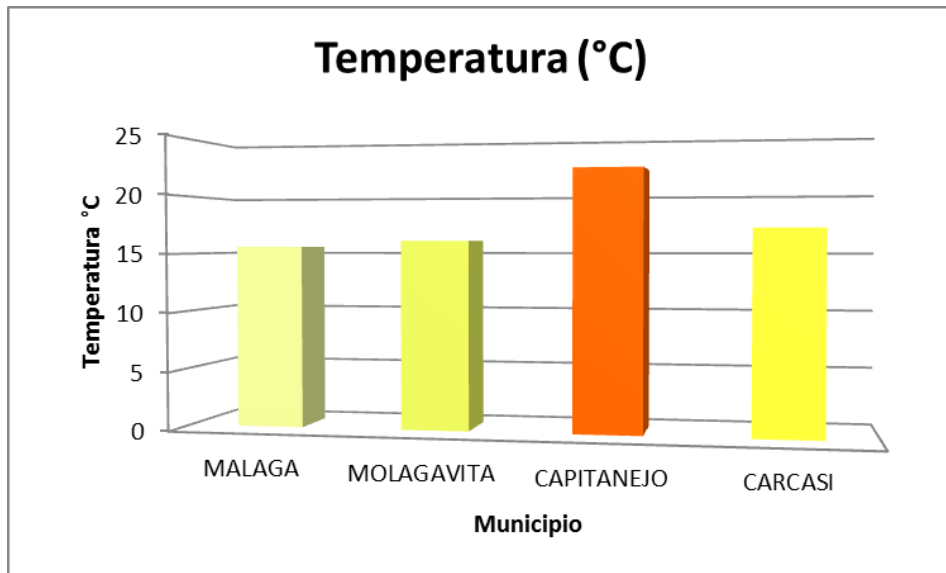
Donde la variable **X** corresponde al valor de elevación para cada punto analizado

Tabla 92. Elevación (m.s.n.m.) y temperatura de cada uno de los municipios

Estación	Cod Estación	X	Temperatura
MALAGA	24030950	2237	15.59
MOLAGAVITA	24030340	2150	16.12
CAPITANEJO	24035260	1160	22.19
CARCASI	24030320	1976	17.19

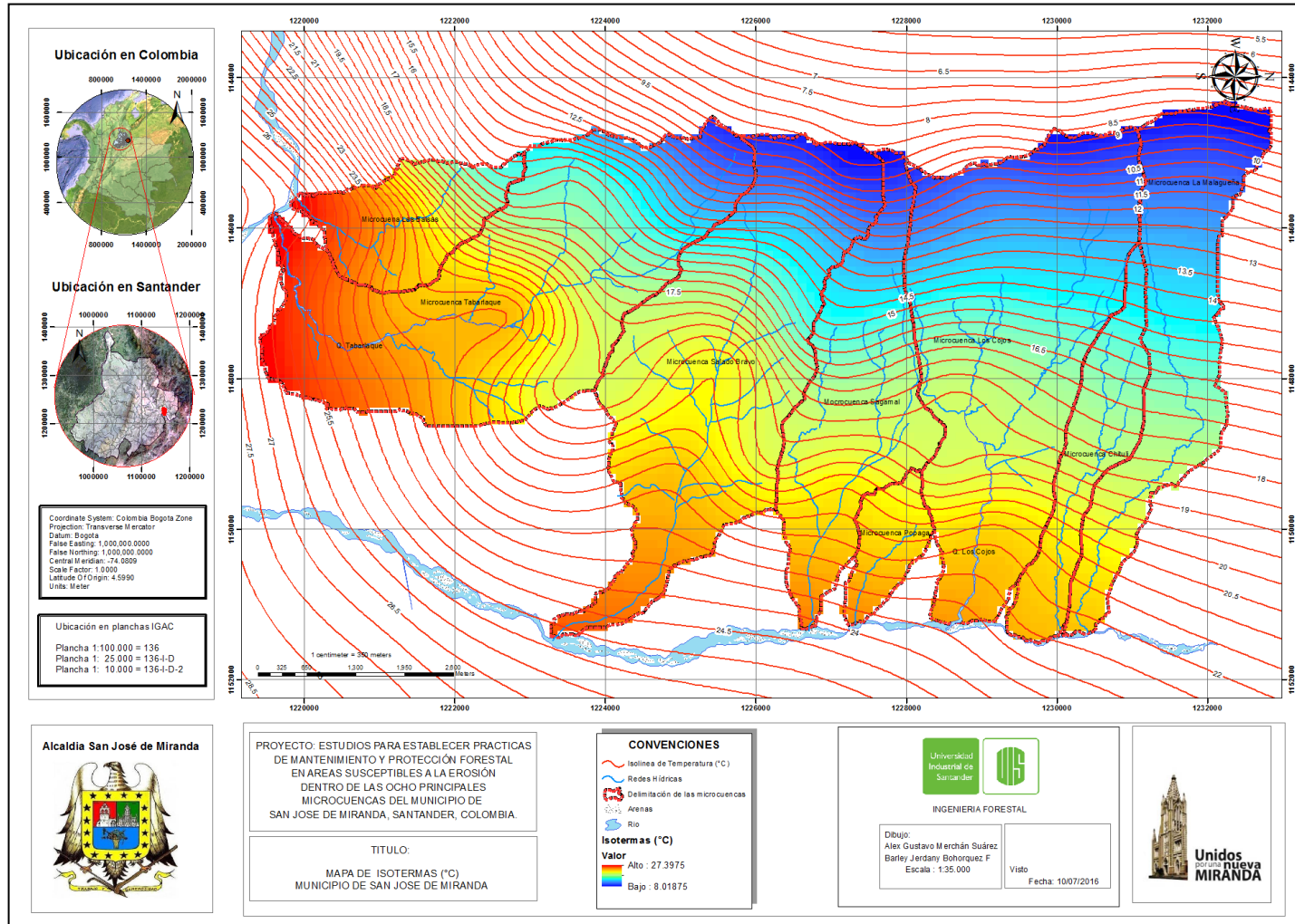
⁴⁶ PABÓN CAICEDO, José Daniel; ESLAVA RAMIREZ, Jesús Antonio; GÓMEZ TORRES, Raúl Eduardo. Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. En: Meteorología Colombiana, 2001, vol.4 no 1. p.47-59. ISSN 0124-6984.

Grafica 49. Temperatura media para cada uno de los municipios



En el grafico anterior (Grafica 48) se evidencia de manera clara la diferencia de temperatura del municipio de Capitanejo con respecto a la de los demás municipios, la cual es un poco más similar.

Figura 80. Mapa de Isothermas para el municipio de San José de Miranda



Evapotranspiración potencial (ETP): (Holdridge, citado por Alvarado, J.; et al. 2008) la evapotranspiración potencial tiene un significado diferente a la de Penman, puesto que considera a la vegetación natural (Máxima pérdida de agua por evaporación y transpiración bajo un óptimo contenido de humedad en el suelo). Siendo calculada como sigue:

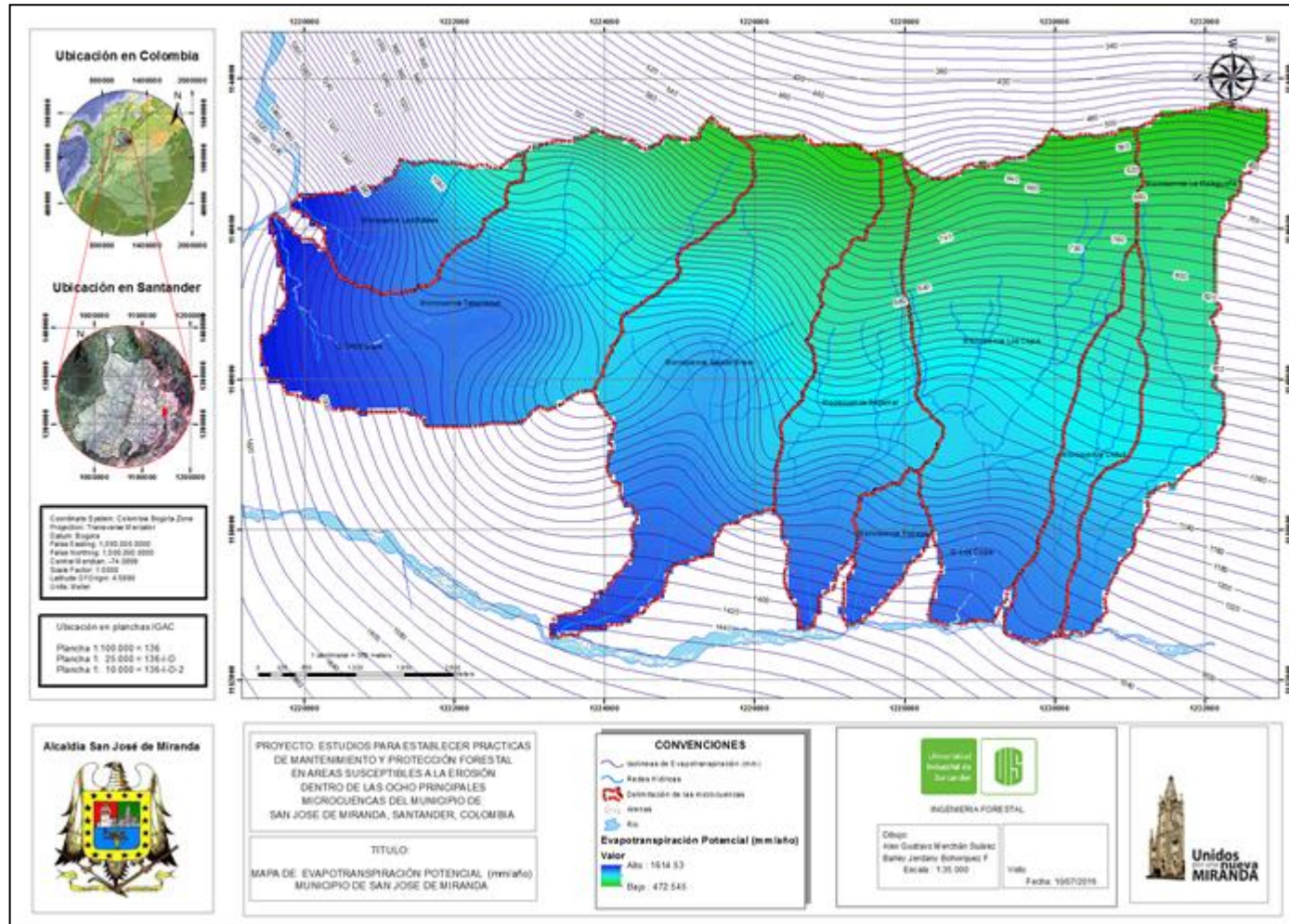
$$\text{ETP (mm/año)} = 58.93 \times \text{Temperatura biológica}$$

Para el cálculo de la evapotranspiración real, se calcula primero la relación de evapotranspiración potencial como la relación entre esta y el valor de la precipitación media anual.⁴⁷

En la siguiente figura (figura 81) muestra el resultado de la Evapotranspiración potencial para el total del municipio

⁴⁷ ALVARADO RAMIREZ, Jaime Walter; RABANAL ROSILLO, Hamilton; MELENDEZ PINEDO, Robert. Evaluación y caracterización del clima para la micro zonificación ecológica y económica de la cuenca alta y media del río sisa. [En línea]Lima (Perú) :ITD , 2008.p.16.[Citado noviembre 2016] Disponible en: www.solucionespracticas.org.pe/Descargar/382/3582

Figura 81. Mapa de Evapotranspiración potencial (ETP) para el municipio de San José de Miranda



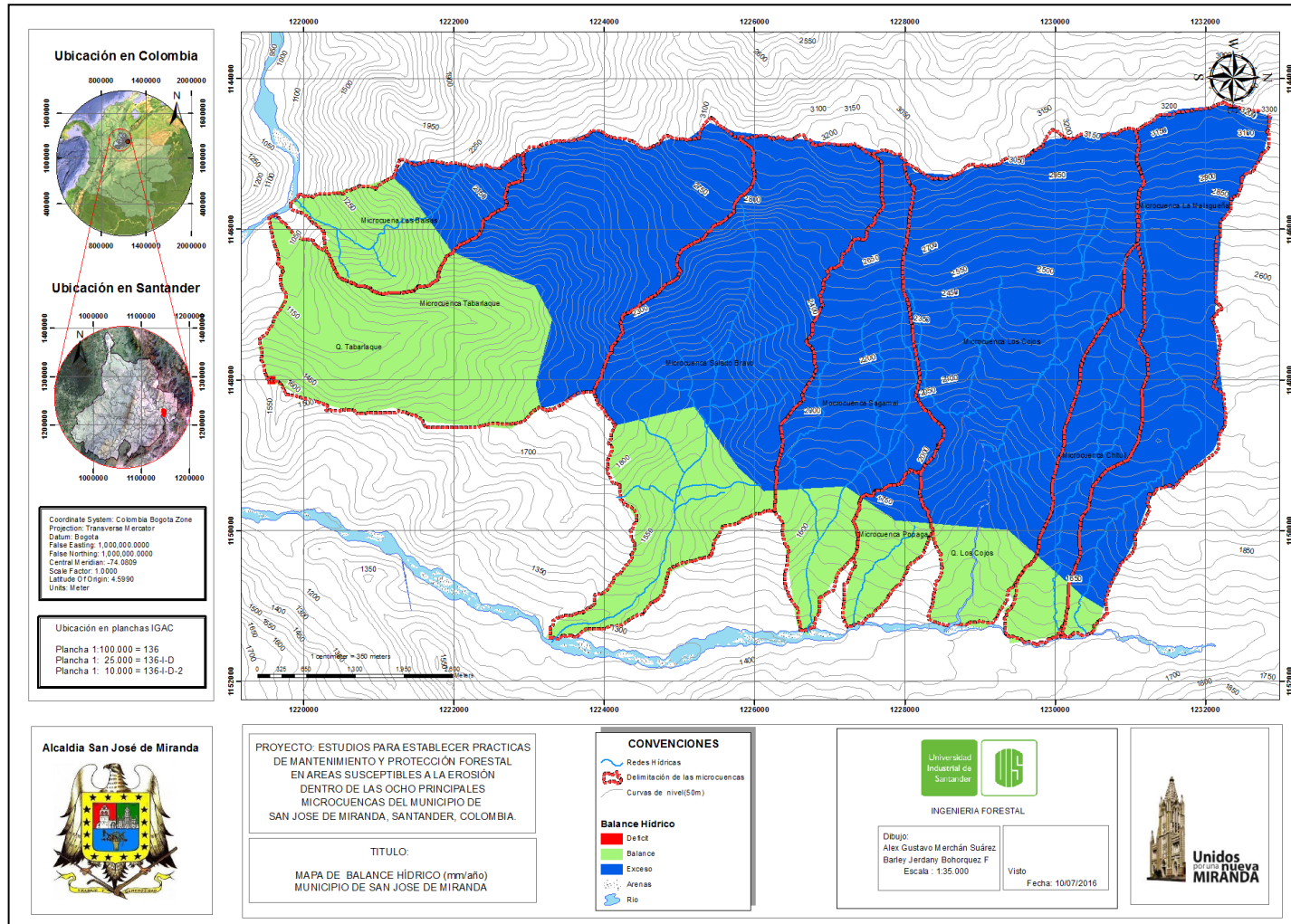
Balance Hídrico: (Pereira et al., 2002 citado por Lozada, B; Senthelas, P.2003). El Balance Hídrico climatológico (BHC) es la contabilización del agua del suelo, resultante del principio de conservación de la materia en un determinado volumen de suelo con vegetación, y representa el balance entre el agua que entró y la que salió de dicho ámbito. Este puede ser calculado con valores medios o normales climatológicos y se le denomina BHC normal, o con valores secuenciales a lo largo de uno o varios años, denominado BHC secuencial o seriado.⁴⁸ El Balance Hídrico normal no considera la variación interanual del clima, específicamente de la precipitación En ese sentido, (Pascale y Damario 1977) señalan que el balance hidrológico climático normal es insuficiente cuando se requiere conocer las probabilidades de ocurrencias de déficits o excesos de una determinada región, sugiriendo como solución el uso del balance hidrológico seriado.⁴⁹

Como resultado del análisis hídrico secuencial realizado para el municipio de San José Miranda se obtuvo que el 70 % del territorio equivalente a 42.73 ha presentan exceso hídrico, suficiente para un óptimo desarrollo fisiológico de cualquier especie vegetal, mientras que solamente 18.31 ha ubicadas hacia la parte baja de las Microcuencas, correspondientes al restante 30 % reportan estabilidad hídrica, (Para una representación gráfica del Balance Hídrico, (Ver figura 82)

⁴⁸ LOZADA, Beatriz; SENTELHAS, Paulo. Óp. Cit.p.12

⁴⁹ PASCALE, A. J.; DAMARIO E. A Óp. Cit. p. 15

Figura 82. Mapa de Balance Hídrico (BH) para el municipio de San José de Miranda



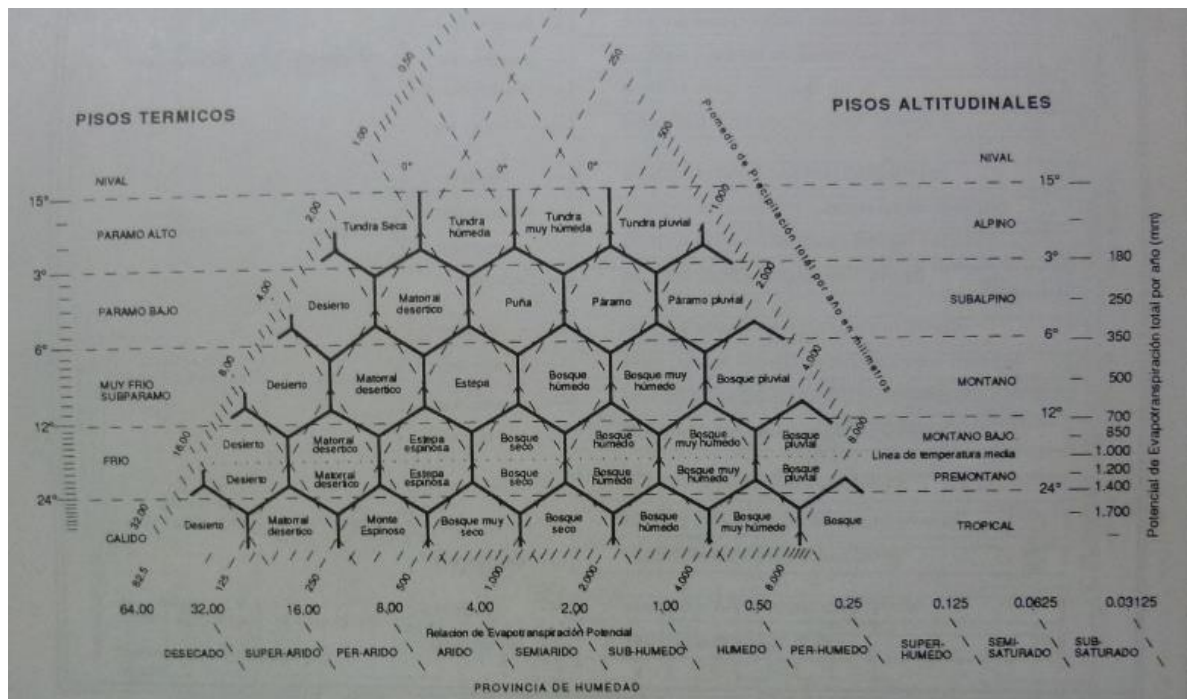
Determinación de las zonas de vida y recomendación de especies vegetales de para protección: (Holdridge, 1978) En este sistema de clasificación se contemplan regiones latitudinales y dentro de cada región fajas o pisos altitudinales; y a su vez en cada piso se ubican las zonas de vida (Tabla 94)

Tabla 93. Datos tenidos en cuenta para la clasificación de la Zona de Vida.

MICROCUENCA	PARTE ALTA			PARTE BAJA		
	EVT (mm/año)	Temperatura anual promedio (°C)	Precipitación promedio total multianual (mm/año)	EVT mm/año	Temperatura anual promedio (°C)	Precipitación promedio total multianual (mm/año)
LA MALAGUEÑA	460	7,7	1827	1320	22,4	1518
CHITULI	760	13	1723	1340	22,7	1497
LOS COJOS	495	8,4	1774	1376	23,4	1475
POPAGA	1140	19,3	1520	1400	23,8	1430
SAGAMAL	510	8,6	1675	1427	24,3	1425
SALADO BRAVO	500	8,5	1660	1490	25,3	1320
TABARLAQUE	545	9,4	1623	1620	27,5	1420
LAS BALSAS	860	14,7	1535	1600	27,2	1423

En el diagrama para la clasificación de Zonas de Vida (figura 83) hay tres grupos de líneas guía, dispuestas en escala logarítmica que son:

Figura 83. Diagrama para clasificación de zonas de vida



FUENTE: Guía de planificación de unidades familiares de producción. 2da edición: CDMB.⁵⁰

Precipitación anual promedio: estos valores van desde 62.5 mm hasta más de 8000 mm y aumentan de izquierda a derecha (de manera descendente).

Bio-Temperatura anual promedio: Cuyos valores van desde 0° C hasta 30° C y aumentan de manera descendente.

Potencial de evapotranspiración total por año: Valores que van de 180 mm hasta más de 1700 mm y aumentan de manera descendente.

Para la clasificación de las Zonas de Vida de cada Microcuenca se dividió en Parte Alta y Parte Baja, es decir la Parte Media es tan solo la frontera mas no se tuvo en cuenta, encontrando y teniendo en cuenta los datos del diagrama anterior (Figura 83), se tiene:

Microcuenca La Malagueña: la Parte Alta se clasifica como bosque muy húmedo Montano **bmh-M** conformada por la vereda Yerbabuena (en su sector

⁵⁰ CORPORACION DE DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Guía de planificación de unidades familiares de producción. Bucaramanga: CDMB, 1990.p.27.

más alto) y en transición a bosque húmedo Montano Bajo **bh-MB**, en la zona cerca a la vía central del norte.

La Parte Baja por su parte se clasificó como bosque húmedo Premontano **bh-P**, conformada por la vereda Tierra Blanca.

En esta Microcuenca se presenta un problema erosivo en la parte baja; de acuerdo con su zona de vida y los estudios realizados es recomendable implementar las siguientes especies:

Nombre Común: Encenillo

Nombre Científico: *Weinmannia tomentosa*

Familia: Cunoniaceae

Sirve como protección de aguas y riberas (Parte Alta)

Nombre Común: Chachafruto

Nombre Científico: *Erythrina edulis*

Familia: Fabaceae

Se puede utilizar como cerca viva, es fijadora de nitrógeno y apta para recuperación del suelo. (Parte Media)

Nombre Común: Sauce

Nombre Científico: *Salix humboltiana*

Familia: Salicaceae

Útil como barrera corta vientos, cercas vivas y para protección de aguas y riberas. (Parte Alta y Parte Media).

Nombre Común: Arrayan

Nombre Científico: *Myrcia popayanensis*

Familia: Myrtaceae

Sirve para cercas vivas y para protección de aguas y riberas. (Parte Alta y Parte Media).

Microcuenca Chituli: la Parte Alta se clasifica como bosque muy húmedo Montano **bh-MB** conformada por la vereda Yerbabuena (en su parte baja) y un área de la vereda Tequia.

La Parte Baja se clasificó como bosque húmedo Premontano **bh-P**, conformada por las veredas Tierra Blanca y Versailles.

La recomendación de especies para esta esta Microcuenca de acuerdo a su grado de erosión son las siguientes:

Nombre Común: Chachafruto

Nombre Científico: *Erythrina edulis*

Familia: Fabaceae

Utilizado como cerca viva, es fijadora de nitrógeno y apta para recuperación del suelo. (Parte Media)

Nombre Común: Sauce

Nombre Científico: *Salix humboltiana*

Familia: Salicaceae

Utilizado como barrera corta vientos, cercas vivas y para protección de aguas y riberas. (Parte Alta y Parte Media).

Nombre Común: Arrayan

Nombre Científico: *Myrcia popayanensis*

Familia: Myrtaceae

Sirve para cercas vivas y para protección de aguas y riberas. (Parte Alta y Parte Media)

Microcuenca Los Cojos: la Parte Alta se clasifica como bosque muy húmedo Montano **bmh-M** conformada por la vereda Lucusguta (en su parte más alta), luego viene una zona de transición a bosque húmedo Montano Bajo **bh-MB**, en un sector de la vereda Sagamal.

Mientras tanto la Parte Baja se clasificó como bosque húmedo Premontano **bh-P**, conformada por parte de las veredas Sagamal, Cutaligua y Tierra Blanca.

Esta Microcuenca presenta problemas de erosión en su parte alta y media. Las especies que se recomiendan son las siguientes:

Parte Alta:

Nombre Común: Encenillo

Nombre Científico: *Weinmannia tomentosa*

Familia: Cunoniaceae

Utilizado como protección de riberas (Parte Alta)

Nombre Común: Pino Colombiano

Nombre científico: *Decussocarpus rospigliosii*

Familia: Podocarpaceae

Se utiliza como protección de riberas (Parte alta)

Nombre Común: Chachafruto

Nombre científico: *Erythrina edulis*

Familia: Fabaceae

Utilizado como cerca viva, es fijadora de nitrógeno y apta para recuperación del suelo.

Nombre Común: Laurel

Nombre Científico: *Myrica pubescens*

Familia: Myricaceae

Utilizado para protección de riberas y muy útil para control de erosión

Parte media:

Nombre Común: dividivi de Tierra Fría, Guarango

Nombre Científico: *Caesalpinia spinosa*

Familia: Caesalpinaceae

Se usa para control de erosión

Nombre Común: Guayacan de Manizales

Nombre Científico: *Lafoencia speciosa*

Familia: Lythraceae

Utilizada para protección de riberas

Nombre Común: Uvo

Nombre Científico: *Ficus soatensis*

Familia: Moraceae

Se usa para protección de aguas y riberas

Microcuenca Popagá: esta Microcuenca tan solo presenta una Zona de Vida debido a que es la segunda más pequeña en área, clasificándose como bosque húmedo Premontano **bh-P**, y la conforman parte de las veredas Cutaligua, Popagá y Tierra Blanca.

Las especies vegetales recomendadas por el presente estudio para esta área se enuncian a continuación:

Nombre común: Arrayan

Nombre Científico: *Myrcianthes leucoxylla*

Familia: Myrtaceae

Se usa para la protección de aguas y riberas (En su Parte Alta)

Nombre Común: Guayacan Amarillo

Nombre Científico: *Tabebuia chrysantha*

Familia: Lythraceae

Sirve para protección de riberas (Parte Baja)

Nombre Común: Gallinero

Nombre Científico: *Pithecellobium dulce*

Familia: Fabaceae

Es utilizado para prevención de erosión en riberas (Parte Baja)

Microcuenca Sagamal: la parte alta se clasifica como bosque muy húmedo Montano **bmh-M** conformada por pequeñas áreas de las veredas El Pozo, Cucurucho y Sagamal (en su parte alta); luego viene una zona de transición a bosque húmedo Montano Bajo **bh-MB**, en el sector donde se unen las veredas Sagamal y Cutaligua.

Esta Microcuenca no presenta partes con derrumbes fuertes, Sin embargo para mantener el flujo de agua constantes en sus nacimientos y para prevenir una posible erosión se podrían implementar las siguientes especies:

Nombre Común: Sauce

Nombre Científico: *Salix humboldtiana*

Familia: Salicaceae

Utilizado para protección de aguas y riberas (Parte Alta y Parte Media)

Nombre Común: Tachuelo

Nombre Científico: *Solanum ovalifolium*

Familia: Solanaceae

Sirve para protección de aguas y riberas (Parte Media)

Nombre Común: Chocho

Nombre científico: *Erythrina rubrinervia*

Familia: Fabaceae

Utilizado para el control de erosión (Parte Media)

Nombre Común: Pino Colombiano

Nombre Científico: *Decussocarpus rospigliosii*

Familia: Podocarpaceae

Usado para protección de aguas y riberas (Parte Alta y Parte Media)

La Parte Baja se clasificó como bosque húmedo Premontano **bh-P**, conformada por la vereda Tierra Blanca.

Microcuenca Salado Bravo: la parte Alta se clasifica como bosque muy húmedo Montano **bmh-M** conformada por la vereda Cruz de Piedra y parte de la vereda Moralito; y una zona de transición a bosque húmedo Montano Bajo **bh-MB**, en una pequeña zona de las veredas Salado Bravo y parte de Moralito.

En cuanto a la Parte Baja se clasificó como bosque seco Tropical **bs-T**, conformada por la vereda Carbonera.

Especies recomendadas para las erosiones presentes en todo el cauce de esta Microcuenca:

Nombre común: Balso

Nombre Científico: *Ochroma pyramidale*

Familia: Bombacaceae

Utilizado para control de erosión (Parte Baja)

Nombre Común: Caña de Castilla

Nombre Científico: *Arundo Donax*

Familia: Gramineae

Usado para protección de aguas y riberas (Parte Media y Baja)

Nombre Común: Gualanday

Nombre Científico: *Jacaranda caucana*

Familia: Bignoniaceae

Uso control de erosión (Parte Media)

Nombre Común: Leucaena

Nombre Científico: *Leucaena leucocephala*

Familia: Mimosaceae

Utilizado para control de erosión (Parte Media y Parte Baja)

Microcuenca Tabarlaque : la parte Alta se clasifica como bosque muy húmedo Montano **bmh-M** conformada por la vereda Cruz de Piedra y parte de la vereda Cucharito (en su sector alto); y una zona de transición a bosque

húmedo Montano Bajo **bh-MB**, en un área próxima a la vereda Moralito. Mientras que para la Parte Baja se clasificó como bosque seco Tropical **bs-T**, conformada por la vereda Cucharito (en su sector más bajo).

Las especies de protección recomendadas para esta localidad del municipio son las siguientes:

Nombre Común: Arrayan

Nombre Científico: *Myrcia popayanensis*

Familia: Myrtaceae

Sirve para cercas vivas y para protección de aguas y riberas. (Parte Alta)

Nombre Común: Caracoli

Nombre Científico: *Anacardium excelsum*

Familia: Anacardiaceae

Utilizado para protección de aguas y riberas (Parte Baja)

Nombre Común: Guacimo

Nombre Científico: *Guazuma ulmifolia*

Familia: Sterculiaceae

Usado para control de erosión (Parte Media)

Nombre Común: Matarraton

Nombre Científico: *Gliricidia sepium*

Familia: Fabaceae

Se usa para control de erosión (Parte Baja)

Nombre Común: Indio Desnudo

Nombre Científico: *Bursera simaruba*

Familia: Burseraceae

Utilizado para control de erosión (Parte Media)

Nombre Común: Acacia de Girardot

Nombre Científico: *Delonix regia*

Familia: Caesalpinaceae

Usada para protección de riberas y control de erosión (Parte Media y Parte Baja)

Nombre Común: Cuji

Nombre Científico: *Prosopis Juliflora*

Familia: Mimosaceae

Usado como control de erosión (Parte Baja)

Microcuencia Las Balsas: es la Microcuencia más pequeña y en la Parte Alta se clasifica como **bh-MB** conformada por la vereda Cucharito (en el sector más alto), mientras que para la Parte Baja se clasifica como bosque seco Tropical **bs-T** y conformada por la misma vereda Cucharito (en la zona más baja).

Para la Microcuencia Las Balsas se recomiendan las mismas especies que las recomendadas en Tabarlaque puesto que la zona de vida es la misma.

Nombre Común: Arrayan

Nombre Científico: *Myrcia popayanensis*

Familia: Myrtaceae

Sirve para cercas vivas y para protección de aguas y riberas. (Parte Alta)

Nombre Común: Caracolí

Nombre Científico: *Anacardium excelsum*

Familia: Anacardiaceae

Utilizado para protección de aguas y riberas (Parte Baja)

Nombre Común: Guacimo

Nombre Científico: *Guazuma ulmifolia*

Familia: Sterculiaceae

Control de erosión (Parte Media y Parte Baja)

Nombre Común: Matarraton

Nombre Científico: Gliricidia sepium

Familia: Fabaceae

Control de erosión (Parte Baja)

Nombre Común: Indio Desnudo

Nombre Científico: Bursera simaruba

Familia: Burseraceae

Control de erosión (Parte Media y Parte Baja)

Nombre Común: Acacia de Girardot

Nombre Científico: Delonix regia

Familia: Caesalpinaceae

Usado para protección de riberas y control de erosión (Parte Media y Parte Baja)

Nombre Común: Cuji

Nombre Científico: Prosopis Juliflora

Familia: Mimosaceae

Usado para controlar la erosión (Parte Baja)

Especie Gramínea para implementar en todas las Microcuencas

Imagen 69. Especie Gramínea para implementar en todas las Microcuencas



Fuente: Vetiver Bioingeniería, 2014

Nombre Común: Pasto Vetiver

Nombre Científico: *Vetiveria zizanioides*

Familia: Poaceae

El Vetiver es una planta gramínea perenne con vida útil de más de cien años, de rápido crecimiento y muy resistente.

Aunque a través de los años se ha ensayado la utilización de muchas hierbas y árboles como medida de prevención de la erosión, hasta la fecha sólo el vetiver ha pasado la prueba del tiempo. Como queda de manifiesto en la enumeración de sus características que se presenta a continuación y que se deriva de observaciones recogidas en todo el mundo sobre la *Vetiveria zizanioides*, esta planta verdaderamente notable resulta ideal para el sistema vegetal de conservación del suelo y la humedad. No se conoce ninguna otra hierba que la iguale en resistencia y diversidad.

- Cuando se la planta correctamente, la *V. zizanioides* forma rápidamente un cerco espeso y permanente.

-Tiene un sistema radicular fuerte y fibroso que penetra y fija el suelo hasta una profundidad de tres metros y puede resistir los efectos de la tunelización y el agrietamiento.

-Es perenne y requiere un mínimo de mantenimiento.

-Es prácticamente estéril, y debido a que no produce estolones ni rizomas, no se convierte en maleza.

-Su corona se halla bajo la superficie, lo que la protege contra el fuego y el exceso de pastoreo.

-Sus hojas afiladas y sus raíces aromáticas repelen a los roedores, las serpientes y otras plagas similares.

-Sus hojas y raíces han demostrado ser resistentes a la mayoría de las enfermedades.

-Una vez establecida, por lo general no resulta apetitosa para el ganado. Las hojas nuevas, sin embargo, son sabrosas y pueden utilizarse para forraje. (En Karnataka, India, un cultivar de *V. zizanioides* seleccionado por los agricultores tiene hojas más tiernas que resultan más apetitosas para el ganado.

Es tanto xerófita como hidrófita y una vez establecida puede resistir sequías, inundaciones y prolongados períodos de anegamiento.

-No compite con las plantas para cuya protección se la utiliza. Los cercos de vetiver han demostrado que no sólo no producen efectos negativos en el rendimiento de los cultivos alimentarios plantados en su vecindad, sino que hasta pueden llegar a aumentarlo.

-Se cree que posee micorrizas que fijan el nitrógeno, lo que explicaría el hecho de que se mantiene verde durante todo el año.

-Es barata y fácil de establecer como cerco y de mantener, así como de eliminar, si no se desea conservarla.

-Crece en cualquier tipo de suelo sin importar la fertilidad, el pH o la salinidad de éste. Ello incluye arenas, esquistos, suelos de grava e incluso suelos tóxicos debido a su contenido de aluminio.

-Crece en una amplia variedad de climas. Hay información de que crece en zonas con una precipitación media anual de entre 200 y 6.000 milímetros y temperaturas de entre 9 centígrados.

-Es una planta perfectamente adaptada, de modo que aun cuando todas las demás plantas de los alrededores han sido destruidas por la sequía, las inundaciones, las plagas, las enfermedades u otras circunstancias adversas, el vetiver permanece en su lugar para proteger al suelo de las próximas lluvias.

Desventaja

La principal desventaja es su intolerancia a condiciones de sombra, específicamente en su etapa de establecimiento.

Imagen 70. Vetiver en Colombia



Fuente: CENICAFE

En las zonas cafeteras del departamento de Tolima ya se implementa esta gramínea para la protección de laderas y cultivos de café.

6.3.3 Necesidades de Información: Plantear técnicas y prácticas de Bioingeniería: para plantear las técnicas de protección, es necesario conocer los efectos que ocasiona la erosión sobre el suelo, y según esto, identificar las especies vegetales a implementar

La siguiente (Tabla 95), facilita la interpretación de mecanismos que actúan como efecto de la erosión hídrica, así como una estimación de los esfuerzos que los suelos y el material vegetal desarrollan para resistir esta problemática.

(Monroy, 2002) La erosión por lluvia se debe a dos causas principales:

- El impacto de las gotas y el arrastre del agua que escurre por la superficie del terreno. Los aspectos básicos de la erosión son:
- Las gotas de lluvia desprenden partículas de tierra y obstruyen la superficie. El agua no puede infiltrarse en la superficie sellada y entonces aumenta el flujo sobre el suelo.
- La vegetación o cualquier otra cobertura puede reducir el impulso o la energía de las gotas de lluvia y así prevenir el sellado de la superficie.

La erosión resulta del impacto de la lluvia y del flujo de ésta por superficie u otras capas. La energía cinética de las gotas de lluvia que caen aumenta con la intensidad de la precipitación, pero el incremento va siendo menor según la intensidad aumenta, de manera que la energía cinética tiende asintóticamente a un valor límite, que parece ser el mismo para todas las tormentas de gran intensidad.⁵¹

⁵¹ MONROY, R. Manual de Diseño Geotécnico. Mexico: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 2002. p.23.

Tabla 94. Principales aspectos que afectan el fenómeno de erosión por lluvia

Acciones directas o indirectamente erosivas	Mecanismo de acción	Efectos erosivos directos o indirectos
Impacto de las gotas.	Intensidad de la lluvia (hasta un límite). Velocidad del viento durante la tormenta	Erosión por escurrimiento laminar. Erosión por escurrimiento concentrado (Torrentes)
Escurrimiento superficial.	Intensidad de la lluvia y su duración.	Erosión diferencial por diferentes resistencias al fenómeno de las distintas capas del terreno.
Infiltración	Duración de la lluvia.	Deslizamientos de tierras. Erosión interna, tubificación, etc.
Humedecimiento y secado.	Alternancia de estaciones: seca y lluviosa.	Fisuramiento. Pérdida de cohesión. Flujos estacionales.
	Intensidad de la acción solar.	
	Pluviosidad.	

Fuente: Monroy, M. Muros, Taludes y Terraplenes de Suelo Reforzado: Control de Erosión. 2002.

6.3.4 Prevención de Erosión: para las áreas caracterizadas como susceptibles o potenciales a la erosión se recomienda efectuar labores de empujización y plantación de sistemas multiestrata de especies protectoras o Protecto-productoras.

(Monroy, 2002) La empujización, la plantación de vegetación herbácea y de vegetación de árboles y arbustos, se usan en la prevención y control de erosión de suelos con los siguientes fines:

- a. Intercepción de las gotas de lluvia: el follaje y los residuos de las plantas absorben la energía de las gotas de lluvia, previniendo la compactación del suelo y la saltación o salpicadura.
- b. Fijación del suelo: el sistema de raíces sujeta las partículas de suelo mientras que los residuos de las plantas en superficie previenen el arrastre de sedimentos por escorrentía.
- c. Retardo: los residuos de vegetación que cubren el suelo incrementan la rugosidad de la superficie del terreno y reducen la velocidad de la escorrentía.

d. Infiltración: el agua es absorbida por las raíces y los residuos de las plantas contribuyendo a mantener la porosidad y permeabilidad del suelo.

e. Transpiración: el agua pasa a la atmósfera desde las hojas de las plantas provocando reducción en el contenido de humedad del suelo; el suelo retarda el inicio de la saturación y la escorrentía.⁵²

(Rivera, 1999 citado por Ramirez et al, 2009) la erosión hídrica es un proceso continuo que consiste en la separación de las partículas y agregados de la masa del suelo, su transporte y sedimentación, siendo el agente activo el agua. Inicia cuando las gotas de lluvia golpean terrones y agregados en la superficie de un suelo desnudo, causando el movimiento de las partículas más finas como sedimento en suspensión en el flujo del agua⁵³

Como un valor agregado muy atractivo, además de servir para recuperar o preservar la estabilidad del terreno, la bioingeniería reduce el impacto visual de las obras de ingeniería en general, con beneficios ecológicos, paisajísticos, económicos (menor costo) y sociales (mayor mano de obra), y en algunos casos con el aprovechamiento de los cultivos incorporados.

En la siguiente tabla (Tabla 96), se describe un ejemplo de cómo aplicar técnicas y prácticas de bioingeniería para el municipio, de tal forma que contribuyan a recuperar el terreno afectado por erosión o por movimientos en masa en taludes, laderas o cauces, con algún valor agregado.

⁵² Ibid, p.11.

⁵³ RAMÍREZ ORTIZ, Fernando Andrés; HINCAPIÉ GÓMEZ, Edgar; SADEGHIAN KHALAJABADI, Siavosh. Óp. Cit.p20

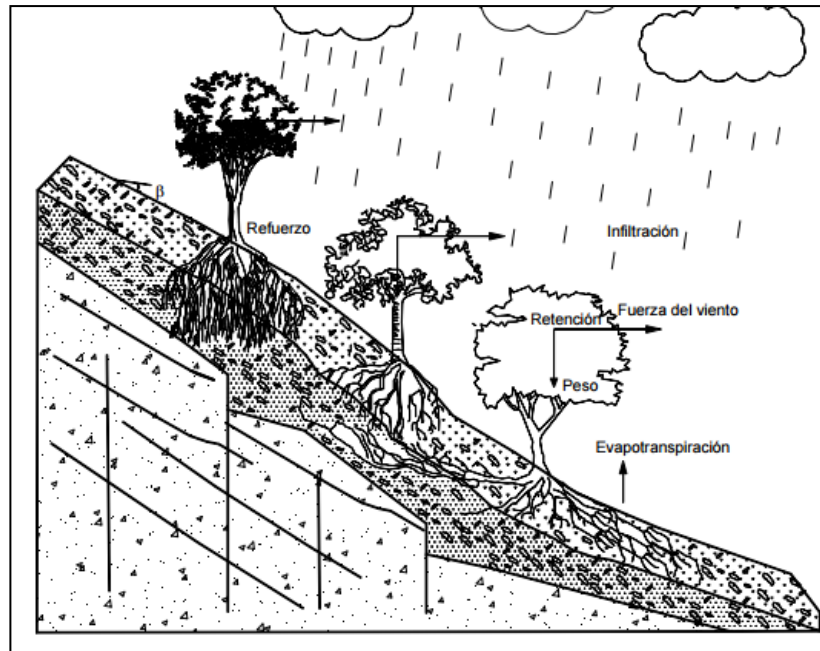
Tabla 95. Técnicas y Prácticas de bioingeniería en taludes, laderas y cauces

Elementos del relieve	Técnicas o Prácticas	Efecto	Valor agregado
Taludes	Coberturas vegetales combinadas o no con materiales inertes.	Protección del suelo en superficie con algún reforzamiento en profundidad.	Contribución paisajística, ecológica, económica y social.
Laderas	Revegetalización o Reforestación.	Preservación de la capa vegetal y protección del suelo, control de la humedad superficial y sub-superficial y refuerzo del suelo con incremento de la resistencia.	
	Prácticas de uso y manejo del suelo.		
Cauces de torrentes y ríos.	Obras de corrección Torrencial y fijación de orillas.	Reducción de la socavación de fondo y lateral con recuperación de orillas y vertientes.	

Fuente: Seminario. La bioingeniería en la protección y estabilidad de taludes, laderas y cauces en zonas urbanas. 2010.

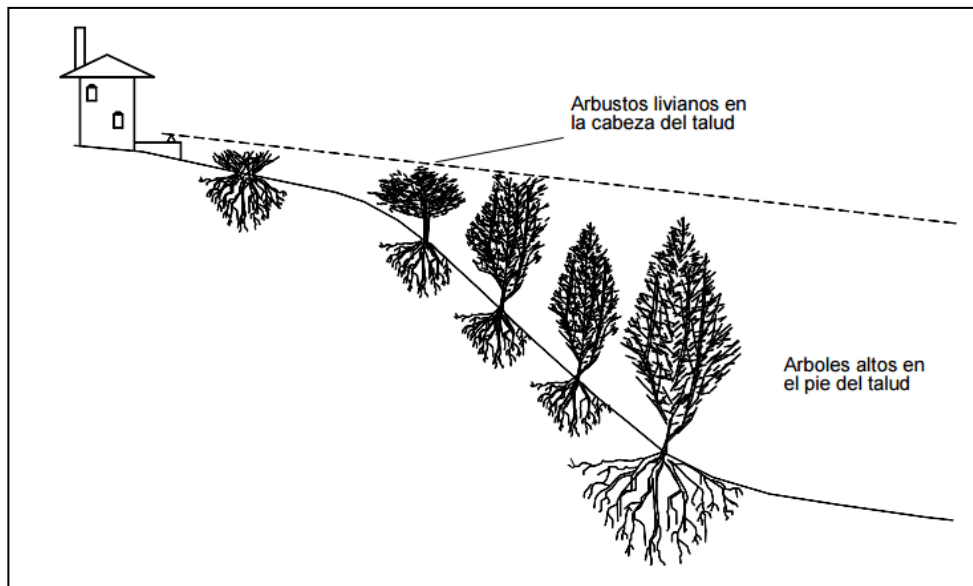
Las figura 84, 85 y 86 ilustran de forma gráfica la correcta disposición de especies vegetales a lo largo de la pendiente aprovechando al máximo sus características fisiológicas (porte, forma y profundidad radicular), con el fin de prevenir deslizamientos en las áreas calificadas con erosión de alta a extrema y en donde el relieve del municipio dificulta la cómoda operación

Figura 84. Estabilización de taludes utilizando vegetación (sistema radicular)



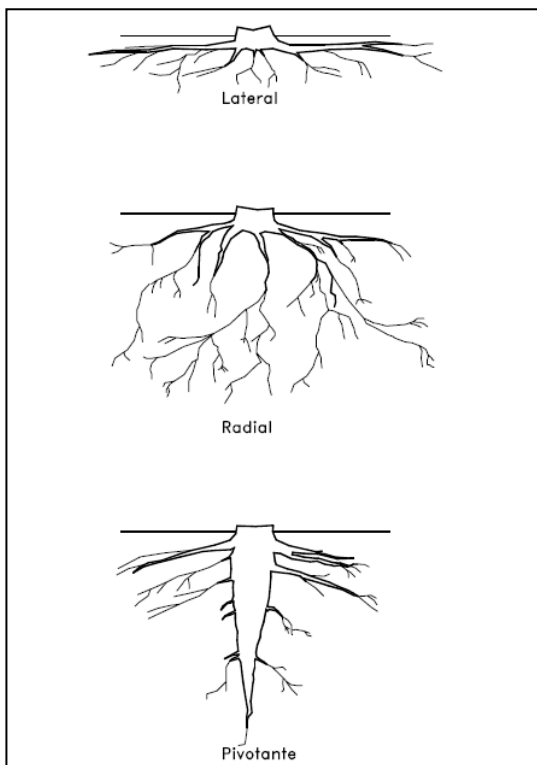
Fuente: Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales.1998

Figura 85. Distribución de especies vegetales sobre la pendiente.



Fuente: Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales.1998

Figura 86. Tipos de raíces vegetales



Fuente: Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales.1998

7. ANALISIS DE RESULTADOS

En cuanto a las veredas para condiciones extremas de precipitación, las que presentan mayor afectación de potencial erosivo aplicando USLE son: Cucharito y Versailles, con proporciones de erodabilidad “Extrema” del 5.9 % y 2.5 % respectivamente. A nivel de Microcuenca, las más afectadas son: Las Balsas con 21.7 % de su territorio con características de erosión “Extrema”, seguido de Los Cojos 15.57 % y Popagá con 10.85 %.

En condiciones normales de precipitación la erosión se reduce aproximadamente un 5 % en todo el territorio.

El 98 % de las zonas erosionadas hacen referencia a erosión hídrica, y un 2 % a erosión gravitacional estimulada por la lluvia (como en el sector la Virgen intervenida por el consorcio Latinco años atrás), en cuanto a erosión eólica no se hizo ningún registro.

En condiciones normales de precipitación se obtuvo que el 98 % del territorio correspondiente a 60.62 km² del municipio de San José de Miranda presentan erosión baja, es decir zonas con pérdidas de suelo que pueden ser tolerables, donde probablemente no hay erosión neta y donde sus efectos no son visibles a simple vista; en este caso se presenta un rango de erodabilidad menor a 100 ton/ha/año con pérdidas de suelo de hasta 1mm por año. Entonces, según esto, se tiene que el 2 % del municipio registra niveles de erosión superiores a 1 cm por año con procesos erosivos de moderados a extremos y donde su problemática es apreciable a simple vista (para una densidad aparente del horizonte superficial del suelo de 1 ton/m³)

Bajo el modelo analizado en condiciones extremas de precipitación o fenómeno de la niña, como era de esperarse aumentaron los registros de erosión potencial para el municipio; este procesamiento arrojó que el 96 % del territorio equivalente a 59.39 km² registra erosión baja, menor a 100 ton/ha/año y el restante 4 % puede llegar a presentar rangos de erosión de moderada a

extrema, con intervalos de erodabilidad mayores a 250 ton/ha/año y pérdidas de suelo superiores a los 2.5 cm/año

8. CONCLUSIONES

La actualización cartográfica, meteorológica e hidrológica permite aclarar algunos errores dentro del Esquema de Ordenación Territorial desarrollado del municipio, tal es el caso de la limitación geográfica o divisoria de aguas de cada una de las Microcuencas y cursos de las redes hídricas principales.

La cartografía de erosión hídrica para el municipio de San José de Miranda, facilita la identificación de zonas en donde es necesaria la implementación de planes de manejo y conservación de Microcuencas, como reforestaciones, protección de recursos hídricos, cambio de uso del suelo, entre otras.

Los valores más elevados del Factor "R" como vector erosivo de lluvia se da en las zonas de mayor altitud por ser más lluvioso, sin embargo, los resultados de erodabilidad se inclinaron hacia las variables aportadas por el Factor "C", es decir a las coberturas presentes en cada Microcuenca.

Los estudios y procesamientos climatológicos realizados en el presente estudio, tales como el cálculo del promedio de precipitación total multianual, la estimación de la temperatura con base en ecuaciones de regresión múltiple y la determinación de la evapotranspiración potencial, dieron como resultado un balance hídrico óptimo para el establecer prácticas de protección forestal y conservación de suelos en el municipio de San José de Miranda.

Frente a la gestión del riesgo, los factores meteorológicos son uno de los factores a tener en cuenta de manera más precisa debido a su variabilidad e incidencia en eventos naturales, por lo cual es necesario contar con registros como Temperatura y Precipitación, no solo para prevenir amenazas, sino también para futuros proyectos relacionados con las Microcuencas y la dinámica que gira alrededor de estas.

Los valores más elevados del Factor “R” como vector erosivo de la lluvia se da en las zonas de mayor altitud por ser más lluvioso, sin embargo, los resultados de erodabilidad se inclinaron hacia las variables aportadas por el factor C, es decir a los patrones característicos de las unidades vegetales digitalizadas.

Una cubierta completa como “Pradera en Buenas Condiciones”, ofrece un alto grado de protección frente al poder erosivo de la lluvia, esta ventaja se incrementa al presentarse asociaciones con especies arbóreas de buen dosel propias de la zona de vida.

Respecto a la coberturas forestales, se evidencio que ofrecen una protección optima ante la ocurrencia de este fenómeno de erosión hídrica; aunque no protege el suelo al 100 % de dicha problemática, su fisiología densa reduce el impacto de las gotas de agua gracias al cierre del dosel y al aporte de restos vegetales como materia orgánica; los cuales actúan como una capa protectora efectiva.

Las coberturas de cultivos que presenta el municipio de San José de Miranda se encuentran bien ubicadas a lo largo de la pendiente, ya que no se presentaron registros de erosión extrema en las áreas con producción agrícola.

7. RECOMENDACIONES

Es necesario que el municipio de San José de Miranda cuente con estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente y así obtener datos más precisos para el desarrollo de futuros proyectos relacionados con las Microcuencas y planes de prevención de desastres.

La mejor forma de proteger los suelos frente a los procesos erosivos es mantener una cubierta vegetal permanente en el caso de suelos agrícolas los aportes de materia orgánica pueden resultar de gran beneficioso, ya que estas partículas generan una capa extra de protección sobre el suelo.

Es recomendable vincular a la comunidad en las actividades de protección y conservación de suelos a través de la orientación de campañas de buenas practicas agrícolas y pecuarias, promovidas por la alcaldía y competentes como la CAS y de esta manera desarrollar sentido de pertenencia por futuros proyectos a ejecutar.

La gramínea Vetiver es una alternativa interesante para estabilizar Taludes y protección de riberas, sería una opción novedosa e interesante para implementar e impulsar esta especie de grandes beneficios y mostrar al municipio de San José de Miranda como un ejemplo de conservación del suelo.

En algunos puntos se recomiendan técnicas de Bio-Ingeniería con especies resistentes que perduren durante la vida útil de la obra o proyecto como la especie mencionada en la recomendación anterior.

Para las zonas menos degradadas se recomienda una restauración ecológica de acuerdo a la Zona de Vida y a las asociaciones vegetales o especies endémicas propias del sector para la recuperación del suelo.

Es importante dar a conocer a los habitantes de las ocho principales Microcuencas de San José de Miranda la importancia de cumplir con el Decreto 1449 de 1977 el cual indica en su Artículo 3, Inciso I, Literales a, b y c.

Se entiende por Áreas Forestales Protectoras:

- a. Los nacimientos de fuentes de aguas en una extensión por lo menos de 100 metros a la redonda, medidos a partir de su periferia.
- b. Una faja no inferior a 30 metros de ancho, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no y alrededor de los lagos o depósitos de agua.
- c. Los terrenos con pendientes superiores al 100% (45°).

Y así de esta norma cumplir con la norma y conservar el recurso hídrico.

Ya que dicha norma no se cumple y es uno de los principales problemas que contribuyen con los fenómenos erosivos.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA ESPACIAL EUROPEA [sitio web] Paris (Francia): ESA [Citado 28 de febrero de 2017] Disponible en: http://www.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/SENTINEL_2

AGUILAR, Rogelio Ramos; AGUILAR MORA, Araceli. Modelación del Comportamiento de las Isotermas, Isoyetas y cálculo de radiación solar para el estado de Puebla durante el mes de Junio de 2004. En: Ciencia y Cultura elementos. Abril- Junio, 2005, vol. 12 no 058. 63 p. ISSN. 0187-9073.

ALCALDÍA MUNICIPAL DE SAN JOSE DE MIRANDA, SANTANDER. Esquema de Ordenamiento Territorial Miranda Santander 2003. [Online] San José De Miranda, Colombia: Alcaldía Municipal de San José de Miranda, Santander, 2003. 105p. [Consultado en octubre de 2016] Disponible en: http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/eot_esquema%20de%20ordenamiento%20territorial_miranda_santander_2003.pdf

ALCALDIA MUNICIPAL DE MIRANDA. Plan municipal de gestión del riesgo de desastres. Miranda: Concejo Municipal, 2013.p. 1-63

ALVARADO RAMIREZ, Jaime Walter; RABANAL ROSILLO, Hamilton; MELENDEZ PINEDO, Robert. Evaluación y caracterización del clima para la micro zonificación ecológica y económica de la cuenca alta y media del río sisa. [En línea]Lima (Perú):ITD , 2008.81p.[Citado noviembre 2016] Disponible en: www.solucionespracticas.org.pe/Descargar/382/3582

BODNA'R, F.; DE GRAAFF, J. Factors influencing adoption of soil and water conservation in Southern Malí. En: Land Degradation & Development, 2003, vol. 14 no.1., 525.p.

ALARCÓN MURIEL, Sandra L.; REYES TRUJILLO, Aldemar. Evaluación de la erodabilidad de los suelos TYPIC DYSTRUDEPTS, TYPIC HAPLUDANDS y ANDIC DYSTRUDEPTS mediante simulador de lluvia en la Microcuenca La Centella (Dagua – Valle Del Cauca). En: Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Enero-Diciembre, 2013, vol.12 no. 1. 57p. ISSN: 1692-9918

CABALLERO, Luis Martin; CORONADO; Miguel Ernesto. Estudio para priorizar la descontaminación hídrica de la Cuenca del Río Chicamocha. Tesis de Especialista en Química Ambiental. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias, 2008.185p.

CARDENAS MATEUS, Luis Alfonso. Inestabilidad de terrenos en San José de Miranda deja 300 familias damnificadas. En: Vanguardia liberal. Bucaramanga 13, septiembre, 2012. Sec. 2. p.2. col. 1-12

CENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M. Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones. Bogotá: McGraw Hill, 2006.997p.

CHARDON, C., et al. Programa de información e indicadores de Gestión de Riesgos BID - CEPAL – IDEA. [En línea] Manizales: Banco Interamericano De Desarrollo, 2003. 26p.[Citado en noviembre de 2016] Disponible en: <http://idea.unalmzl.edu.co/documentos/02%20Fundamentos%20Metodologicos%20Indicadores%20BID-IDEA%20Fase%20I.pdf>

CORPORACION DE DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Guía de planificación de unidades familiares de producción. Bucaramanga: CDMB, 1990.99p.

CUELLAR, R., et al. Ecuación Universal de Perdida de Suelo. Bogotá: Universidad de La Salle.2013. 16p.

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE Y POLÍTICA TERRITORIAL. Mapa del grado de erosión hídrica de los suelos.[En línea] Alava (España): Eusko Jaurlaritza, 2005. 1p. [Citado en enero de 2017] Disponible en: http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-7932/es/contenidos/ds_geograficos/erosion/es_opendata/indice.html

EROSION.COM.CO. GEOTECNOLOGIA S.A.S. [sitio web] Bogotá: EROSION.COM.CO. GEOTECNOLOGIA S.A.S. [Citado 28 de febrero de 2017] Disponible en http://www.erosion.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=45:materiales-para-el-control-de-erosion&catid=27

ESCUADERO, R.; SANCHEZ, B.; FERNANDEZ CASALS, J. Image web, un sistema eficaz para trabajar con imágenes en red: las aplicaciones de catálogo de imágenes “on line” de tragsatec. En: Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global, 2001, vol.3 no. 1. 645p.

FUNDACIÓN DINCO. Estudio de amenaza, riesgo y vulnerabilidad dentro del marco del decreto 1807 de gestión del riesgo para ser adoptado en el esquema de ordenamiento territorial del municipio de San José De Miranda (Santander).Bucaramanga: Fundación Dinco, 2015. 157 p.

GASPARI, Fernanda J., et al. Caracterización Morfométrica de la cuenca Alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina.En: Asociación de Universidades Grupo Montevideo, Marzo –Diciembre, 2012, vol. 4 no.1. 158 p. ISSN:1852-2181

GASTÓN DÍAZ, Diego Mohr-bell; LENCINAS, José Daniel. Modelos digitales de elevación de alta resolución. En: Patagonia Forestal. Diciembre, 2010, vol. 1 no.1. 8p.

HUDSON, N.W. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía.[En línea]Italia. Roma: FAO, 1997. 126p. [Citado enero de 2017] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T0848S/T0848S00.htm>

IBÁÑEZ ASENSIO, Sara; MORENO RAMÓN, Héctor, GISBERT BLANQUER, Juan Manuel. Valores del Numero de Curva (Calculo de escorrentía). [En línea]Valencia, España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2013. 11p. [Citado en noviembre de 2016] Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10783/Valores%20del%20n%C2%BA%20de%20curva.pdf>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. Modelos digitales de elevación (MDE) – descripción. [En línea] Aguascalientes (Mexico): INEGI, 2016. 1p. [Citado en noviembre 2016]Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>

JORDÁN, Antonio; BELLINFANTE, Nicolás. Cartografía de la Erosividad de la Lluvia a partir de datos Pluviometricos Mensuales en el campo de Gibraltar.En: Edafologia. Septiembre, vol.7 no.3. 92p.

LONDOÑO ARANGO, Carlos Hernando. Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales – caracterización-planificación-administración.[En línea] Ibagué (Colombia): Universidad del Tolima, 2001.359p. [Citado en noviembre 2016] Disponible en: http://www.ut.edu.co/academi/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/LIBROS/cuencas%20hidrograficas%20bases%20conceptuales%20%20caracterizacion%20%20planificacion%20yorganizacion%20-%20CARLOS%20LONDOO.pdf

LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F., et, al. Cuenca hidrográfica del Segura: Mapa de estados erosivos escala 1:400.000". Madrid: ICONA ,1988. 30p.

LOZADA, Beatriz; SENTELHAS, Paulo. Relaciones entre deficiencias y excedentes hídricos estimados a partir de los balances hídricos normal y secuencial. En Biagro. Septiembre, 2003, vol. 15 no. 3, 216p. ISSN 1316-3361.

MARBELLO PÉREZ, Ramiro. Flujo uniforme y determinación de la rugosidad en canales. [En línea] Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2011. 190p. [Citado en Diciembre 2016] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/12697/60/3353962.2005.Parte%2011.pdf>

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Guía técnica para la formulación de los Planes de Organización y Manejo de Cuencas Hidrográficas: POMCAS. [en línea] Bogotá.D.C.: Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2014. 104p. [Citado en Noviembre de 2016] Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Gu%C3%ADa_POMCAS/1._Gu%C3%ADa_T%C3%A9cnica_pomcas.pdf

MONROY, R. Manual de Diseño Geotecnico. Mexico: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 2002. 47p.

MONTES LEÓN, María Alejandrina Leticia; URIBE ALCÁNTARA, Edgar Misael; GARCÍA CELIS, Efraín. Mapa nacional de erosión potencial. En: Tecnología y Ciencias del Agua. Enero-marzo, 2011, vol. 2 no. 1. 17p. ISSN: 0187-8336

PABÓN CAICEDO, José Daniel; ESLAVA RAMIREZ, Jesús Antonio; GÓMEZ TORRES, Raúl Eduardo. Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. En: Meteorología Colombiana, 2001, vol.4 no 1. 59p. ISSN 0124-6984.

PASCALE, A. J.; DAMARIO E. A. El balance hidrológico seriado y su utilización en estudios agroclimáticos. En: Revista de la Facultad de Agronomía, Marzo, 1977, vol.2, no.3. 34p.

RAMÍREZ ORTIZ, Fernando Andrés; HINCAPIÉ GÓMEZ, Edgar; SADEGHIAN KHALAJABADI, Siavosh. Erodabilidad de los suelos de la zona central cafetera del departamento de caldas. En: CENICAFE,2009, vol. 60 no.1. 71p.

RODRÍGUEZ RUIZ, Pedro. Hidráulica de canales. Oaxaca: Civilgeeks, 2008. 135p.

SÁNCHEZ MARTÍNEZ, Francisco Javier. Trazado de la divisoria de una cuenca hidrográfica mediante sistemas de información geográfica [En línea] Madrid: OIE Escuela deNegocios,2007 .14p. [Citado en noviembre 2016]. Disponible: <https://www.eoi.es/es/file/18488/download?token=bBysqsNg>

SEGOVIA, María A.; HANG, María V. Estimación del Valor del Número de Curva (CN) a Través de Imágenes Satelitales Landsat5-tm. [En línea] Buenos Aires: UNNE, 1999.4p. [Citado en enero de 2017] Disponible en: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/tecnologicas/t-033.pdf>

SEMINARIO DE BIOINGENIERÍA. La bioingeniería en la protección y estabilidad de taludes, laderas y cauces en zonas urbanas [en línea] Bogotá: IDIGER, 2011.30p. [citado en septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.idiger.gov.co/documents/10180/57156/La+bioingenieria+en+la+proteccion+y+estabilidad+de+talud.pdf/75692199-c3da-4ccf-98fb-5e3a292feedc>.

SUAREZ, F. Conservación de Suelos (3a ed.). San Jose. Costa Rica: IICA, 1980. 39p.

VALENTÍN, C.; POESEN, J.; YONG LY. Gully Erosion: Impacts, factors and control. En: ELSEVIER, 2005, vol. 63 no 1. 153p.