PMAM YAGUILGA

PLAN DE MANEJO DE LA MICROCUENCA QUEBRADA LA YAGUILGA

V3

Fase de Diagnóstico

Gestión del Riesgo

Fotografía: Autores

CAM Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena ¡Cuida tu naturaleza!

Huila Territorio de vida, sostenibilidad y desarrollo

Opita de Corazón

Consorcio PMAM Yaguilga 2021

2022

PMAM YAGUILGA

Título del Documento: Fase de Diagnóstico - Gestión del Riesgo

Código del Documento: 2022-CPY-F2-GRD-V01

REGISTRO DE APROBACIÓN:

VERSIÓN	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA:
01	Grupo técnico	Jorge Arrieta P.	01/08/2022
	CONSORCIO PMAM YAGUILGA	Coordinador Técnico	

REGISTRO DE MODIFICACIONES:

REVISIÓN		DESCRIPCIÓN DE LAS MODIFICACIONES
Número	Fecha	
01	01/08/2022	N.A.

Este reporte ha sido preparado por el CONSORCIO PMAM YAGUILGA 2021 con un conocimiento razonable, con el cuidado y la diligencia establecidos en los términos del Contrato de Consultoría N° 150 de 2021 suscrito con la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM.

Este documento es de manejo confidencial con la CAM, por tal razón el CONSORCIO PMAM YAGUILGA no acepta cualquier responsabilidad en absoluto, si otros tienen acceso a parte o a la totalidad del documento, antes de su aprobación definitiva por parte del Cliente.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

TABLA DE CONTENIDO i
1. ABORDAJE Y CONTEXTO 8
1.1. El marco Sendai y su incidencia en la Gestión del Riesgo 8
1.2. Definición de Gestión del Riesgo 9
1.3. Colombia: Contexto Geográfico 10
1.4. Análisis del Riesgo ajustado a la Guía Metodológica PMAM 12
2. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE EVENTOS AMENAZANTES 14
2.1. Fuentes de Información 14
2.1.1. Documentación 14
2.1.2. Bases de datos 18
2.1.3. Cartografía 19
2.1.4. Imágenes satelitales 21
2.1.5. Recorridos en campo 23
2.2. Catálogo histórico de eventos 24
2.3. Descripción de eventos en la Microcuenca 27
2.3.1. Incendios de cobertura vegetal 27
2.3.2. Movimientos en Masa 28
2.3.3. Inundaciones 30
2.3.4. Vendavales 32
2.3.5. Otros eventos 33
3. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD 34
3.1. Movimientos en masa (MM) 35
3.1.1. Definición Movimientos en Masa 35
3.1.2. Metodología de la Susceptibilidad por Movimientos en Masa 39
3.1.3. Resultados de la Susceptibilidad por Movimientos en Masa 62
3.2. Inundaciones 93
3.2.1. Definición Inundaciones 93
3.2.2. Metodología de la Susceptibilidad por Inundaciones 94
3.2.3. Resultados de la Susceptibilidad por Inundaciones 96

3.3. Avenidas Torrenciales 99
3.3.1. Definición de Avenidas Torrenciales 99
3.3.2. Metodología de la Susceptibilidad por Avenidas Torrenciales 100
3.3.3. Resultados de la Susceptibilidad por Avenidas Torrenciales 102
3.4. Incendios de cobertura vegetal (ICV) 104
3.4.1. Definición Incendios de Cobertura Vegetal 104
3.4.2. Metodología de la Susceptibilidad por Incendios Forestales 106
3.4.3. Resultados de la Susceptibilidad a Incendios Forestales 108
3.5. Erosión 113
3.5.1. Cálculo de los factores que componen el modelo de perdida de erosión USLE 114
3.5.2. Factor erosividad de la lluvia "R" 114
3.5.3. Factor erodabilidad del suelo "K" 117
3.5.4. Factores de topografía L y S (longitud y grado de la pendiente) 121
3.5.5. Factor de cobertura del suelo "C" 124
3.5.6. Factor de prácticas de manejo "P" 128
3.5.7. Índice de erosión 129
3.6. Desertificación 135
3.6.1. Definición 135
3.6.2. Metodología 140
3.6.3. Resultados Desertificación 142
4. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA 147
4.1. Movimientos en masa 147
4.1.1. Metodología 147
4.1.2. Resultados 174
4.2. Inundaciones 175
4.2.1. Metodología 175
4.2.2. Resultados 178
4.3. Avenidas Torrenciales 180
4.3.1. Metodología 180
4.3.2. Resultados 181
4.4. Incendios de Cobertura Vegetal 183
4.4.1. Metodología 183
4.4.2. Resultados de Amenaza por IF 185
4.5. Sequías 190
4.5.1. Definición 191

4.5.2. Índice normalizado de precipitación (SPI) 192
4.5.3. Resultados 194
5. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD 199
5.1. Metodología 200
5.1.1. Análisis de la exposición 202
5.1.2. Índice de Pérdida o daño (IP) 203
5.1.3. Análisis de fragilidad 205
5.1.4. Resiliencia 207
5.1.5. Análisis de la vulnerabilidad 207
5.2. Resultados 207
5.2.1. Análisis de la exposición 207
5.2.2. Análisis de la fragilidad 214
5.2.3. Resiliencia (IR) 221
6. ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE RIESGO 227
6.1. Contexto 227
6.2. Metodología 227
6.3. Resultados 228
6.3.1. Movimientos en Masa 228
6.3.2. Inundaciones 228
6.3.3. Avenidas Torrenciales 228
6.3.4. Incendios de Cobertura Vegetal 228
7. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN 229
7.1. Marco Referencial 229
7.2. Medidas Estructurales 230
7.2.2. Obras para el control de la erosión 231
7.2.3. Obras para prevención de fenómenos de remoción en masa 233
7.2.4. Obras para prevención y control de inundaciones 237
7.2.5. Obras para el Control de avenidas torrenciales 239
7.2.6. Estrategias de prevención de incendios forestales 242
7.2.7. Obras de reforzamiento estructural ante sismos 244
7.2.8. Consideraciones finales orientadas a la toma de decisiones 247
8. BIBLIOGRAFÍA 249

Listado de Figuras

Figura 1.1. Viviendas afectadas y muertes por eventos hidrometeorológicos 1998-2016 11
Figura 1.2. Marco teórico para enmarcar la gestión del riesgo de desastres 12
Figura 1.3. Marco teórico de la gestión del riesgo de desastres PMAM 13
Figura 2.1. Resumen de Criterio de la información existente recopilada para el componente Gestión del Riesgo de Desastres 18
Figura 2.2. Resumen Distribución de planchas escala 1:10.000 20
Figura 2.3. Cartografía base IGAC escala 1:10.000 21
Figura 2.4. Ortoimágen Microcuenca de la Quebrada La Yaguilga 22
Figura 2.5. DEM Microcuenca de la Quebrada La Yaguilga 23
Figura 2.6. Formato de recolección de información para el componente de Gestión del Riesgo 24
Figura 2.7. Eventos históricos para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga 27
Figura 2.8. Incendios de cobertura vegetal registrados en la microcuenca Quebrada la Yaguilga 1999-2020 28
Figura 2.9. Incendio de cobertura vegetal Municipio El Pital 28
Figura 2.10. Movimientos en masa Municipio El Agrado 29
Figura 2.11. Localización de Movimientos en masa en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga .. 29
Figura 2.12. Movimientos en masa registrados en la microcuenca Quebrada la Yaguilga 1999-2020 30
Figura 2.13. Inundaciones registradas en la microcuenca Quebrada la Yaguilga 1999-2020 30
Figura 2.14. Vendavales registrados en la microcuenca Quebrada la Yaguilga 1999-2020 32
Figura 2.15. Vendavales Municipio El Agrado 33
Figura 3.1. Zonificación de Eventos 1999-2020 Quebrada La Yaguilga 34
Figura 3.2. Movimientos en masa 36
Figura 3.3. Esquema para la evaluación de susceptibilidad a movimientos en masa 40
Figura 3.4. DEM para la microcuenca de la Quebrada Yaguilga 42
Figura 3.5. Inventario de Eventos de Remoción de Masa en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga 43
Figura 3.6. Inventario de Eventos de Remoción de Masa en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga 43
Figura 3.7. Áreas inestables en la microcuenca Quebrada La Yaguilga 62
Figura 3.8. Calificación de la variable roca-suelo microcuenca Quebrada la Yaguilga 64
Figura 3.9. Calificación de la variable Espesor microcuenca Quebrada la Yaguilga 64
Figura 3.10. Ponderacion variable Origen microcuenca Quebrada la Yaguilga 66
Figura 3.11. Calificación de la variable Unidades Geológicas Superficiales microcuenca Quebrada la Yaguilga 67
Figura 3.12. Calificación de la variable Densidad de fracturamiento microcuenca Quebrada la Yaguilga 68
Figura 3.13. Calificación de la variable Vegetación (cobertura) microcuenca Quebrada la Yaguilga 69
Figura 3.14. Calificación de la variable Geomorfología microcuenca Quebrada la Yaguilga 70
Figura 3.15. Calificación de la variable Pendiente microcuenca Quebrada la Yaguilga 71
Figura 3.16. Calificación de la variable Orientación de Laderas microcuenca Quebrada la Yaguilga 72

Figura 3.17. Calificación de la variable Curvatura de Laderas microcuenca Quebrada la Yaguilga 74
Figura 3.18. Calificación de la variable Insolación microcuenca Quebrada la Yaguilga 75
Figura 3.19. Calificación de la variable ACUENCA microcuenca Quebrada la Yaguilga 76
Figura 3.20. Calificación de la variable Distancia a Drenajes microcuenca Quebrada la Yaguilga 77
Figura 3.21. Calificación de la variable Distancia a Vías microcuenca Quebrada la Yaguilga 78
Figura 3.22. Calificación de la variable densidad de drenaje microcuenca Quebrada la Yaguilga 79
Figura 3.23. Selección de la muestra 81
Figura 3.24. Mapa de la susceptibilidad resultante para el área de la Microcuenca Quebrada La Yaguilga 91
Figura 3.25. Porcentajes de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa en el área total de la Microcuenca Quebrada La Yaguilga 93
Figura 3.26. Esquema para la evaluación de susceptibilidad a Inundaciones 94
Figura 3.27. Inventario de Inundaciones en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga inferior a 15 años 96
Figura 3.28. Distribución porcentual de la Susceptibilidad a Inundaciones en la microcuenca Quebrada La Yaguilga 98
Figura 3.29. Zonificación de la Susceptibilidad a Inundaciones en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga 99
Figura 3.30. Esquema para la evaluación de susceptibilidad a Inundaciones 100
Figura 3.31. Distribución porcentual de la Susceptibilidad a Avenidas Torrenciales en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga 102
Figura 3.32. Zonificación de la Susceptibilidad por avenidas torrenciales en la Microcuenca Quebrada la Yaguilga 104
Figura 3.33. Registro histórico de incendios de Cobertura Vegetal en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga 105
Figura 3.34. Metodología para la zonificación de la susceptibilidad de la vegetación a incendios forestales 106
Figura 3.35. Descriptivo de áreas por Tipo de Combustible para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga (% de área) 108
Figura 3.36. Zonificación por Tipo de Combustible para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga 109
Figura 3.37. Descriptivo de duración de Combustible para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga (% de área) 109
Figura 3.38. Zonificación por duración del Combustible para la Microcuenca Quebrada La Yaguilga 110
Figura 3.39. Descriptivo de carga total de Combustible para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga (% de área) 110
Figura 3.40. Zonificación por carga de combustible para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga 111
Figura 3.41. Descriptivo de Susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal Microcuenca Quebrada la Yaguilga (% de área) 111
Figura 3.42. Zonificación por Susceptibilidad a Incendios de cobertura vegetal para la Microcuenca Quebrada La Yaguilga 113
Figura 3.43. Mapa factor erosividad de la lluvia 117
Figura 3.44. Mapa unidades geomorfopedológicas 120
Figura 3.45. Mapa factor erodabilidad del suelo 121

Figura 3.46. Modelo de elevación digital (DEM) PMAM Yaguilga 121
Figura 3.47. Mapas pendientes en radianes 123
Figura 3.48. Mapa Factores topográficos "L y S" 124
Figura 3.49. Mapa coberturas microcuenca Yaguilga 127
Figura 3.50. Mapa factor de cobertura del suelo microcuenca Yaguilga 128
Figura 3.51. Potencial de perdida de suelo ton/ha/año Yaguilga 130
Figura 3.52. Clasificación degradación del suelo Yaguilga 131
Figura 3.53. Susceptibilidad probable a la erosión municipio del Agrado (Ton/año) 134
Figura 3.54. Susceptibilidad probable a la erosión municipio del Pital (Ton/año) 134
Figura 3.55. Causas de la Desertificación 138
Figura 3.56. Distribución de tierras secas en el mundo 2011 139
Figura 3.57. Modelo metodológico para el análisis del riesgo a desertificación (MARD) 141
Figura 3.58. Índice de riesgo a desertificación 142
Figura 3.59. Distribución porcentual riesgo a desertificación microcuenca Yaguilga 144
Figura 3.60. Veredas riesgo alto a desertificación municipio del Agrado 145
Figura 3.61. Veredas riesgo alto a desertificación municipio del Pital 146
Figura 4.1. Esquema para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa para la microcuenca Quebrada La Yaguilga 147
Figura 4.2. Esquema conceptual para la definición de las zonas para caracterización de UGS 148
Figura 4.3. Ejemplo de Resultados de Laboratorio de parámetros geomecánicos para unidades de roca y unidades de suelo. 148
Figura 4.4. Angulo de fricción 152
Figura 4.5. Cohesión 152
Figura 4.6. Peso unitario 153
Figura 4.7. Espesor 153
Figura 4.8. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales para la Microcuenca Quebrada La Yaguilga 154
Figura 4.9. Profundidad de nivel freático con promedios históricos para la microcuenca Quebrada La Yaguilga (WTD) 155
Figura 4.10. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 2 años 156
Figura 4.11. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 20 años 156
Figura 4.12. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 50 años 157
Figura 4.13. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 100 años 157
Figura 4.14. Valores **Aa** tomado de la Norma Sismo Resistente 160
Figura 4.15. Amenaza Sísmica establecida por el SGC 163
Figura 4.16. Detonante Sismo para la microcuenca Quebrada La Yaguilga 164
Figura 4.17. Escenario de amenaza 1, seco con sismo 165
Figura 4.18. Escenario de amenaza 2, seco sin sismo 166
Figura 4.19. Escenario de amenaza 3, periodo de retorno a 2 años con sismo 166
Figura 4.20. Escenario de amenaza 4, periodo de retorno a 2 años sin sismo 167
Figura 4.21. Escenario de amenaza 5, periodo de retorno a 20 años con sismo 167
Figura 4.22. Escenario de amenaza 6, periodo de retorno a 20 años sin sismo 168
Figura 4.23. Escenario de amenaza 7, periodo de retorno a 50 años con sismo 168
Figura 4.24. Escenario de amenaza 8, periodo de retorno a 50 años sin sismo 169
Figura 4.25. Escenario de amenaza 9, periodo de retorno a 100 años sin sismo 169
Figura 4.26. Escenario de amenaza 10, periodo de retorno a 100 años con sismo 170
Figura 4.27. Zonificación de amenaza preliminar por movimientos en masa 172
Figura 4.28. Movimientos en masa QYANPM-008 173

Figura 4.29. Movimientos en masa QYANPM-024 173
Figura 4.30. Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa para la microcuenca Quebrada La Yaguilga 174
Figura 4.31. Porcentajes de cada categoría de amenaza por movimientos en masa 175
Figura 1.1. Diagrama de flujo para la aplicación de un modelo de amenaza por inundación 175
Figura 4.32. Amenaza por inundaciones 179
Figura 1.2. Diagrama de flujo para la aplicación de un modelo de amenaza por inundación 180
Figura 4.33. Amenaza por avenidas torrenciales 181
Figura 4.34. Obtención del Factor de Relieve IF para la microcuenca Quebrada la Yaguilga .. 185
Figura 4.35. Obtención del Factor histórico IF para la microcuenca Quebrada la Yaguilga 187
Figura 4.36. Obtención de la Accesibilidad IF para la microcuenca Quebrada la Yaguilga 187
Figura 4.37. Incorporación de la Precipitación en el análisis de amenaza por IF 188
Figura 4.38. Incorporación de la Temperatura en el análisis de amenaza por IF 188
Figura 4.39. Zonificación de la amenaza por Incendios de cobertura vegetal en la microcuenca Quebrada la Yaguilga 189
Figura 4.40. Distribución porcentual del tipo de amenaza por IF en la microcuenca Quebrada la Yaguilga 190
Figura 4.41. Comparativo de periodos de sequía meteorológica en el Departamento del Huila 194
Figura 4.42. V alores mensuales promedios de SPI Microcuenca Quebrada la Yaguilga 196
Figura 4.43. Intensidad máxima de los eventos de sequía 197
Figura 4.44. Duración de los eventos de sequía 197
Figura 5.1. Modelo de análisis conceptual de la vulnerabilidad aplicado a PMAM. 202
Figura 5.2. Distribución de las zonas homogéneas urbanas en la microcuenca Quebrada la Yaguilga 209
Figura 5.3. Distribución de las zonas homogéneas rurales para la microcuenca Quebrada la Yaguilga 212
Figura 5.4. Zonificación del índice de perdida para la microcuenca Quebrada La Yaguilga ... 213
Figura 5.5. Fragilidad física por movimientos en masa MM 214
Figura 5.6. Fragilidad física por inundaciones 215
Figura 5.7. Fragilidad física por Avenidas Torrenciales 215
Figura 5.8. Fragilidad física por incendios de cobertura vegetal 216
Figura 5.9. Fragilidad socio-cultural para la microcuenca Quebrada La Yaguilga 217
Figura 5.10. Zonificación para la resiliencia de la microcuenca Quebrada la Yaguilga 222
Figura 7.1. Diagrama de flujo para la selección de medidas de intervención aplicable a los territorios 229
Figura 7.2. Etapa de una obra estructural para atención del riesgo de desastres incluyendo un programa de gestión ambiental 231
Figura 7.3. Sistemas estructurales de muros de carga 245

Listado de Tablas

Tabla 1.1. Rol de los ecosistemas en la Gestión del Riesgo 8
Tabla 1.2. Índice de Riesgo para los municipios de la microcuenca Quebrada la Yaguilga 11
Tabla 2.1. Formato de Ficha para análisis de información por componente 14
Tabla 2.2. Instrucciones de diligenciamiento de la matriz de análisis de información secundaria y parámetros de calificación 15
Tabla 2.3. Matriz de análisis de información secundaria 16
Tabla 2.4. Criterio de evaluación de información secundaria recopilada Gestión del Riesgo de Desastres 16
Tabla 2.5. Características de selección para bases de datos confiables en el componente de gestión del riesgo 18
Tabla 2.6. Información espacial componente cartográfico 19
Tabla 2.7. Descriptores para el registro en la Unidad de Gestión del Riesgo 25
Tabla 2.8. Eventos de amenaza distribuido por Municipio 26
Tabla 2.9. Inundaciones ocurridas en los municipios pertenecientes a la microcuenca Quebrada la Yaguilga 31
Tabla 3.1. Tipos de movimiento en masa determinados en la Microcuenca Quebrada la Yaguilga 42
Tabla 3.2. Cartera De Procesos Morfodinámicos del PMAM Quebrada Yaguilga 45
Tabla 3.3. Variables analizadas en el cálculo de la susceptibilidad a Movimientos en Masa 63
Tabla 3.4. Categorías de la variable Distancia a Drenajes 77
Tabla 3.5. Categorías de la variable Distancia a Vías 78
Tabla 3.6. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra 82
Tabla 3.7. Análisis factorial de componentes principales en la Matriz de correlaciones[a,b,c] 83
Tabla 3.8. Comunalidades o varianza tota de cada una de las variables 83
Tabla 3.9. Matriz de componentes rotados con pesos de las variables para cada uno de los 5 factores resultantes del análisis factorial mayores a 0.40 84
Tabla 3.10. Relación de variables para cada factor a partir de la matriz de correlaciones 84
Tabla 3.11. Prueba "T" para el análisis de medias en cada variable categórica – Muestras independientes 85
Tabla 3.12. Test ANOVA para el análisis de varianzas para las variables categóricas en la muestra. 87
Tabla 3.13. Resultados del análisis M de Box para las variables categóricas determinadas para la función discriminante 88
Tabla 3.14. Lambda de Wilks 89
Tabla 3.15. Coeficientes de función discriminante canónica estandarizadas 89
Tabla 3.16. Porcentajes de clasificación para cada función discriminante 89
Tabla 3.17. Directrices para la calificación de Susceptibilidad a inundación 96
Tabla 3.18. Susceptibilidad a inundaciones para la microcuenca Quebrada la Yaguilga 98
Tabla 3.19. Áreas susceptibles a avenidas torrenciales de acuerdo a criterios geomorfológicos (Comparar con Tabla 3.17) 102
Tabla 3.20. Clasificación por duración de los combustibles 107
Tabla 3.21. Clasificación por tipo de combustible 107
Tabla 3.22. Clasificación para carga total de combustibles 107

Tabla 3.23. Clasificación por tipo de combustible para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga 108
Tabla 3.24. Red de estaciones meteorológicas 115
Tabla 3.25. Valores coeficiente "K" para unidades geomorfopedológicas 118
Tabla 3.26. Valores Factor "C" coberturas microcuenca Yaguilga 125
Tabla 3.27. Clases degradación del suelo 129
Tabla 3.28. Áreas afectadas por erosión microcuenca Yaguilga 131
Tabla 3.29. Potencial de perdida de suelo microcuenca Yaguilga 132
Tabla 3.30. Potencial de perdida de suelos municipio del Agrado 132
Tabla 3.31. Potencial de perdida de suelos municipio del Pital 132
Tabla 3.32. Escaneo de información sobre degradación de suelos a nivel Global – Caso de estudio: Colombia 136
Tabla 3.33. Clasificación de las zonas sensibles a la desertificación según CLD 138
Tabla 3.34. Indicadores y atributos y su relación con amenazas naturales, antrópicas y vulnerabilidad en el MARD 141
Tabla 3.35. Áreas con riesgo a desertificación microcuenca Yaguilga. 143
Tabla 3.36. Riesgo a desertificación municipio del Agrado 144
Tabla 3.37. Riesgo a desertificación municipio del Pital 144
Tabla 4.1. Parámetros geomecánicos aplicados en las unidades de roca y suelo para la microcuenca Quebrada La Yaguilga 150
Tabla 4.2. Clasificación de los perfiles de suelo para Colombia. 161
Tabla 4.3. Definición del perfil de suelo por UGS 161
Tabla 4.4. Valores del coeficiente Fa para la zona de periodos cortos del espectro 162
Tabla 4.5. Coeficiente de Importancia a partir del grupo de Uso 162
Tabla 4.6. Escenarios de análisis de escenarios de evaluación de amenaza por MM 165
Tabla 4.7. Valores y porcentajes para la amenaza por movimientos en masa en la microcuenca Quebrada La Yaguilga 175
Tabla 4.8. Integración de la amenaza 177
Tabla 4.9. Integración de la amenaza 181
Tabla 4.10. Área según condición de amenaza por avenidas torrenciales 182
Tabla 4.11. Ponderados para la incorporación de la Precipitación en el análisis de amenaza 183
Tabla 4.12. Ponderados para la incorporación de la Temperatura en el análisis de amenaza 183
Tabla 4.13. Ponderados para la incorporación de Pendientes en el análisis de amenaza 184
Tabla 4.14. Ponderados para la incorporación de criterios de Accesibilidad 185
Tabla 4.15. Área total y porcentual con Amenaza por Incendios de cobertura vegetal en la microcuenca Quebrada la Yaguilga 190
Tabla 4.16. Categorías y valores del SPI para la microcuenca Quebrada la Yaguilga 193
Tabla 4.17. Memoria de cálculo SPI para la estación Antena (Huila) 193
Tabla 4.18. Relación intensidad y magnitud de los eventos de sequía por estación 198
Tabla 5.1. Categorías para áreas de ecosistemas estratégicos 206
Tabla 5.2. Categorías de resiliencia económica 207
Tabla 5.3. Índices de vulnerabilidad. 207
Tabla 5.4. Zonas homogéneas urbanas microcuenca Quebrada La Yaguilga 208
Tabla 5.5. Zonas homogéneas rurales microcuenca Quebrada La Yaguilga 209
Tabla 5.6. Fragilidad cultural 217
Tabla 5.7. Clasificación de la resiliencia para diferentes coberturas en la microcuenca Quebrada La Yaguilga 221
Tabla 5.8. Categorías de vulnerabilidad a movimientos en masa 223
Tabla 5.9. Categorías de vulnerabilidad a inundaciones 224

Tabla 5.10. Categorías de vulnerabilidad a avenidas torrenciales 225
Tabla 5.11. Categorías de vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal 226
Tabla 7.1. Ficha de caracterización de medidas estructurales para la prevención de fenómenos de Control de la erosión 231
Tabla 7.2. Ficha de caracterización de medidas estructurales para la prevención de fenómenos de remoción en masa 234
Tabla 7.3. Ficha de caracterización de medidas estructurales para el control de inundaciones 237
Tabla 7.4. Ficha de caracterización de medidas estructurales para el control de avenidas torrenciales 239
Tabla 7.5. Ficha de caracterización de medidas estructurales para la prevención de incendios forestales 242
Tabla 7.6. Ficha de caracterización de medidas estructurales para el reforzamiento ante susceptibilidad a eventos sísmicos 245

1. ABORDAJE Y CONTEXTO

Tomando como referencia lo descrito por Convención de Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (CNULD), los ecosistemas tienen unos roles definidos en la gestión del riesgo de desastres; dependiendo del evento, cada caso tendrá una respuesta natural como se define a continuación:

Tabla 1.1. Rol de los ecosistemas en la Gestión del Riesgo

Caso	Rol de los Ecosistemas
Inundación	▪ Creación de espacio para que las inundaciones se dispersen sin causar daños mayores ▪ Uso de vegetación natural para absorber los efectos secundario
Corrimientos de tierras	▪ Estabilización del suelo ▪ Compresión de nieve ▪ Ralentización del movimiento de tierra, rocas y nieve y limitación del alcance de daño
Marejadas ciclónicas, maremotos, erosión costera	▪ Corales y manglares que crean una barrera natural contra la fuerza de las olas ▪ Raíces que estabilizan los humedales y manglares
Sequias y desertificación	▪ Reducción de la presión (particularmente la ejercida por el pastoreo) para disminuir la formación de desierto ▪ Conservación de poblaciones de plantas resistentes a la sequía que sirvan de alimento en épocas de sequía.
Incendios	▪ Límites para impedir la propagación a las zonas con más riesgo de incendios. ▪ Conservación de sistemas tradicionales de gestión que han controlado incendios. ▪ Protección de sistemas naturales intactos más capaces de soportar el fuego
Huracanes y Tifones	▪ Mitigación de inundaciones y corrimientos de tierras ▪ Protección de las comunidades ante fenómenos de tormenta (por ejemplo: marejada ciclónica)
Terremotos	▪ Prevención o mitigación de riesgos asociados (por ejemplo: corrimientos de tierras y caídas de rocas).

Fuente: Adaptado de CNULD (2017)

1.1. El marco Sendai y su incidencia en la Gestión del Riesgo

El Marco de Sendai 2015-2030 expresa la necesidad de comprender mejor el riesgo de desastres en todas sus dimensiones relativas a la exposición, la vulnerabilidad y características de las amenazas; el fortalecimiento de la gobernanza del riesgo de desastres, la necesidad de prepararse para "reconstruir mejor"; el reconocimiento de las partes interesadas y sus funciones; la movilización de inversiones que tengan en cuenta los riesgos a fin de impedir la aparición de nuevos riesgos; la resiliencia de la

infraestructura sanitaria, del patrimonio cultural y de los lugares de trabajo; el fortalecimiento de la cooperación internacional y las alianzas de trabajo mundiales y la elaboración de políticas de los donantes y programas que tengan en cuenta los riesgos, incluidos los préstamos y el apoyo financiero brindados por las instituciones financieras internacionales.

Por esta razón, los Estados deben adoptar medidas específicas en todos los sectores, en los planos local, nacional, regional y mundial, con respecto a las siguientes cuatro esferas prioritarias:

Prioridad 1: Comprender el riesgo de desastres.
Prioridad 2: Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo.
Prioridad 3: Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia.
Prioridad 4: Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y para "reconstruir mejor" en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción.

Algunas de las acciones específicas dentro de la prioridad 1 que permiten los instrumentos de protección ambiental, aportar a la misión de del Marco Sedai son:

- Promover el acceso en tiempo real a datos fiables, hacer uso de información espacial e in situ, incluidos los sistemas de información geográfica (SIG).
- Reforzar la capacidad técnica y científica para aprovechar y consolidar los conocimientos existentes, y para elaborar y aplicar metodologías y modelos para evaluar los riesgos de desastres, las vulnerabilidades y el grado de exposición a todas las amenazas.
- Fomentar las inversiones en innovación y desarrollo tecnológico en las investigaciones a largo plazo sobre amenazas múltiples y orientadas a la búsqueda de soluciones en la gestión del riesgo de desastres a fin de abordar las carencias, los obstáculos, las interdependencias y los retos sociales, económicos, educativos y ambientales y el riesgo de desastres
- Aplicar la información sobre riesgos en todas sus dimensiones de vulnerabilidad, capacidad y grado de exposición de las personas, comunidades, países y bienes, así como las características de las amenazas, para elaborar y aplicar políticas de reducción del riesgo de desastres; y
- Promover la realización de estudios exhaustivos sobre el riesgo de desastres debidos a amenazas múltiples y la realización de evaluaciones y mapas regionales sobre los riesgos de desastres que incluyan situaciones hipotéticas sobre el cambio climático.

1.2. Definición de Gestión del Riesgo

De acuerdo con la ley 1523 del 2012, la Gestión del Riesgo de Desastres en adelante Gestión del Riesgo, corresponde al "proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, (rehabilitación y

reconstrucción). Esto con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible".

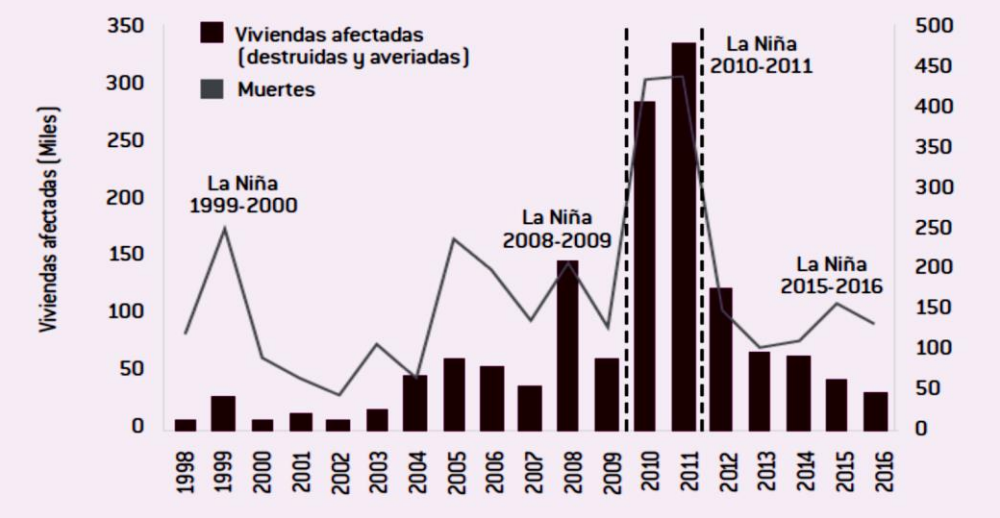
La gestión ambiental y la gestión del riesgo son complementarias; por tanto, el papel de las diferentes autoridades, instituciones y demás actores, deben entenderse de dicha manera. En este sentido, se deben adelantar procesos de planificación territorial en las regiones, en función a su desarrollo sostenible.

Es así, como el Sistema Nacional Ambiental (SINA), establece una estrecha relación con el Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD), con el fin de implementar normas, políticas, y apoyar la toma de decisiones frente a la gestión del riesgo y la gestión ambiental, a partir de la participación de sus entidades de manera coordinada y planificada en los diferentes niveles del territorio e instancias de articulación.

1.3. Colombia: Contexto Geográfico

De acuerdo con la UNGRD, en Colombia, 32.6 millones de hectáreas (29%) del territorio nacional presenta condiciones críticas de amenaza ante fenómenos hidrometeorológicos; 75% de los departamentos son susceptibles de los tres fenómenos simultáneamente (inundaciones lentas, movimientos en masa y flujos torrenciales), que equivalen a 513 municipios. En los últimos 20 años, 2800 viviendas fueron destruidas y 160 personas murieron anualmente a causa de los eventos mencionados. La Figura 1.1, presenta un panorama multianual de los daños producidos por los eventos hidrometeorológicos correlacionado con los fenómenos del niño y la niña desde 1998 hasta 2016.

Figura 1.1. Viviendas afectadas y muertes por eventos hidrometeorológicos 1998-2016



Fuente: UNGRD (2018)

El nivel de exposición se cuantifica de acuerdo al a población, infraestructura, bienes o servicios que por su localización pueden ser afectados por una amenaza; a nivel país, 18 millones de personas están localizadas en condiciones críticas de amenaza, razón que se explica porque el 61% de las personas expuestas viven en aglomeraciones urbanas (UNGRD, 2018).

Huila ocupa el puesto diez (10) del ranking departamental de población expuesta, con 49% condicionado a amenaza (884.500 hectáreas), 30% del total presenta susceptibilidad alta y muy alta a movimientos en masa y 27% tiene susceptibilidad alta a flujos torrenciales. En lo que respecta a vulnerabilidad, un 41% de la población es susceptible y 15% se encuentra expuesta y vulnerable simultáneamente. La vulnerabilidad del territorio o predisposición de las personas y bienes a verse afectados negativamente ante un evento peligroso, consolidada a partir del índice sintético de condiciones de vida[1], refleja la limitación que tienen los hogares para acceder y movilizar activos para gestionar el riesgo, ubica al Huila en una posición alentadora (22/33).

Según los datos reportados por DNP – DADS (2018) en el *Índice Municipal de Riesgo Ajustado por Capacidades*, Los municipios que hacen parte de la microcuenca quebrada la Yaguilga, presentan un índice de riesgo de 27.34% en el Agrado y un 26.84% para el Pital, asimismo, un porcentaje de exposición de 55.9% y 54.5% respectivamente como lo muestra la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Índice de Riesgo para los municipios de la microcuenca Quebrada la Yaguilga

[1] Está compuesto de los siguientes ítems: cobertura de alcantarillado, nivel educativo, accesibilidad al agua mejorada, material de pisos, analfabetismo, rezago escolar, inasistencia escolar, aseguramiento en salud, atención integral a la primera infancia y material inadecuado de paredes exteriores.

Municipio	Área Zona Inundable Periódicamente (ha)	Área cotas máximas de inundación 1998-2000-2011-2012 (ha)	Área Susceptible MM Alta (ha)	Área Flujos Torrenciales Muy Alta (ha)	Sumatoria de Áreas Amenazadas	Exposición Proporción Área Amenazada	Vulnerabilidad (IPM Ajustado)	Índice de Riesgo	Ranking Índice de Riesgo
AGRADO	49,39	1.398,23	3.221,49	12.674,77	17.343,88	55,9%	48,9%	27,34	352
PITAL	13,24	29,88	6.168,46	8.463,42	14.675,00	54,5%	49,2%	26,84	368

Fuente: DNP - DADS, 2018. *Índice Municipal de Riesgo Ajustado por Capacidades*.

En cuando a debilidades para la atención del riesgo, los resultados demuestran que el 46% de los municipios se encuentran por encima del promedio nacional, destacándose el Pital en el puesto 9 (55.2, promedio nacional 51.8). Esto se debe a que sus instrumentos de ordenamiento están vencidos o no actualizados[2], no cuentan con PNGR o solo cuentan con estrategia de respuesta, su catastro esta desactualizado y el nivel de inversión para el componente de gestión del riesgo es bajo o no existe.

1.4. Análisis del Riesgo ajustado a la Guía Metodológica PMAM

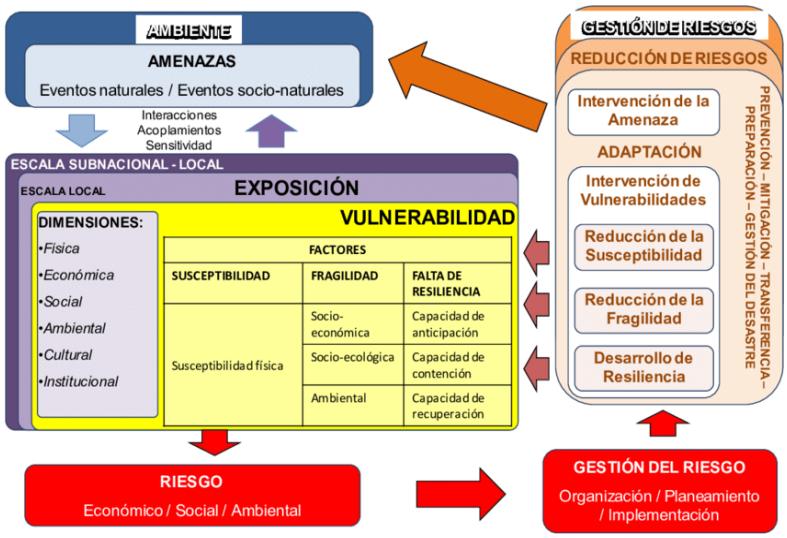
En el análisis de riesgos comprenderá el conocimiento y la reducción en relación con los siguientes eventos: movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales, erosión, desertización e incendios forestales.

En el componente, se detalla un análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgos mediante métodos cuantitativos y/o probabilísticos. Los alcances de la gestión del riesgo en los PMAM se resumen en los siguientes hitos:

- Conocimiento de los factores de riesgo que afectan la microcuenca, desde el análisis de las amenazas, hasta la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo.
- Definición de acciones y medidas tanto estructurales como no estructurales para la reducción del riesgo asociado en la microcuenca desde el conocimiento, reducción y manejo del riesgo en la misma.
- Los resultados de estos estudios podrán ser usados como referente fundamental para ser incluidos en la formulación de POMCAS posteriores al desarrollo de los PMAM.

Figura 1.2. Marco teórico para enmarcar la gestión del riesgo de desastres

[2] En 2015, el Municipio de El Pital presento la solicitud de actualización del EOT, mientras que el Municipio de El Agrado, por compromisos adquiridos en la puesta en marcha de la hidroeléctrica El Quimbo, condiciono la actualización del mismo a la aprobación de la modificación del documento oficial adoptado en 2001.



Fuente: Adaptado de Cardona & Carreño (2011).

En síntesis, el componente de gestión del riesgo se debe abordar a partir de los siguientes pasos:

Figura 1.3. Marco teórico de la gestión del riesgo de desastres PMAM



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga basado en la Guía PMAM Minambiente (2018).

Como insumos, el equipo identifica y caracteriza las unidades y subunidades geomorfológicas, teniendo en cuenta la morfogénesis, morfografía, morfodinámica (amenazas naturales, susceptibilidad de las geoformas y procesos erosivos) y morfoestructura.

Se realiza la Identificación y descripción de geoformas teniendo en cuenta su origen, estado de evolución (tiempo) y caracterización por medio de agentes geomorfológicos imperantes que posiblemente se correlacionaran con los resultados en fase de diagnóstico reportados por la comunidad en zonas específicas de la microcuenca con los resultados de los talleres sobre problemáticas y su nivel de importancia o frecuencia.

2. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE EVENTOS AMENAZANTES

Para la consolidación del inventario histórico de eventos amenazantes, se realizó la recopilación, análisis y georreferenciación de reportes e información secundaria, con el propósito de estimar características generales de los fenómenos naturales, tales como: Tipo, magnitud, duración, recurrencia y causas. Esta información es fundamental en el proceso metodológico, debido a que se constituye en el primer insumo para la calibración y validación de los resultados obtenidos en la determinación de las áreas en condición de cada una de las amenazas naturales evaluadas (movimientos en masa, inundaciones, incendios forestales y avenidas torrenciales).

Las principales fuentes incluidas en la caracterización histórica de eventos amenazantes, fueron clasificadas en cuatro grupos de acuerdo con el tipo de información aportante. Estos grupos son: Documentación, Bases de Datos, Actores estratégicos y recorridos de campo.

2.1. Fuentes de Información

2.1.1. Documentación

De acuerdo a lo descrito en la Guía Metodológica para la Formulación de los Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas adoptado mediante Resolución 566 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se recopiló la información secundaria sobre las condiciones propias de la microcuenca objeto de PMAM que estaba disponible y había sido producida por las entidades públicas, privadas y las comunidades y la información en las páginas oficiales.

Como medida de control en la revisión documental, se estableció el diligenciamiento de un formato que resume a manera de ficha (Tabla 2.1), la información contenida en el documento, así como la información cartográfica, fotografías aéreas e imágenes satelitales consultadas.

Tabla 2.1. Formato de Ficha para análisis de información por componente

Nombre del documento					
Año publicación		Autor		Área de influencia	
Descripción del documento					
Aspectos temáticos relevantes					
Fortalezas del documento			Limitantes del documento		

El registro de la información permitió controlar la revisión de la totalidad de los documentos, como también soportó el diligenciamiento de la matriz de análisis de información secundaria (Tabla 2.3.).

Con el objetivo de evaluar la información secundaria, ésta se realizó de manera independiente para cada uno de los documentos, mapas, fotografías aéreas e imágenes consultadas, y se establecieron parámetros de calificación de la información, la actualidad, la pertinencia, la calidad y la fiabilidad de cada uno de los componentes temáticos, definidos por los Criterio y los grados que se presentan en la Tabla 2.2.El equipo técnico estableció una ponderación para cada uno de los parámetros, con el fin de homogenizar la calificación dada a los mismos.

Tabla 2.2. Instrucciones de diligenciamiento de la matriz de análisis de información secundaria y parámetros de calificación

Nombre del documento	Título del documento y/o estudio			
Autor	Entidad o persona que elaboró el documento			
Año	Fecha de publicación del documento			
Tipo	Describe si es: informe técnico, instrumento de planificación, normativo, base de datos, reporte, cartografía.			
Temática	Se refiere al componente o tema al cual se puede aplicar la información dada en el documento.			
Criterio de calificación	Criterio	Descripción	Calificación	
	Fiabilidad	Hace referencia a la funcionalidad del documento para las condiciones actuales dadas.	Confiable Poco Confiable No confiable	5 3 1
	Actualidad	Tiempo en el cual fue desarrollado el documento	< 5 años 5 - 15 años > 15 años	10 5 1
	Pertinencia	Determina si el documento se relaciona o no con la temática en evaluación.	Muy pertinente Pertinente Poco Pertinente	5 3 1
	Calidad	Se valoraron aspectos como: coherencia entre la metodología y los resultados obtenidos, validez en el tratamiento de los datos, análisis e interpretación de la información recolectada y objetividad en la presentación de las hipótesis y conclusiones del estudio.	Alta Media Baja	10 5 1
Nivel de importancia	Nivel de Importancia	Relevancia del documento para el desarrollo de la temática	Alta Media Baja	30-21 11--20 1--10
Observaciones	Información adicional, ampliación o conclusión de las características evaluadas			

Con este análisis de información existente, el equipo técnico reconoció desde cada uno de los aspectos la dinámica física, biótica, ambiental, social y económica del área de estudio, que sirvieron insumos para la elaboración del PMAM.

Tabla 2.3. Matriz de análisis de información secundaria

Nombre del documento	Autor	Año	Pertinencia	Calidad	Fiabilidad	Actualidad

Al finalizar el diligenciamiento de las fichas para análisis de información por componentes y la matriz de información secundaria, los Criterio se presentan mediante un gráfico de barras con escala porcentual para los componentes pertinencia, calidad, fiabilidad y actualidad.

De acuerdo a la guía metodológica del PMAM, la información secundaria se convierte en un insumo clave en el componente de gestión del riesgo de desastres, no solo para listar las instituciones que de alguna u otra forma tienen en su estructura misional la atención de emergencias, sino que se genera una revisión histórica de los factores de riesgo que afectan la microcuenca, desde el análisis de las amenazas, hasta la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo y la definición de acciones y medidas tanto estructurales como no estructurales para la reducción del riesgo asociado en la microcuenca.

En el proceso de recopilación y revisión de información secundaria para el componente de gestión del riesgo, se incorporaron diez (10) documentos (Ver Tabla 2.4), los cuales aportan información sobre las siguientes líneas:

- Registro histórico de eventos amenazantes
- Zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa e Inundaciones
- Escenarios de cambio climático en el departamento del Huila
- Variaciones en la temperatura y precipitación y su impacto en los sistemas productivos.
- Estrategias y programas para la reducción y mitigación de los escenarios de riesgo identificados.

Tabla 2.4. Criterio de evaluación de información secundaria recopilada Gestión del Riesgo de Desastres

Nombre del documento	Autor	Año	Pertinencia	Calidad	Fiabilidad	Actualidad
Plan básico para el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo del municipio de El Agrado.	Alcaldía Municipal de El Agrado	2014	5	10	5	5
Plan de Cambio Climático Huila 2050: Preparándose para el Cambio Climático.	Gobernación del Huila, CAM, E3 y USAID	2014	5	5	5	5
Plan de Desarrollo Municipal del Pital Huila	Alcaldía Municipal	2020	1	1	3	10
Plan de Desarrollo de El Agrado	Concejo Municipal de EL Agrado	2020	1	5	3	10
Plan de Ordenamiento Territorial del Departamento del Huila	Gobernación del Huila, Consorcio POT Huila 2019	2019	3	5	3	10
Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCH) de la Quebrada Yaguilga	CAM – Corporación ANP	2011	3	1	3	5

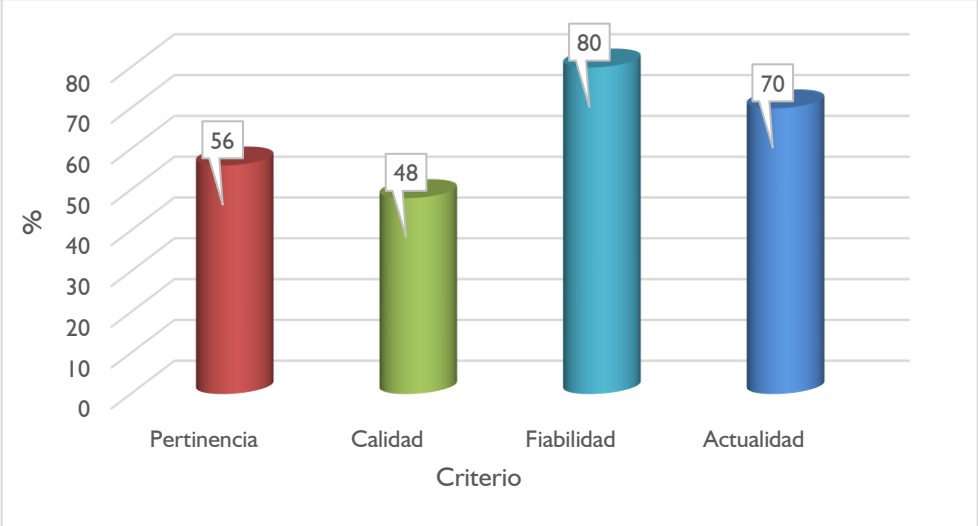
Nombre del documento	Autor	Año	Pertinencia	Calidad	Fiabilidad	Actualidad
Atlas de Riesgo de Colombia: revelando los desastres latentes	Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres -UNGRD-	2018	3	10	5	5
Caracterización del recurso hídrico para el departamento del Huila.	Gobernación del Huila - UPRA	2019	1	1	3	10
Plan Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres del Huila	Gobernación del Huila	2015	3	5	5	5
Estrategia Departamental para la Respuesta a Emergencia y Desastres del Huila	Gobernación del Huila	2015	3	5	5	5

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

La revisión y evaluación de la información secundaria denota que el 56% de los documentos son pertinentes y muy pertinentes, ya que abordan aspectos que permiten caracterizar la situación actual de la microcuenca frente a la ocurrencia de eventos amenazantes. El 48% se consideran de calidad, dada la objetividad, coherencia y tratamiento de los datos.

A continuación, se presenta el análisis documental de la información secundaria recopilada para el componente de gestión del riesgo.

Figura 2.1. Resumen de Criterio de la información existente recopilada para el componente Gestión del Riesgo de Desastres



Fuente: Equipo Técnico PMAM Quebrada la Yaguilga

Tomando en consideración las fuentes de información empleadas, se puede inferir que el 80% de los documentos son fiables y el 70% actuales.

2.1.2. Bases de datos

Tabla 2.5. Características de selección para bases de datos confiables en el componente de gestión del riesgo

Recurso	Información relevante
Banco de documentación de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) y del Servicio Geológico Colombiano (SGC),	Se presenta una estimación de las afectaciones y/o daños generados como consecuencia de la ocurrencia a determinados eventos amenazantes. Establece la ubicación precisa de los fenómenos monitoreados, a comparación de la UNGRD, quien determina de manera general la localización de los reportes.
Sistema de Inventario de Desastres (Desinventar)	Información acerca de los eventos amenazantes ocurridos en los municipios El Pital y El Agrado con una aproximación a las afectaciones ocasionadas. Los datos que allí se registran, son un compilado de diferentes fuentes, dentro de las que se encuentran: diarios oficiales, Consejos Departamentales y Municipales para la gestión del riesgo de desastres (Anteriormente denominados CREPAD y CLOPAD).

Fuete: Consorcio PMAM Yaguilga

Se integró con su respectivo análisis la información de los Planes o Esquemas de Ordenamiento Territorial, Planes municipales de Gestión del Riesgo de desastres, planes de desarrollo, plan departamental de gestión del riesgo, entre otros. Asimismo, se realizó la consulta en bases de datos relacionada con amenaza, riesgo y vulnerabilidad, asimismo, como se describe a continuación:

2.1.3. Cartografía

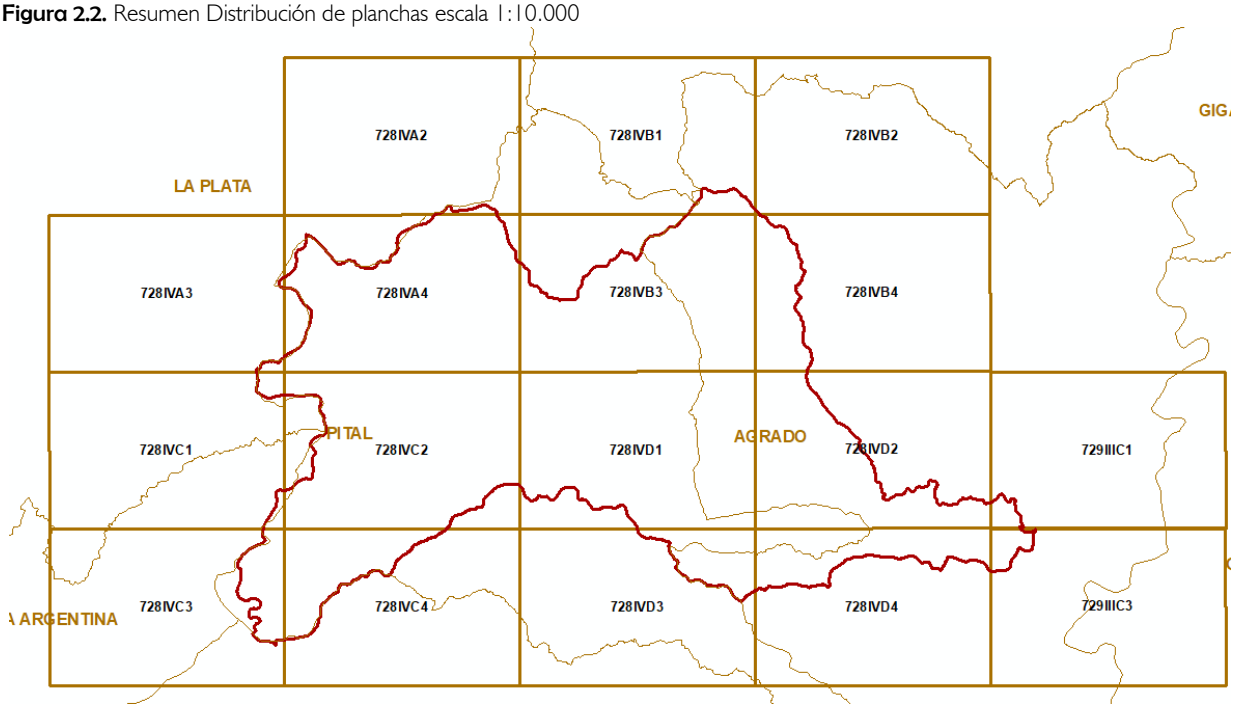
Se incluyen la cartografía base generada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (2020) publicada en 17 planchas sin empalmar a nivel cartográfico para la escala 1:10.000 de la zona, tal como se observa en la Figura 2.2 y Figura 2.3.

Tabla 2.6. Información espacial componente cartográfico

Nombre del documento	Autor	Año
Carto10000_728IVA2_RS_20201009	IGAC	2020
Carto10000_728IVA3_RS_20201014	IGAC	2020
Carto10000_728IVA4_RS_20201009	IGAC	2020
Carto10000_728IVB1_RS_20201009	IGAC	2020
Carto10000_728IVB2_RS_20201008	IGAC	2020
Carto10000_728IVB3_RS_20201009	IGAC	2020
Carto10000_728IVB4_RS_20201008	IGAC	2020
Carto10000_728IVC1_RS_20201014	IGAC	2020
Carto10000_728IVC2_RS_20201009	IGAC	2020
Carto10000_728IVC3_RS_20201013	IGAC	2020
Carto10000_728IVC4_RS_20201009	IGAC	2020
Carto10000_728IVD1_RS_20201008	IGAC	2020
Carto10000_728IVD2_RS_20201008	IGAC	2020
Carto10000_728IVD3_RS_20201008	IGAC	2020
Carto10000_728IVD4_RS_20201008	IGAC	2020
Carto10000_729IIIC1_RS_20201008	IGAC	2020
Carto10000O_729IIIC3_RS_20201008	IGAC	2020
FR-00 MAPA BASE	Alcaldía del Agrado EOT EL AGRADO	2013
FR-01 DIVISIÓN POLITICO ADMINISTRATIVA	Alcaldía del Agrado EOT EL AGRADO	2013
FR-06A LOCALIZACIÓN CENTRO POBLADO LA CAÑADA	Alcaldía del Agrado EOT EL AGRADO	2013
CR_02_Division_Veredal	Alcaldía de El PitalEOT El Pital	2014
Marco Geoestadístico Nacional Vigencia 2020. Nivel Geográfico Área Censal Urbana (Cabeceras y Centros Poblados)	DANE	2020

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

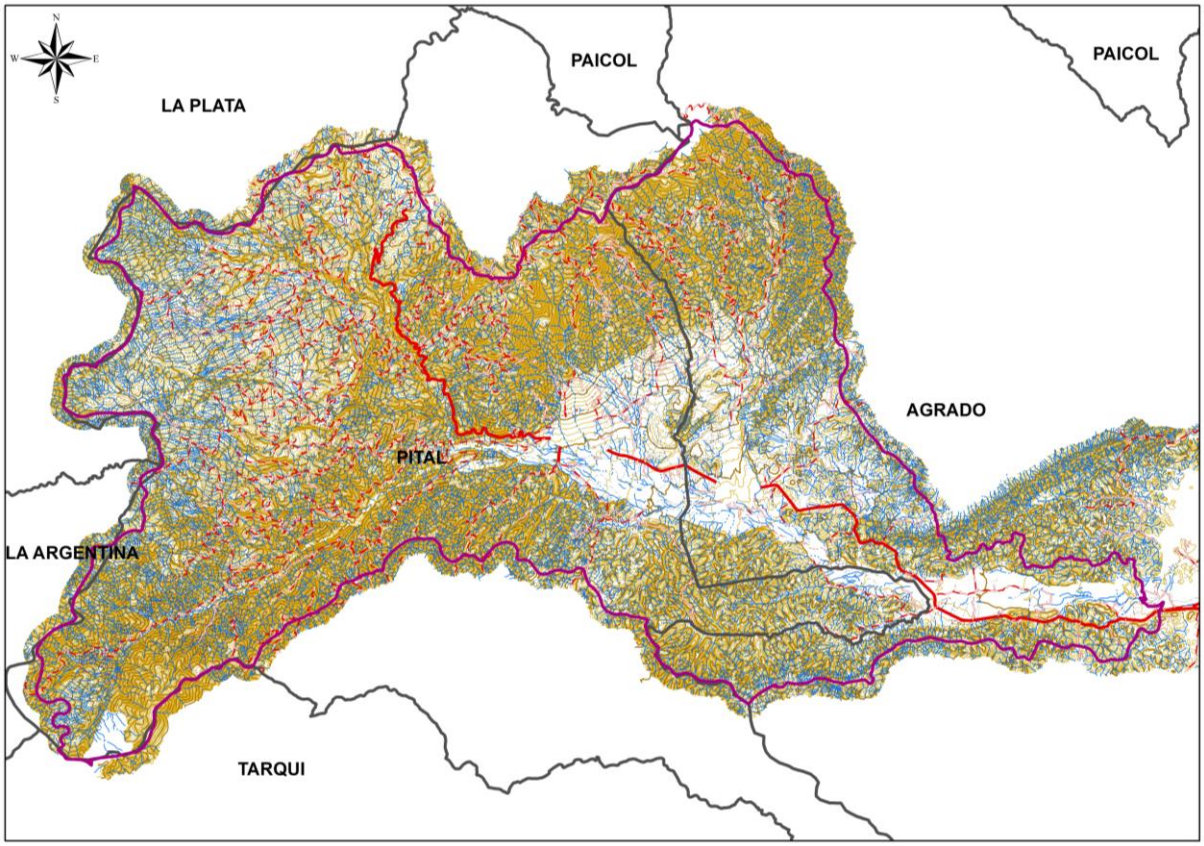
Figura 2.2. Resumen Distribución de planchas escala 1:10.000



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Para la delimitación e identificación de los eventos amenazantes, se tuvo en cuenta la imagen de satélite establecida para la ejecución del proyecto donde fuera posible la localización de estos procesos. Junto a esto se realizó una interpretación preliminar de los eventos identificables extraída de las temáticas como geomorfología, geología integrada con cobertura y uso del suelo, los cuales se verificaron en los recorridos de campo.

Figura 2.3. Cartografía base IGAC escala 1:10.000



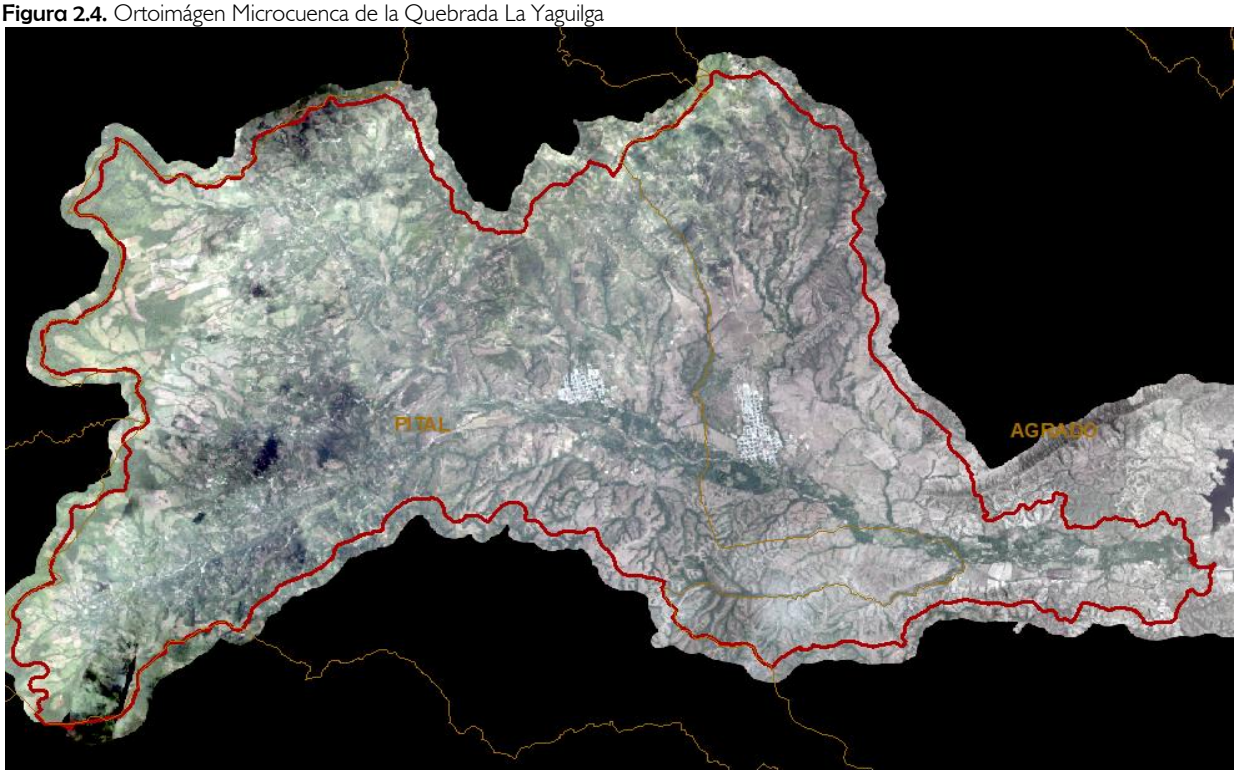
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

2.1.4. Imágenes satelitales

Se seleccionó la Ortoimagen generada por el IGAC en 2020 que cubre la microcuenca de La Quebrada Yaguilga, esta presenta una resolución espacial GDS de 30 cm, lo que facilita la interpretación y adecuación de la información en escala 1:10.000, por ende, se le otorga una alta calificación para el análisis de pertinencia, calidad, fiabilidad y actualidad.

La Ortoimagen para este estudio presenta muy buena calidad, expresada en términos de resolución, color y nitidez. No presentan mayor distorsión o deformación de los relieves y demás características fisiográficas y, abarcan con adecuada precisión los componentes físico-bióticos necesarias a corroborar y levantar en el área en estudio.

Figura 2.4. Ortoimágen Microcuenca de la Quebrada La Yaguilga

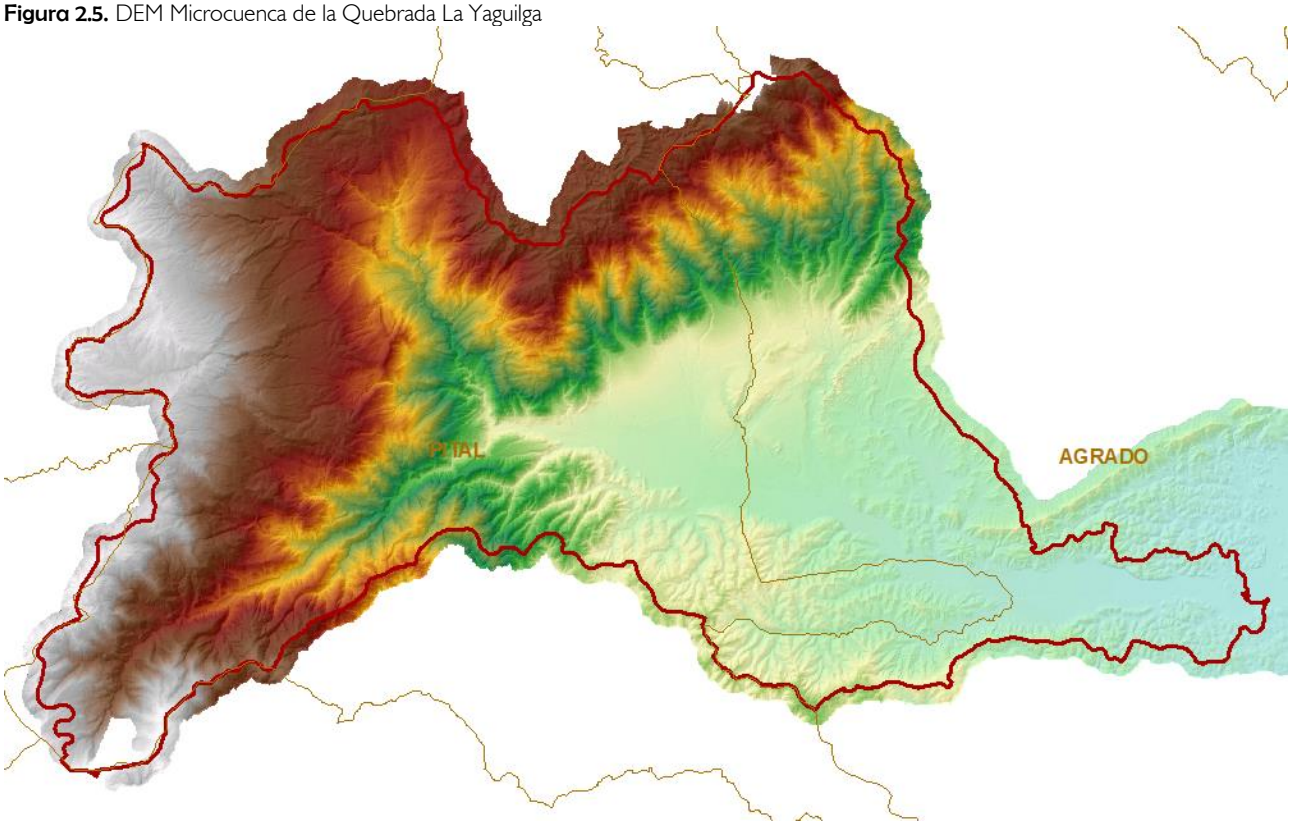


Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

De igual manera, la información contenida y analizada a partir de las imágenes es complementada y respaldada con el modelo de elevación digital (DEM), refinamientos en los sistemas de información geográfica, modelos de sombras, entre otras herramientas, esto, para garantizar la calidad de la información extraída de los sensores remotos utilizados.

En relación al modelo de elevación se evaluó un Modelo Digital de Terreno ALTURA ORTOMÉTRICA del Proyecto Microcuenca de La Quebrada Yaguilga ubicada en los municipios de Agrado y Pital, departamento de Huila, a escala 1:10.000 generado por el IGAC en 2020. El MDT cuenta con resolución de 10 m para referirse a la representación digital de la superficie topográfica y determinar atributos de elevación, pendiente y aspecto; por lo que se confiere un puntaje alto en relación a la pertinencia, calidad, fiabilidad y actualidad, ver Figura 2.1.

Figura 2.5. DEM Microcuenca de la Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

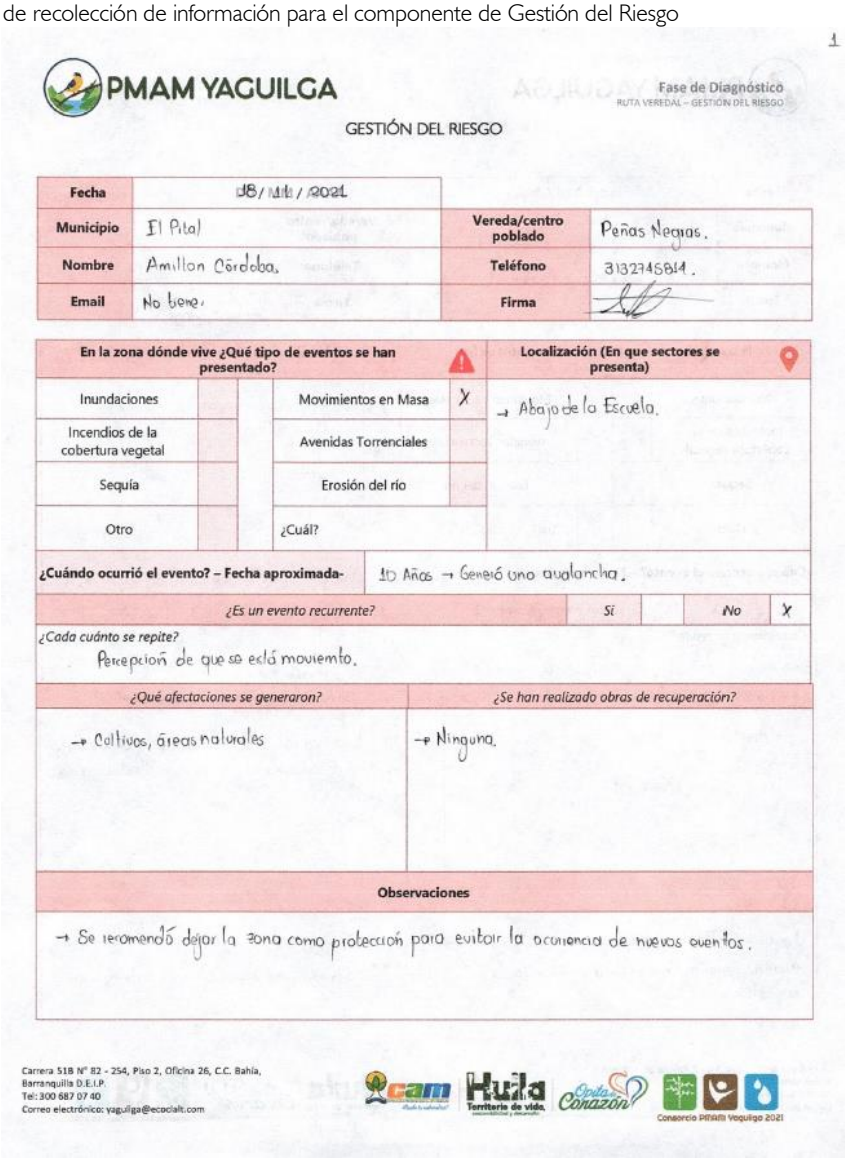
2.1.5. Recorridos en campo

Desde el 18 de noviembre hasta el 4 de diciembre de 2021 se realizaron diversos recorridos por parte de los profesionales en las veredas Vereda Peñas Negras, El Socorro, El Cauchal, El Recreo, La Florida, La Florida, El Retiro, Los Olivos, Alto Líbano, Las Minas, Alto Líbano, Playa Rica, El Carmelo, El Carmen, Independencia, Chorrillos, Flor Amarillo y El Cusco en el Municipio de El Pital y La Galda, Yaguilga y Sabaneta para el Municipio de El Agrado recabando información sobre Tipos de eventos, Localización (En que sectores se presenta), Fechas aproximadas, Frecuencia (recurrencia), afectaciones y estrategias de recuperación.

Por otra parte, durante los recorridos, se construyó una fototeca de eventos que sucedieron durante el periodo mencionado. Con los registros obtenidos, se consolido un panorama en tiempo real del estado actual de las comunidades residentes en el área de influencia para la microcuenca.

En los recorridos de campo, se concibe como un espacio de interacción que permite el reconocimiento o verificación en campo de los principales problemas y fortalezas, que deben ser diagnosticadas de manera participativa junto al trabajo temático realizado para la caracterización de los principales eventos y las condiciones actuales de los procesos, junto a la identificación de nuevas áreas afectadas

Figura 2.6. Formato de recolección de información para el componente de Gestión del Riesgo



PMAM YAGUILGA

Fase de Diagnóstico
RUTA VEREDAL – GESTIÓN DEL RIESGO

GESTIÓN DEL RIESGO

Fecha	08/ Mar / 2021		
Municipio	El Pital	Vereda/centro poblado	Peñas Negras.
Nombre	Amillon Córdoba.	Teléfono	3132745814.
Email	No tiene.	Firma	

En la zona dónde vive ¿Qué tipo de eventos se han presentado?				Localización (En que sectores se presenta)
Inundaciones		Movimientos en Masa	X	→ Abajo de la Escuela.
Incendios de la cobertura vegetal		Avenidas Torrenciales		
Sequía		Erosión del río		
Otro		¿Cuál?		

¿Cuándo ocurrió el evento? – Fecha aproximada-	→ Hace 10 Años → Generó una avalancha.			
¿Es un evento recurrente?		Si		No X
¿Cada cuánto se repite?	→ Percepción de que se está moviendo.			

¿Qué afectaciones se generaron?	¿Se han realizado obras de recuperación?
→ Cultivos, áreas naturales	→ Ninguna.

Observaciones
→ Se recomendó dejar la zona como protección para evitar la ocurrencia de nuevos eventos.

Carrera 51B N° 82 - 254, Piso 2, Oficina 26, C.C. Bahía,
Barranquilla D.E.I.P.
Tel: 300 687 07 40
Correo electrónico: yaguilga@ecocialt.com

Consorcio PMAM Yaguilga 2021

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

2.2. Catálogo histórico de eventos

Para la consolidación del registro histórico de eventos amenazantes, se realizó la recopilación, análisis y georreferenciación de reportes e información secundaria, con el propósito de estimar características generales de los fenómenos naturales, tales como: Tipo, magnitud, duración, recurrencia y causas. Esta información es recopilada en la fase de aprestamiento y se constituye como uno de los insumos

primordiales para la evaluación de las amenazas integrada con el inventario de eventos recolectados en campo.

La estructura y organización del registro histórico de eventos amenazantes para el Plan de Manejo Ambiental de la Quebrada la Yaguilga, se elaboró de acuerdo con los ítems principales para el desarrollo del proyecto, adicionalmente, se incorporaron otros ítems o atributos, que permitieron ampliar la caracterización de cada una de las amenazas naturales encontradas.

El registro histórico de eventos amenazantes parte de la consolidación de la información establecida en bases de datos disponibles en páginas web, en la documentación de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del Servicio Geológico Colombiano (SGC) el cual se caracteriza por establecer su localización exacta, el Sistema de Inventario de Desastres (Desinventar) y la información aportada por los actores sociales las rutas veredales, donde se extrae información relevante para la evaluación de las afectaciones ocasionadas por los diferentes eventos amenazantes localizados en el área de estudio.

Tabla 2.7. Descriptores para el registro en la Unidad de Gestión del Riesgo

Categoría	Criterio	Descripción
ID EVENTO	Id Evento:	Código de identificación del evento.
EVENTO	Tipo de Eventos	Indica el tipo de fenómeno natural reportado (Ej. Movimiento en Masa, Incendio Forestal, Inundación, Avenida Torrencial, Otro).
	Fecha de Ocurrencia	Expresa el día, mes y año en el cual se presentó el evento amenazante.
	Fecha del reporte:	Expresa el día, mes y año en el cual se reportó el evento amenazante.
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	Departamento:	Departamento dónde se localiza el evento
	Municipio	Municipio dónde se localiza el evento.
	Código Municipio:	Número de identificación del municipio dónde se localiza el evento.
	Vereda:	Nombre de la vereda donde se localiza el evento.
	Sitio:	Localización precisa o aproximada del evento amenazante.
	Coordenada Este	Coordenada Este del punto, debe ser calculada en el sistema de referencia oficial (Magna Sirgas origen único)
	Coordenada Norte:	Coordenada norte del punto, debe ser calculada en el sistema de referencia oficial (Magna Sirgas Origen único)
CARACTERÍSTICAS DE LOS EVENTOS	Detonante:	Elemento que dio origen al evento amenazante.
	Fuente	Origen de la información del evento.
PÉRDIDAS Y DAÑOS	Vidas:	Número de muertes por causa del evento amenazante.
	Heridos	Número de heridos a causa del evento amenazante.
	Damnificados	Número de personas afectadas por causa del evento amenazante.

Categoría	Criterio	Descripción
	Viviendas destruidas:	Número de viviendas que resultaron destruidas como consecuencia del evento amenazante
	Viviendas averiadas	Número de viviendas que resultaron afectadas como consecuencia del evento amenazante.
	Vías	Distancia en metros de las vías averiadas o destruidas, como consecuencia de la ocurrencia del evento.
	Servicios:	Fallas en la prestación de los servicios públicos domiciliarios, como consecuencia de la ocurrencia del evento amenazantes
	Puentes Vehiculares y/o peatonales:	Número de puentes que fueron afectados, como consecuencia de la ocurrencia del evento.
	Bosques y/o Cultivos	Hectáreas de cultivos y/o bosques que han sido destruidas a causa de un evento amenazante.
	Semovientes	Número de cabezas de ganado perdidas por causa del evento.
	Centro Educativo	Número de instituciones educativas afectadas.
	Centro de Salud	Número de centros de salud y/o hospitales afectados.
	Centro comunitario	Número de centros comunitarios afectados.
	Otros	Expresa las afectaciones a los bienes, infraestructura o elementos que no están clasificados dentro de las anteriores categorías.
OBSERVACIONES	Observaciones:	Información adicional y/o ampliación de las características del suceso amenazante.

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

En el catálogo histórico de eventos se obtuvieron 129 eventos cubriendo un período de tiempo de 21 años (desde 1999 hasta 2020), evidenciando los incendios de cobertura vegetal y los movimientos en masa como los fenómenos más recurrentes en el área de la cuenca seguido de las inundaciones; la tipificación de eventos ocurridos en los municipios de la microcuenca, se describen y cuantifican en la Tabla 2.8.; Adicional se presentaron dos sismos (detonantes), uno en cada municipio.

Tabla 2.8. Eventos de amenaza distribuido por Municipio

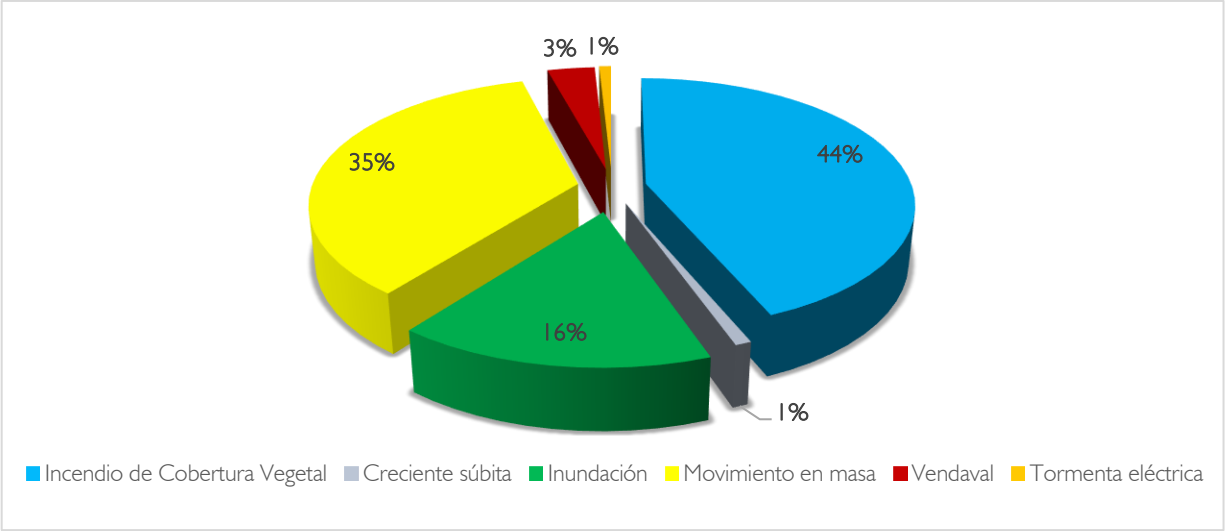
Eventos	El Pital	El Agrado
Incendio de Cobertura Vegetal	24	34
Creciente súbita	0	1
Inundación	10	8
Movimiento en masa	23	20
Vendaval	4	4
Tormenta eléctrica	1	0
Sismos	1	1

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

A nivel porcentual, los incendios de cobertura vegetal cubren el 45% del total de eventos ocurridos en la zona de influencia de la microcuenca, mientras que los movimientos en masa ocuparon un 33%, las inundaciones un 14% y el porcentaje restante está comprendido por los vendavales, las crecientes

súbitas y las tormentas electicas. Por municipio, el municipio de El Agrado tuvo más eventos registrados como se muestra en la Figura 2.7.

Figura 2.7. Eventos históricos para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga



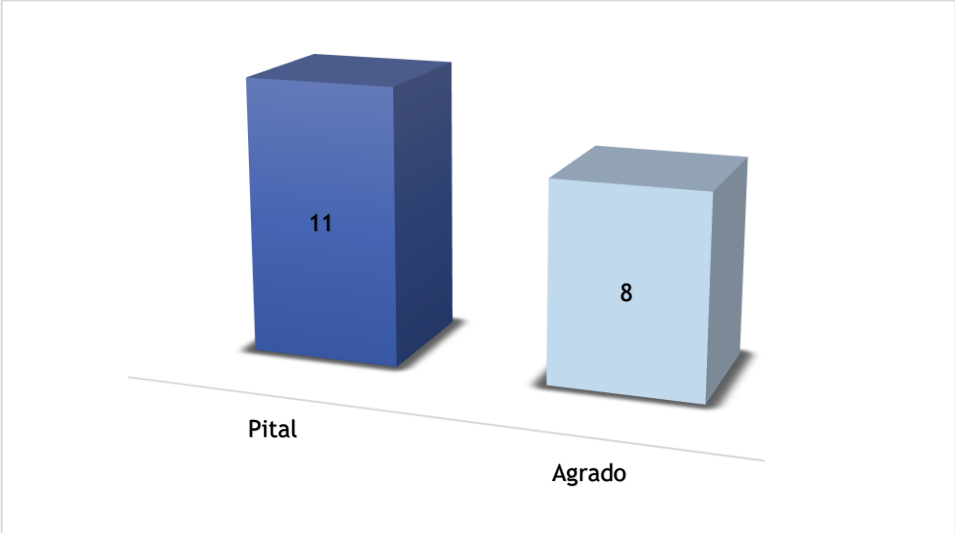
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

2.3. Descripción de eventos en la Microcuenca

2.3.1. Incendios de cobertura vegetal

Según los datos reportados por Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), los incendios ocurridos en la microcuenca fueron 58, siendo la principal causa la combustión de pastizales y rastrojo de diversas cosechas.

Figura 2.8. Incendios de cobertura vegetal registrados en la microcuenca Quebrada la Yaguilga 1999-2020



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

En el municipio de El Agrado (28 episodios), las veredas afectadas fueron: La Galda, Yaguilga, Sabaneta, San Antonio y el centro poblado San José de Belén teniendo como el evento con mayor intensidad, el reportado en la fecha 26 de octubre de 2020 donde 60 hectáreas fueron consumidas por el fuego; por otra parte, en El Pital (24 episodios), las afectaciones se concentraron en las veredas: Los Alpes, Peñas Negras, Santa Rosa, San Antonio, Chimbayaco, San Joaquín (siendo este el de mayor intensidad – 15 hectáreas consumidas) y zona boscosa del Casco Urbano.

Figura 2.9. Incendio de cobertura vegetal Municipio El Pital



Fuente: La Voz de la Región - Julio 18 de 2018

2.3.2. Movimientos en Masa

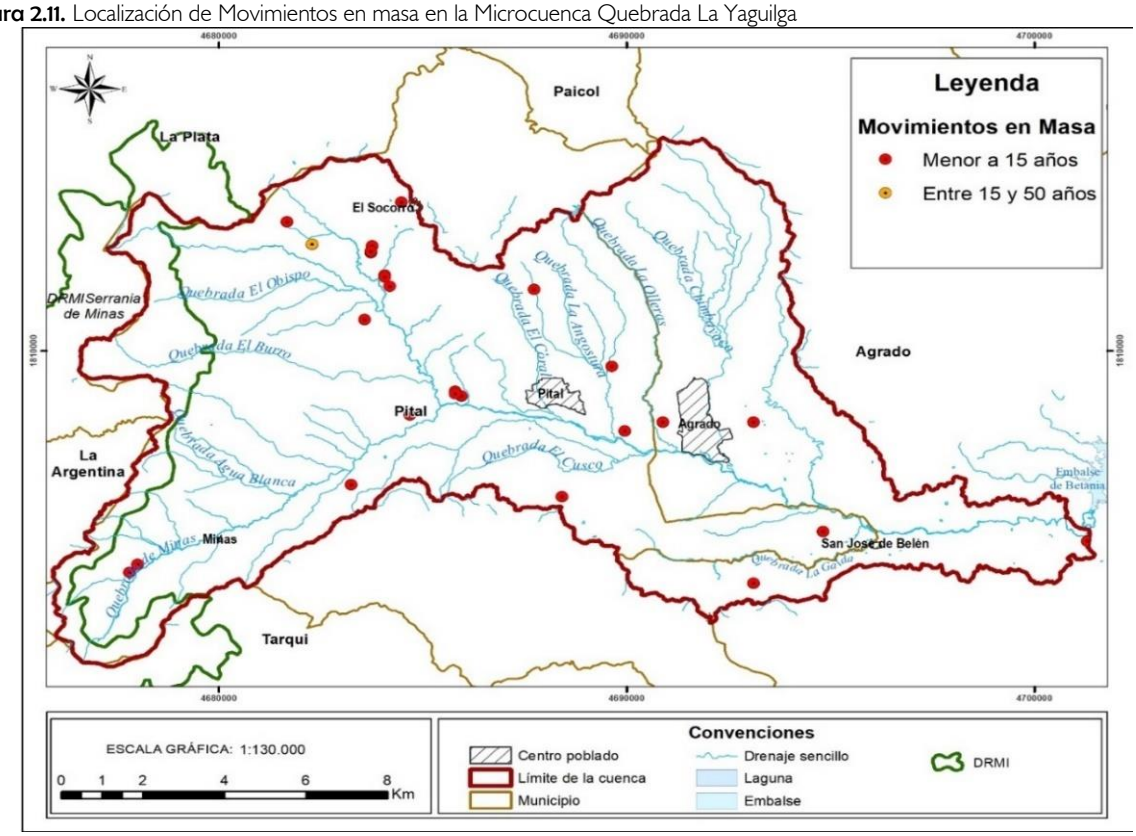
Los lugares con mayor incidencia de los fenómenos de remoción de masa se ubican en el municipio de El Pital en las veredas El Carmelo, El Cauchal, Las Minas, El Líbano, Peñas Negras, Bajo Socorro y Los Alpes.

Figura 2.10. Movimientos en masa Municipio El Agrado



Fuente: Noticias RCN - marzo 11 de 2014

Figura 2.11. Localización de Movimientos en masa en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga

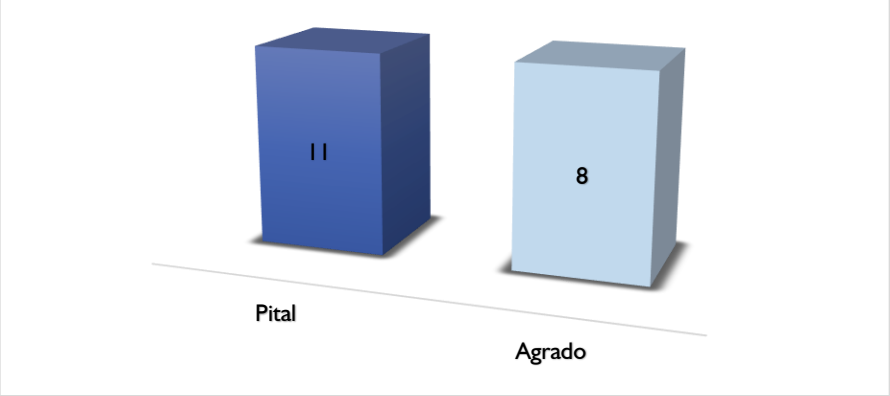


Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga a partir de datos UNGRD (2020)

Según los datos reportados por Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y el Sistema de Inventario de Desastres (Desinventar), ocurrieron 43 eventos siendo los principales

tipos de MMS (movimientos en masa), ocurridos en la microcuenca, la Caída (11 episodios) y el Deslizamiento (19 episodios); El primer evento registrado se dio en el municipio de El Pital el 1 de febrero de 1999, fue un movimiento en masa localizado en la vereda Cauchal que provocó daños infraestructura vial y el más reciente fue el ocurrido en la Vereda San Antonio (El Pital), el 5 de julio de 2020 cuyo balance fue1 vivienda afectada en estructura, 4 personas evacuadas (1 familia). La principal zona afectada comprende dos puntos en la vía que comunica hacia el Municipio de la Plata con el Centro Poblado El Socorro (Pital) y el Municipio El Agrado entre los kilómetros 8 y 18.

Figura 2.12. Movimientos en masa registrados en la microcuenca Quebrada la Yaguilga 1999-2020



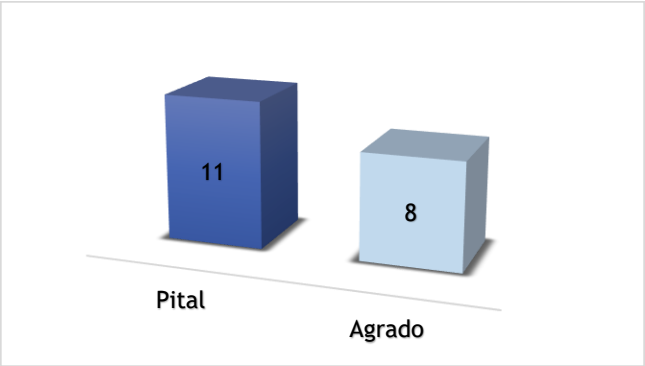
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga a partir de datos de UNGRD (2021)

2.3.3. Inundaciones

Para Bejarano (1997), las inundaciones se presentan por emplazamiento paulatino o violento de las aguas y sedimentos en cantidades abundantes sobre una determinada superficie que normalmente no está sumergida, con duración, frecuencia, magnitud e intensidad determinada por la interacción entre el tipo de inundación y las características morfoestructurales y culturales del lugar (de apropiación y explotación, en especial). En zonas costeras, las inundaciones pueden ocurrir por efecto del cambio en las mareas, tormentas tropicales o fenómenos climáticos como tormentas eléctricas, trombas, huracanes o sismos con epicentro en el fondo oceánico.

Flujos de escombros y de lodo han ocurrido en diferentes corrientes de agua del departamento del Huila; los más frecuentes se presentan en los ríos Ambicá, Las Ceibas, Neiva, Baché y Timaná y las quebradas La Yaguilga, La Viciosa y El Pueblo.

Figura 2.13. Inundaciones registradas en la microcuenca Quebrada la Yaguilga 1999-2020



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga a partir de datos de UNGRD (2021)

Algunas de las manifestaciones más comunes se dan después de una avenida torrencial en zona montañosa o en ríos con alta sinuosidad por efecto de lluvias continuas en zonas altas de la cuenca o microcuenca.

Tabla 2.9. Inundaciones ocurridas en los municipios pertenecientes a la microcuenca Quebrada la Yaguilga

Fecha del evento	Municipio	Damnificados	Viviendas destruidas	Viviendas Averiadas	Vías	Puentes Vehiculares y/o Peatonales	Bosques y/o Cultivos (ha)	Centro Educativo
21/03/1999	Pital	7990	8	30	8	3	---	---
21/03/1999	Agrado	---	---	10	1	1	84	---
06/12/2008	El pital	---	---	---	---	---	290	---
06/12/2008	Agrado	2260	---	---	---	---	---	---
25/05/2010	Agrado	30	---	9	---	---	---	---
31/12/2010	Pital	7365	---	---	---	---	---	---
15/11/2011	Agrado	---	---	---	---	---	---	---
16/11/2011	Pital	---	---	---	---	---	---	1
07/01/2012	Pital	5	---	1	---	---	---	---
22/11/2012	Pital	41	---	8	---	---	---	---
03/10/2013	Pital	30	---	6	---	---	---	---
18/11/2013	Agrado	350	11	49	---	---	---	---
04/12/2013	Pital	30	---	6	---	---	---	---
08/05/2014	Agrado	---	---	---	---	---	---	---
30/10/2014	Agrado	270	---	54	---	---	---	---
26/11/2016	Pital	5	---	1	---	---	---	---
12/01/2017	Pital	35	---	---	---	---	---	---
21/04/2017	Agrado	---	---	---	---	1	---	---

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga a partir de datos de UNGRD (2021)

Junto con los movimientos en masa, los daños provocados por las inundaciones, sobre todo cuando las capacidades de respuesta y el factor sorpresa son indeterminados, equivalen a consecuencias que se superan con mucho tiempo y esfuerzo por parte de la población y los organismos de socorro, así como las autoridades del territorio. En la Tabla 2.9. se presenta un resumen de inundaciones ocurridas en la microcuenca.

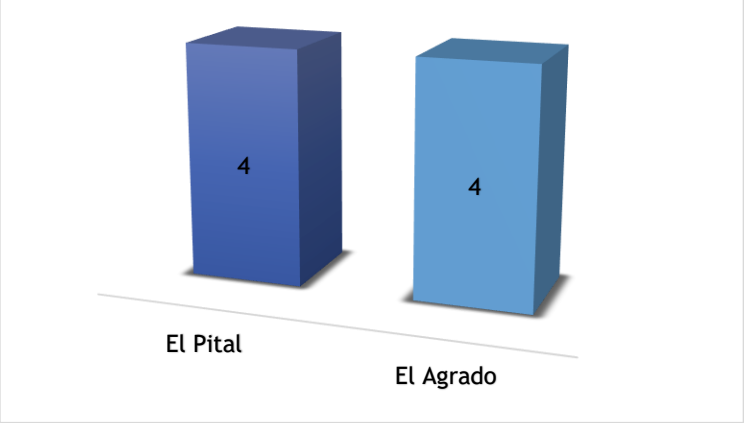
El principal evento sucedió el 21 de marzo de 1999 en el Municipio de El Pital, con una afectación de 7990 damnificados a causa del desbordamiento quebrada Yaguilga tanto en zona urbana como en zona rural (Veredas Florida, Uvital, Chorrillos, Retiro, Playa Rica y San Joaquín); en la evaluación de daños, se estimó la reconstrucción de acueducto, infraestructura vial y varias viviendas. Años posteriores, el 31 de diciembre de 2010 en El Pital, 7365 productores fueron afectados por la temporada invernal según el censo reportado por la Federación Nacional de Cafeteros.

Para el municipio El Agrado el 18 de noviembre de 2013, 61 viviendas afectadas, igual número de familias damnificadas, donde 11 viviendas se clasificaron como no habitables con pérdida total, producto de la creciente súbita y desbordamiento de la quebrada Chimbayaco. Como una segunda inundación de gran magnitud, el día 30 de octubre de 2014, se presentaron fuertes lluvias que afectaron el hospital local, por insuficiencia de alcantarillado unido a un vendaval que afecto 54 viviendas con un total de 270 personas en los barrios Rojas Garrido, Fortunato Herrera, Ana De Calvario y Chimbayaco sector urbano perdiendo muchos de sus enseres, pero sin afectación a la vida de sus pobladores.

2.3.4. Vendavales

Los vendavales presentan una alta recurrencia, pero el daño causado a la población y sus bienes es bajo (Fernández y Da Silva, 2021); Según UNGRD (2012)[3], un vendaval es un fenómeno natural relacionado con el viento que va en una sola dirección y que puede alcanzar 50 kilómetros/hora, hasta 70 kilómetros/hora.

Figura 2.14. Vendavales registrados en la microcuenca Quebrada la Yaguilga 1999-2020



Fuente: Equipo Técnico PMAM Yaguilga a partir de datos de UNGRD (2021)

Los departamentos con afectación por este fenómeno natural han sido: Atlántico, Chocó, Antioquia, Valle del Cauca, cauca, Quindío, Risaralda, Sucre, Cesar, Huila, Cundinamarca, Santander, Bolívar, Tolima, Caldas, magdalena, Nariño, Boyacá, Córdoba, Caquetá, Norte de Santander, La Guajira, Meta

[3] Nota publicada en la página de UNGRD el 22 de junio de 2012. Disponible en: http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/paginas/old_noticias/1386.aspx

y Casanare. Estos eventos suceden posterior a una lluvia intensa aumentando la intensidad de los daños en las zonas donde se presenta.

El reporte de los vendavales para los municipios de la microcuenca es equiparable (4 en cada localidad) para el periodo de tiempo analizado; sus principales afectaciones fueron materiales (perdida de techos de las viviendas o destrucción de infraestructura por caída de árboles, al igual que irrupción de servicios como la electricidad y el internet), sobre todo en zona urbana.

Figura 2.15. Vendavales Municipio El Agrado



Fuente: La Nación - 5 octubre de 2016

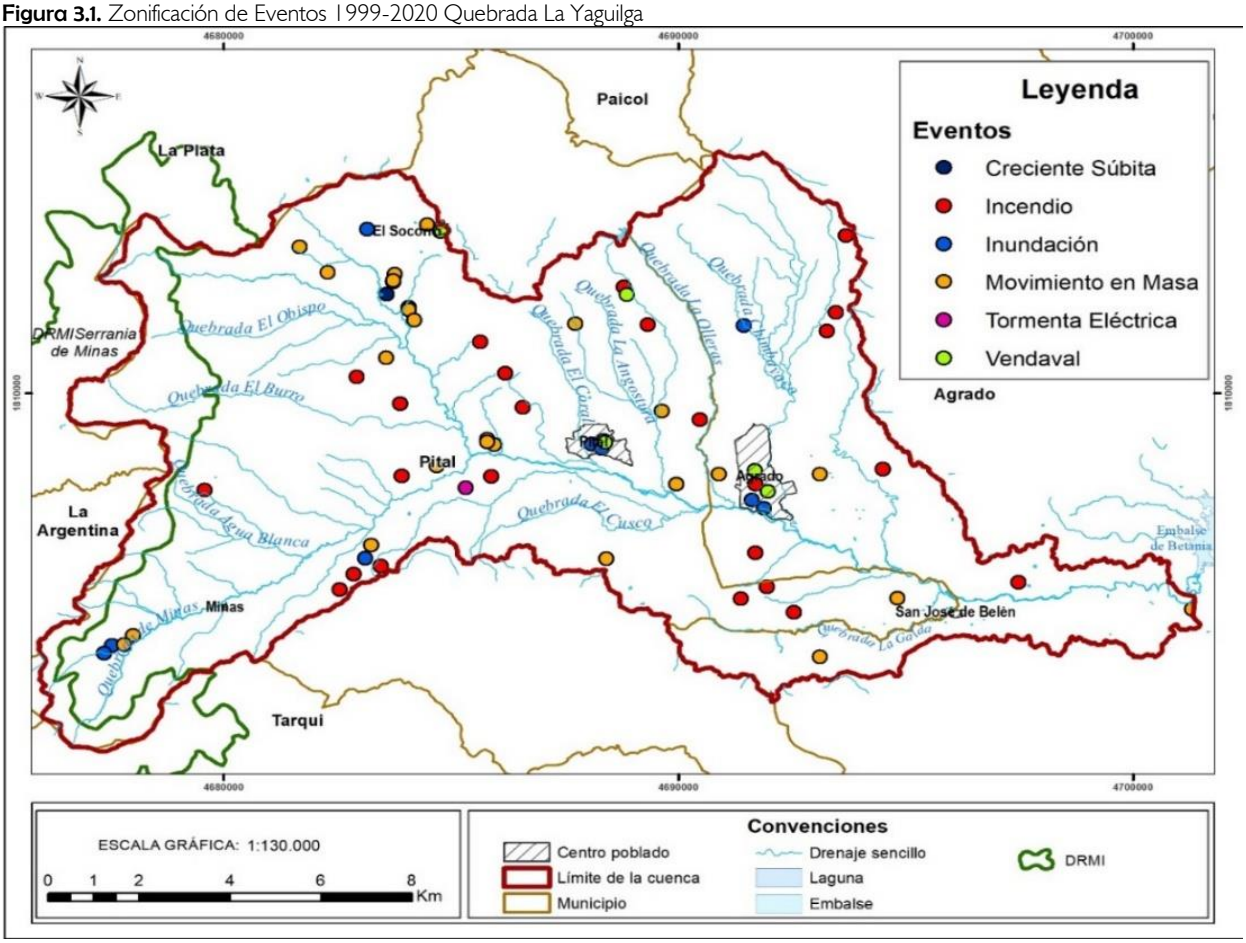
2.3.5. Otros eventos

Tormentas eléctricas (1), sismos (2) y crecientes súbitas (1), se presentaron en menor proporción en el área que comprende el parteaguas de la Quebrada la Yaguilga. De acuerdo al consolidado de afectaciones integrado, estos tres eventos no revistieron daños considerables, asimismo, no se consideran frecuentes por su baja periodicidad.

3. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD

La susceptibilidad a inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales en amplias zonas del país ha crecido debido a la intervención humana sobre el territorio y al consecuente deterioro ambiental. Los factores de degradación de cuencas que generan cambios en la susceptibilidad o una probabilidad de ocurrencia de inundaciones y deslizamientos (aumento de la amenaza), el crecimiento demográfico, la concentración urbana y mayores niveles de exposición sin una disminución importante de los factores de vulnerabilidad contribuyen también en la ecuación del mayor crecimiento del riesgo. En la Figura 3.1, se localizan los eventos acontecidos en la microcuenca de la quebrada Yaguilga.

Figura 3.1. Zonificación de Eventos 1999-2020 Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga a partir de datos UNGRD (2020)

En este orden de ideas, se comienza a construir un concepto de vulnerabilidad de los territorios a partir de dos postulados construidos en Colombia:

1. Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico

peligroso se presente: Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos. Capítulo I artículo 4 de la Ley 1523 de 2012 (Congreso de la República de Colombia, 2012).

II. Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional, de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico asociado a un fenómeno hidroclimatológico se presente: Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños, de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como del deterioro de los ecosistemas, la biodiversidad, los servicios ecosistémicos, el recurso hídrico, los sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados. Política Nacional de Cambio Climático (MinAmbiente, 2017)

La evaluación y delimitación geográfica de la susceptibilidad para cada uno de los tipos de amenazas analizados dentro de la cuenca, permite establecer parámetros similares para su caracterización; partiendo de la información base ya definida[4] Se toman para su desarrollo los métodos propuestos en el Protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo en los instrumentos de protección de los recursos naturales, definidos para cada uno de los tipos de eventos amenazantes.

La evaluación y zonificación de la susceptibilidad para cada uno de los tipos de amenazas analizados dentro de la cuenca, permite establecer parámetros similares para su caracterización; partiendo de la información base ya definida, se toman para su desarrollo los métodos propuestos en el Protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo, definidos para cada uno de los tipos de eventos amenazantes.

3.1. Movimientos en masa (MM)

3.1.1. Definición Movimientos en Masa

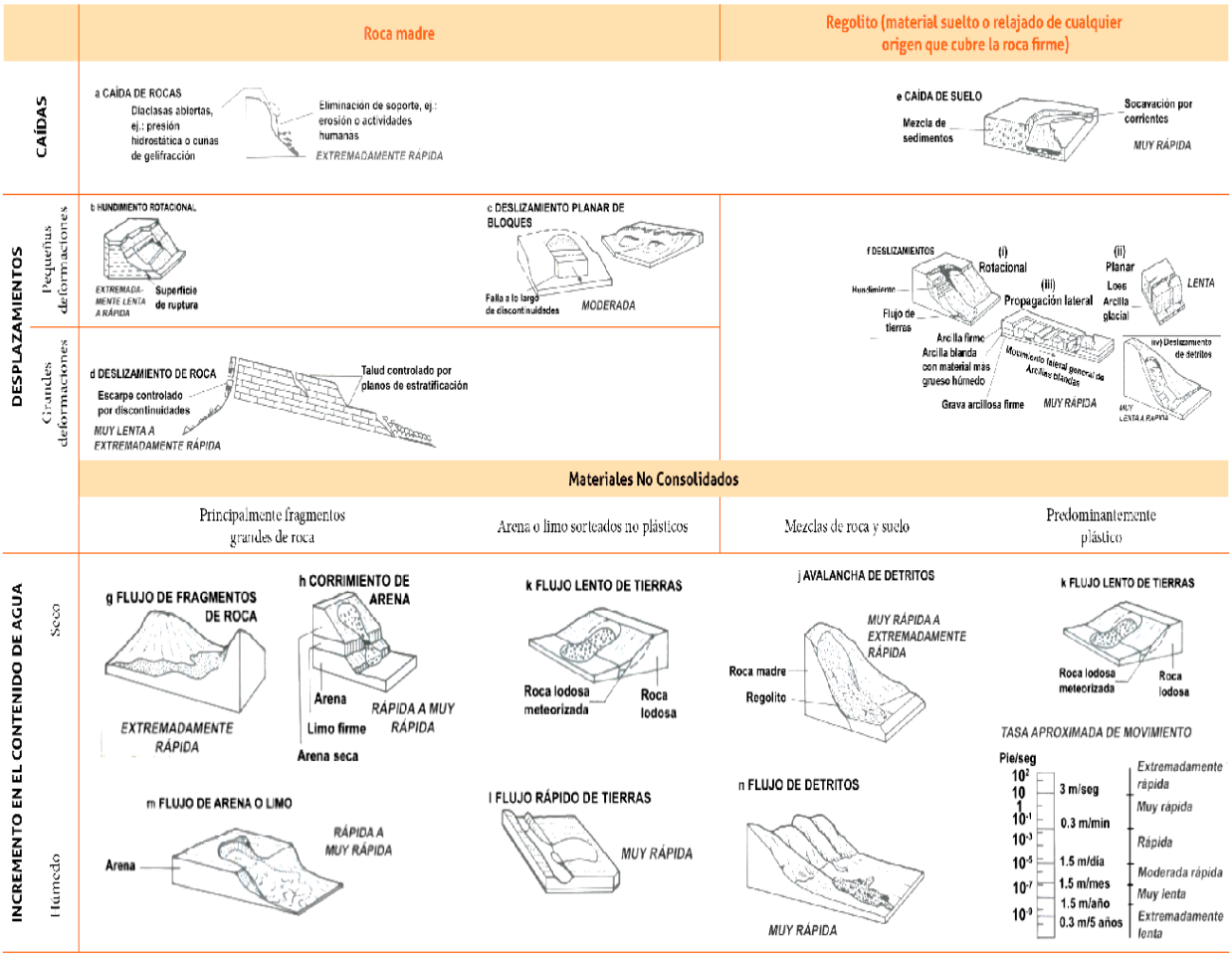
Los movimientos en masa son desplazamientos del terreno a favor de la pendiente que se generan por acción de la fuerza de gravedad, bajo la influencia de ciertos factores como son el agua, los eventos sísmicos, la aplicación de carga excesiva, las excavaciones para la adecuación de viviendas o la apertura de senderos y vías, entre otros. Estos movimientos producen cambios visibles en el terreno como agrietamientos, hundimientos e incluso desprendimientos de grandes cantidades de suelo o roca, de ahí que puedan ocasionar la destrucción y/o deterioro de la infraestructura pública, viviendas, cultivos y propiciar el represamiento de cauces de ríos o quebradas (Alcaldía de Medellín, 2020).

En la actualidad, representan uno de los fenómenos de origen natural con mayores pérdidas humanas y económicas alrededor del mundo, por lo que la evaluación de la susceptibilidad y amenaza es una herramienta fundamental para la ordenación de territorios; utilizando la base de datos del DesInventar y el Sistema de Información de Movimientos en Masa – SIMMA, del Servicio Geológico Colombiano

[4] La información producto del análisis geotécnico, será utilizada en el análisis de la amenaza por movimientos en masa e incluso para la definición de medidas estructurales para la reducción del riesgo en la fase de formulación.

- SGC, destacan que en el periodo comprendido entre los años 1900 y 2018 han ocurrido al menos 30,730 movimientos en masa en Colombia, que han dejado un saldo de 31198 víctimas fatales y pérdidas económicas por USD$ 654 millones (Ospina, J. & Aristizábal, E., 2021).

Figura 3.2. Movimientos en masa



Fuente: Bell (1993)

Según UNGRD (2020), Aunque los movimientos en masa tienen diferentes clasificaciones, se pueden agrupar en cinco tipos básicos de movimientos, estos son: caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral y flujos:

a) Caída: Separación de una masa de roca o suelo desde un talud empinado, a lo largo de una superficie sobre la cual se puede presentar o no desplazamiento por cortante. Una vez ocurrido el desprendimiento, el material desciende a través del aire, principalmente en caída libre, rebotando o rodando (Cruden & Varnes, 1996). Las caídas, también llamadas desprendimientos, son Movimientos en Masa que se presentan en taludes de alta pendiente que se encuentran muy fracturados (CORPOBOYACA, 2020); uno o varios bloques de suelo

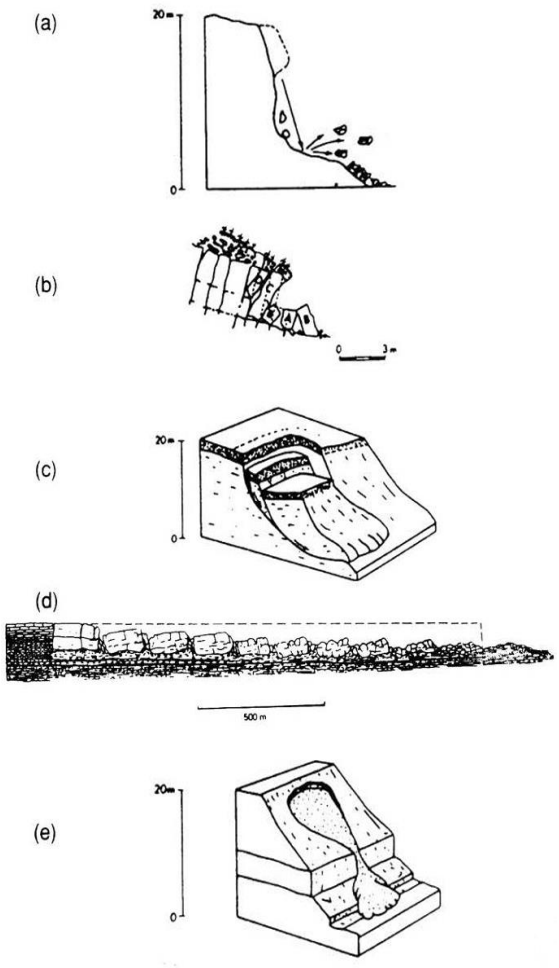
o roca se desprenden de una ladera sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae y se desplaza principalmente por el aire; así puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Sociedad Geológica del Perú, 2021).

Pueden clasificarse de acuerdo al material que se desprende de la siguiente forma:

- Caída de rocas: Ocurre en laderas de montañas y colinas de moderada a fuerte pendiente, frentes rocosas escarpadas, montañas estructurales asociadas a litologías de diferente naturaleza (sedimentarias, ígneas y metamórficas), sujetas a fuerte fracturamiento, así como en taludes al efectuarse cortes en laderas para obras civiles como carreteras y canales (Ver Figura 1.4.).

- Derrumbe: Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros.

- Volcamiento: Se denomina así a un tipo de movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas.



Fuente: Cruden & Varnes (1996).

Para Castiblanco (2011), el volcamiento puede ser clasificado según el tipo de proceso y material involucrado:

- *Volcamiento de bloques:* es controlado por una orientación específica de discontinuidades y generalmente está asociado a velocidades altas; ocurre cuando columnas individuales son divididas por discontinuidades ampliamente espaciadas.

- *El vuelco flexural*: involucra roca más frágil y densamente diaclasada; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas. Los movimientos en este caso pueden ser lentos y graduales. Adicionalmente, ocurre en rocas con un sistema definido de

discontinuidades en laderas anaclinales de rocas blandas (flexibles), detritos o suelo. Discontinuidades horizontales no son usualmente observadas.

b) Deslizamientos: En este tipo de movimiento de ladera el desplazamiento del terreno se produce sobre una o varias superficies de rotura bien definidas. La masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad, prácticamente sin deformación interna, en su recorrido (González de Vallejo, 2002). El término deslizamiento se refiere al movimiento de masas de suelo o roca, en el sentido de la pendiente de una ladera, por acción de la gravedad (rotacionales o traslacionales). Produce rotura durante o después de precipitaciones con más de 100 mm/día durante el invierno.

Existen diferentes formas de referirse a estos fenómenos, tales como movimientos en masa o como fenómenos de remoción en masa. En función de la geometría de la superficie de rotura, se pueden clasificar en:

- *Deslizamiento traslacional*: Asentamientos del manto relativamente delgado sobre la superficie de la roca de fondo (Duque, 2017).

- *Deslizamiento rotacional*: Deslizamiento de suelos residuales o masa saprolítica, eventualmente con bloques de roca (Duque, 2017).

- Propagaciones laterales: Este término hace referencia al movimiento de bloques rocosos o masas de suelo sobre un material blando y deformable. Como consecuencia de esta diferencia de competencia entre el material supra yacente y el infrayacente, se produce la fragmentación de las capas superiores y los desplazamientos diferenciales. Los bloques se desplazan lateral y lentamente a favor de pendientes muy bajas. No son movimientos frecuentes y suelen ser bastante extensos (González de Vallejo, 2002).

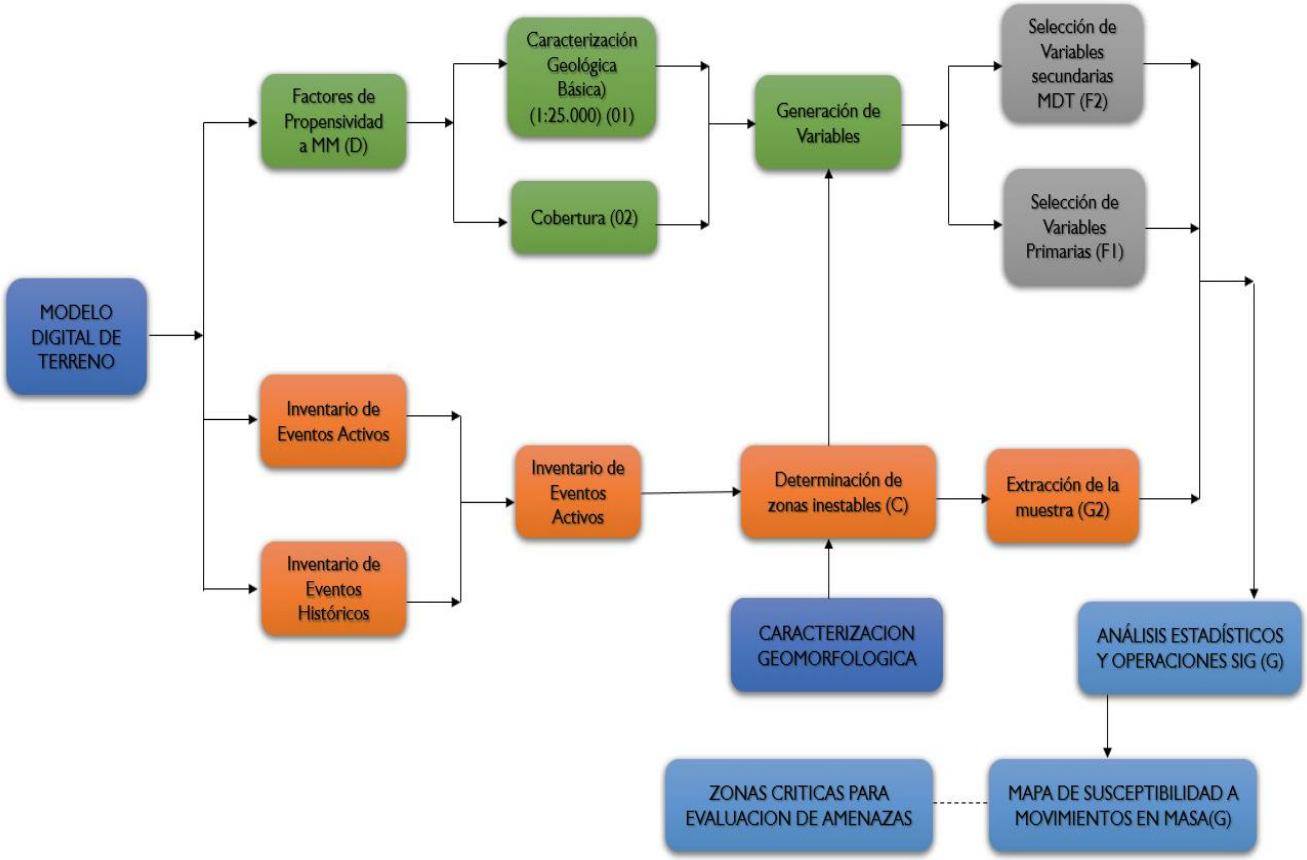
- Flujos: En esta categoría, se agrupan los diferentes movimientos de ladera que presentan deformación interna y continua del material y ausencia de una superficie neta de desplazamiento (Varnes, 1978). Las diferencias radican en el material implicado, su contenido de agua y la velocidad de desarrollo, de lenta (reptación) a súbita (Flujos de rocas), presentándose movimientos de suelo (Flujos o coladas de tierra o barro), de derrubios (flujos de derrubios) o de bloques rocosos (Flujos de fragmentos rocosos).

De acuerdo a lo reportado por la Gobernación del Huila (2015) en el "Plan Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres del Huila", En cuanto a fenómenos de remoción en masa, son varias las áreas susceptibles en el departamento, porque reúne varios de los elementos más importantes para su ocurrencia como son: topografía, tipo de roca y alto grado de descomposición de ellas, propiedades geomecánicas, lluvias intensas, eventos sísmicos y deforestación para ampliar la frontera agropecuaria y cultivos ilícitos.

3.1.2. Metodología de la Susceptibilidad por Movimientos en Masa

El proceso metodológico empleado para la evaluación de la susceptibilidad Microcuenca Quebrada la Yaguilga a los movimientos en masa, está fundamentado en una técnica multivariante de análisis discriminante, tal como se describe en el documento "Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas", elaborado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, en colaboración con el Fondo Adaptación. En la Figura 3.3, se presenta de manera general, los procesos para la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa.

Figura 3.3. Esquema para la evaluación de susceptibilidad a movimientos en masa



Fuente: MADS y Fondo Adaptación, 2014

Como se aprecia en el esquema anterior, el primer paso para la aplicación del modelo de susceptibilidad, está relacionado con la generación del Modelo digital de Elevación (DEM) a escala 1:10.000, por lo cual se hizo necesario la restitución del DEM entregado por la corporación ya que de allí se obtendrán la mayor parte de las variables secundarias que serán evaluadas para el análisis de susceptibilidad, modelo que se muestra a continuación:

Posteriormente, se efectúa el tratamiento estadístico, siguiendo los pasos descritos en el protocolo (MADS y Fondo Adaptación, 2014), los cuales se citan textualmente a continuación:

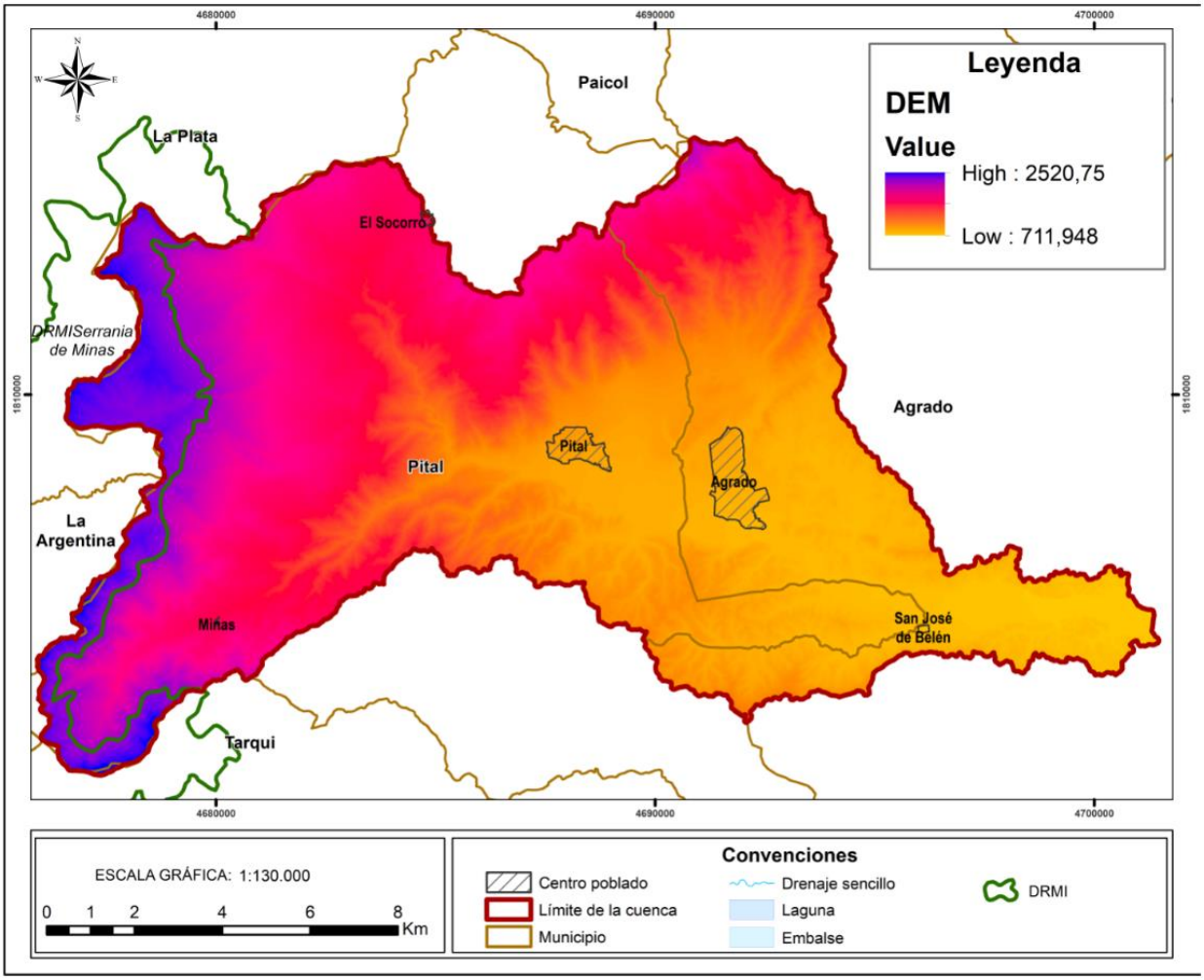
I. Rasterización de las variables vectoriales (SIG)
II. Ajuste / categorización de las variables (SIG)
III. Obtención de la muestra (SIG): malla con presencia o ausencia de zonas de inestabilidad). Cada celda se caracteriza de acuerdo a las variables definidas.
IV. Depuración de los datos mediante el uso de análisis estadísticos (análisis de errores). Dentro de este proceso se ejecutan los siguientes pasos:

- Chequeo del ajuste a una distribución normal de las variables: se debe verificar que todas las variables se ajustan a una distribución normal mediante un test Kolmogorov – Smirnov (KS); uso de la media y la desviación estándar de la muestra. Se corrige mediante distribuciones log normales.
- Chequeo de variables independientes: las variables usadas en análisis discriminante no deben tener un alto grado de dependencia (98%). Los factores de interés son los que tienen asociada una mayor varianza. No son recomendables las dependencias lineales.
- Realizar un análisis de contraste entre las variables con mayor grado de dependencia: (análisis de la media y análisis múltiple de la varianza), para definir cuales variables excluir del análisis discriminante
- Selección de las variables independientes de mayor importancia estadística para construir la función discriminante.
- Creación de variables compuestas: por ejemplo, la función Senoidal de la pendiente.
- Recodificación cuantitativa de las variables cualitativas, calificación de atributos o adopción de pesos o valores numéricos de acuerdo al criterio experto.

Los pasos anteriores permiten seleccionar un número reducido de variables independientes y de gran valor estadístico. Si estas variables tienen una distribución normal multivariante con igual Matriz de varianza – covarianza para cada unidad de evaluación, se aplica entonces el análisis discriminante.

- Construcción y definición de la función discriminante: Se puede utilizar el método por pasos, mediante el cual las variables entran una a una en la función discriminante hasta que se encuentre la función más significativa con el menor número de variables. De este proceso se pueden obtener distintas combinaciones de variables y se selecciona la función discriminante óptima, es decir la que con menor combinación de variables obtenga la mejor clasificación de la población inestable. Luego de este proceso se obtiene la malla regular discriminante, para lo cual se utiliza una herramienta SIG.
- Definición de la susceptibilidad y del mapa de susceptibilidad mediante el uso de herramientas SIG. Los métodos se basan en los valores de la función discriminante.
- Validación de la función y el mapa de susceptibilidad (SIG).

Figura 3.4. DEM para la microcuenca de la Quebrada Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

3.1.2.1. *Eventos Activos*

De acuerdo a los datos recabados en campo, los deslizamientos traslacionales representan el movimiento en masa más frecuente para el periodo de muestreo, seguido por deslizamientos rotacionales, caídas de rocas, Flujos y por último, con los procesos indiferenciados (reptaciones continuas) y, por último, los deslizamientos rotacionales (Ver Tabla 3.1 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. y Figura 3.5)

Tabla 3.1. Tipos de movimiento en masa determinados en la Microcuenca Quebrada la Yaguilga

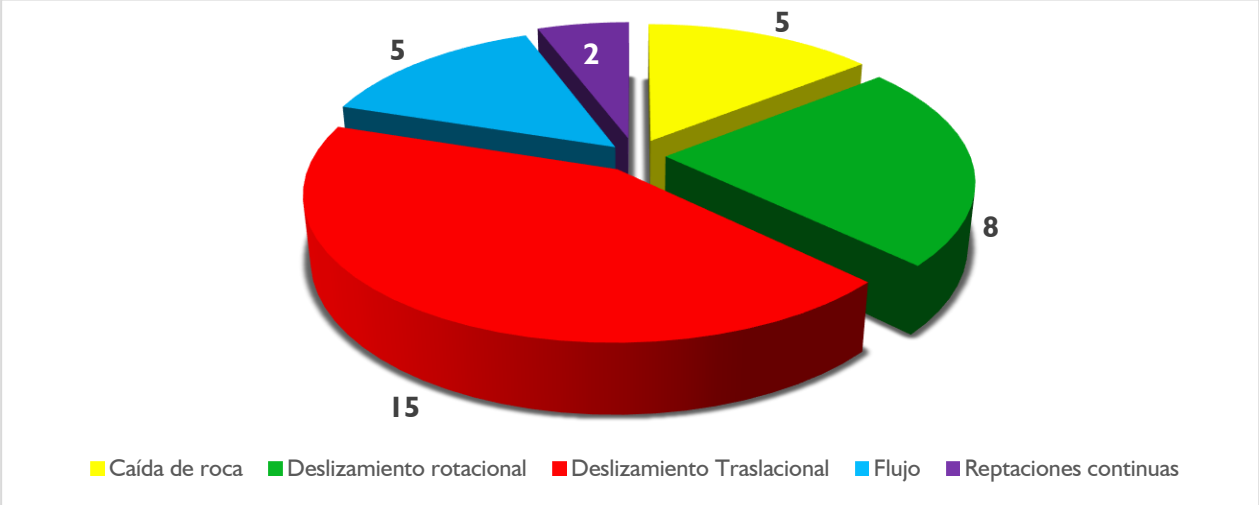
TIPO DE MOVIMIENTO EN MASA	CANTIDAD
Caída de roca	5
Deslizamiento rotacional	8
Deslizamiento Traslacional	15
Flujo	5

TIPO DE MOVIMIENTO EN MASA	CANTIDAD
Reptaciones continuas	2
Total	35

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

El total de eventos activos calificados como movimientos es masa son 35 en el área de la microcuenca.

Figura 3.5. Inventario de Eventos de Remoción de Masa en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

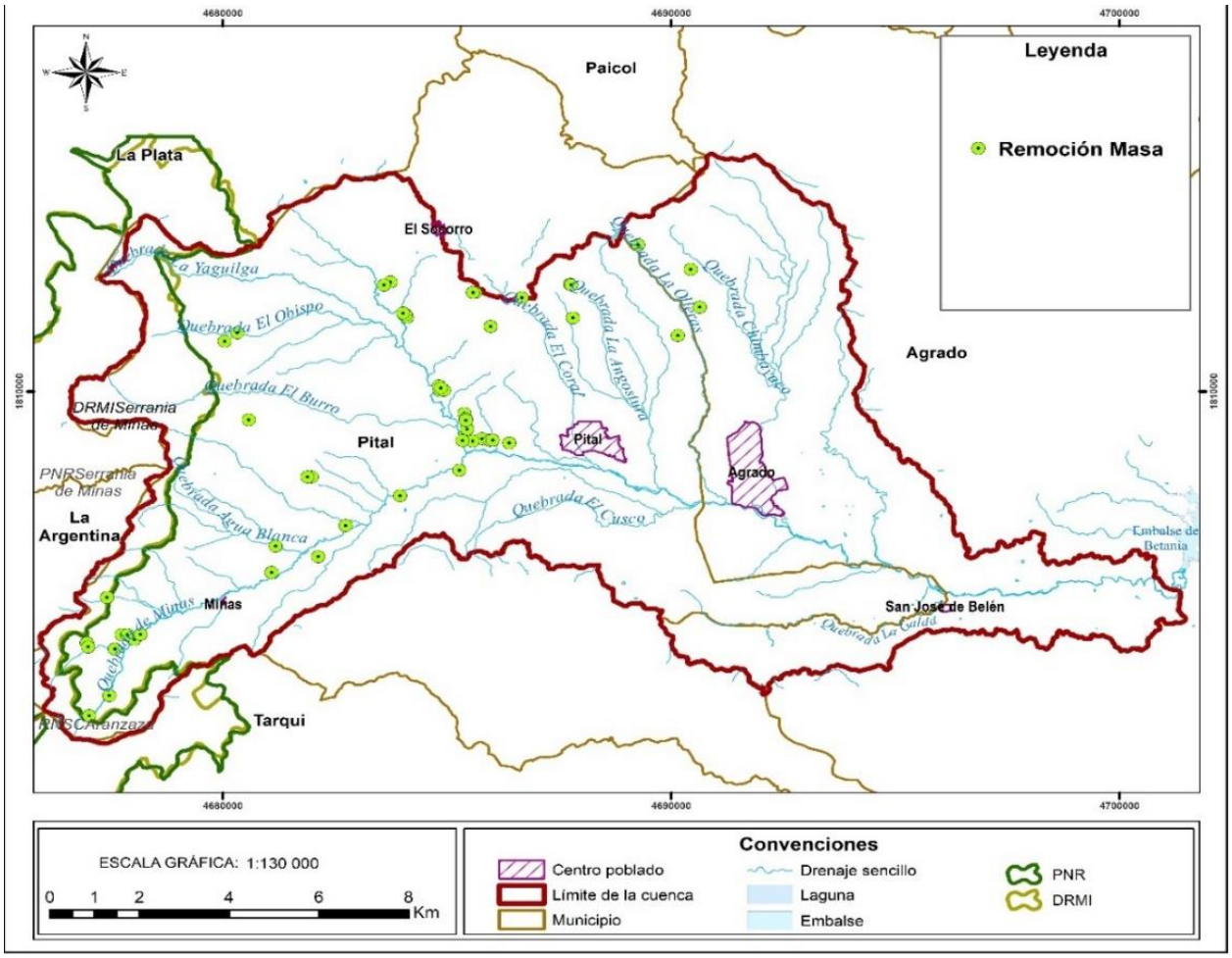
Los movimientos en masa al convertirse en una de los fenómenos amenazantes con mayor presencia en el territorio, han generado cuantiosas pérdidas socioeconómicas y ambientales.

A partir de la identificación de los eventos históricos y activos de la cuenca, apoyado en la caracterización geomorfológica, se determinan las zonas inestables, las cuales se convierten en una variable de agrupación, que será empleada en el análisis estadístico y de selección de la muestra.

3.1.2.2. *Eventos Activos*

A continuación, se presenta la cartera de procesos morfodinámicos inventariados durante la fase de campo (Ver Tabla 3.2); dicho inventario contiene las coordenadas, altitud, codificación, descripción y registro fotográfico de cada movimiento en masa verificado complementario a lo descrito en la Tabla 3.1.

Figura 3.6. Inventario de Eventos de Remoción de Masa en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Tabla 3.2. Cartera De Procesos Morfodinámicos del PMAM Quebrada Yaguilga

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 001 Vía: El Alto Líbano – El Pital	1803794	4636774	2081	En este punto se observa un deslizamiento traslacional de alto de 8.30 metros y longitud de 16.20 metros, inestable, simple, de velocidad rápido, con erosión superficial de tipo laminar, surcos y cárcavas, de estado avanzado, con una tasa de perdida de material media y sin ninguna obra o medida de estabilidad, causado por sismo como contribuyente y las precipitaciones de la zona como detonante. Este deslizamiento se encuentra asociado a la secuencia volcano-sedimentaria de la Formación Saldaña (Js).	
QYANPM – 002 Vía: El Alto Líbano – El Pital Vista de flujo de detritos sobre el flanco derecho aguas abajo de la quebrada Las Minas.	1803794	4676774	2081	En este punto sobre el flanco derecho agua debajo de la quebrada Las Minas, se observa un flujo de detrito, inestable, progresivo, simple, de velocidad moderada, con erosión superficial de tipo laminar, de estado reciente, con tasa de perdida de material medio, detonado por precipitaciones de la zona y afectando rocas de la Formación Saldaña (Js).	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 003 Vía: El Alto Líbano – El Pital Deslizamiento rotacional a 500 metros del caserío Alto Líbano.	1803813	4677554	1952	En este punto se observa un deslizamiento rotacional afectando las rocas volcano- sedimentarias de la formación Saldaña, a 500 metros del caserío Alto Líbano, con estabilidad latente, progresivo y sin ninguna obra o medida de mitigación.	
QYANPM – 004 Vía: El Alto Líbano – El Pital Deslizamiento traslacional por afectación antrópica de ladera denudada	1803768	4677638	1933	Sobre el flanco izquierdo agua abajo de la quebrada Las Minas, se observa un deslizamiento traslacional con posible propagación lateral, producido por antropización de la ladera denudada por cultivos de café y las altas precipitaciones que se presenta en la zona.	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 005 Vía: El Alto Líbano – El Pital Deslizamiento traslacional flanco derecho agua abajo de la Quebrada Las Minas.	1804000	4677892	1866	Desde este punto hacia el flanco derecho agua abajo de la quebrada Las Minas se observa un deslizamiento traslacional de detritos, latente, progresivo, de velocidad moderado y estado avanzado, sobre rocas de la Formación Saldaña (Js).	
QYANPM – 006 Vía: El Alto Líbano – El Pital. Deslizamiento traslacional en zona de cizalla.	1804000	4677892	1866	En este punto se observa deslizamiento traslacional sobre la vía el Alto Líbano – El Pital, de modo simple, de estado avanzado, con una tasa de perdida de material alto, afectando las rocas volcano-sedimentaria de la Formación Saldaña (Js) sobre zona de cizalla que se encuentra en este sector.	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 007 Vía: El Alto Líbano – El Pital Deslizamiento rotacional y lóbulo de deslizamiento en la Vía Alto Líbano - El Pital.	1804000	4677892	1866	Se observa deslizamiento rotacional antiguo sobre lóbulo de deslizamiento rotacional, producido según personas de la zona en el año 2009, al cual se le observa proceso de activación sobre la superficie de escarpe principal.	
QYANPM – 008 Vía: El Alto Líbano – El Pital Flujo de detritos	1804123	4678179	1806	En este punto Sobre el flanco derecho agua abajo de la quebrada Las Minas, se observa un proceso morfodinámico activo de tipo flujo de detritos, inestable, simple, de velocidad rápido, afectado as rocas de la Formación Saldaña (Js), asociado a las altas precipitaciones de la zona.	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 009 Vía: Bajo Minas – El Pital Deslizamiento traslacional sobre la vía Bajo Minas – El Pital.	1805546	4681101	1468	En este punto se observa un deslizamiento traslacional de estado reciente, sobre la vía Bajo Minas – El Pital, afectando las rocas volcano-sedimentaria de la Formación Saldaña.	
QYANPM – 010 Vía: Bajo Minas – El Pital. Deslizamiento traslacional inactivo.	1808279	4684329	1226	En este punto sobre la vía Bajo Minas – El Pital se observa un deslizamiento traslacional inactivo, con erosión de tipo surco, tasa de pérdida de material media.	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 011 Vía: Flor Amarrilla – El Pital Deslizamiento traslacional en la vereda Flor Amarrillo	1806046	4683801	1238	En este punto se observa un deslizamiento traslacional de 3 metros de alto y de longitud total de 5 metros, simple, inestable, de velocidad rápido, en estado avanzado, con tasa de perdida de material alta, afectando las rocas de la unidad Migmatitas de Las Minas (Pem).	
QYANPM – 012 Vía: Flor Amarrillo – El Pital Deslizamiento traslacional.	1806066	4683878	1238	En este punto se observa un deslizamiento traslacional antiguo, simple, latente, con posible propagación de extensión lateral, desarrollado en rocas metamórficas la unidad Migmatitas de Las Minas (Pem), el cual puede afectar una población de esta zona.	
QYANPM – 013 Vía: Flor Amarilla – El Pital. Deslizamiento rotacional sobre la vía Flor Amarilla - El Pital	1805912	4685414	1291	En este punto se observa un deslizamiento rotacional de 2 metros de alto y 13.80 metros de longitud total, progresivo, sin ninguna obra o medida de mitigación y afectando la vía que comunica a la vereda Flor Amarrilla con El Pital.	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 014 Vía: El Cusco – El Pital. Reptaciones continúas en aureola de contacto.	1807976	4687708	942	En la vereda el Cusco se observan reptaciones continuas, simples, en aureola de contacto entre las Migmatitas de Las Minas y las Monzodiorita de Las Minas (Jim).	
QYANPM – 015 Vía: Playa Rica – El Pital. Deslizamiento traslacional vereda Playa Rica.	1807093	4683225	930	En la vereda Playa Rica del municipio El Pital, se observa un deslizamiento traslacional reciente, de 6.50 metros de alto y 16.90 metros de longitud total, desarrollado sobre ladera denudativa y rocas asociados a la Formación Saldaña (Js), afectando la vía que comunica al municipio El Pital con el municipio La Argentina.	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 016 Vía: Alto Líbano – El Pital. Deslizamiento traslacional en suelo residual de la Formación Saldaña (Js).	1806167	4681806	1371	En este punto se observa un deslizamiento traslacional, formado en suelo residual de la Formación Saldaña (Js), de modo simple, con erosión superficial en forma laminar, estado avanzado, de 3.5 metros de alto y 15 metros de longitud total.	
QYANPM – 017 Vía: El Pital – La Argentina. Deslizamiento rotacional en contacto discordante entre la Formación Saldaña (Js) y Formación Caballo (Kc).	1806167	4681806	1690	En este punto se observa un deslizamiento rotacional simple, inestable, progresivo, avanzado, con formación de cárcavas y tasa de perdida de material alto, con una altura de 6.80 metros y una longitud total de 60 metros, desarrollado sobre el contacto discordante entre la Formación Saldaña (Js) y la Formación Caballos (Kc).	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 018 Vía: Santa Rosa – El Pital. Flujo de detritos sobre la quebrada Yaguilga.	1806167	4681806	1161	Sobre el flanco izquierdo agua abajo de la quebrada Yaguilga, en este punto se observa un flujo de detritos, simple, con erosión superficial laminar, antiguo y una pérdida de material alta.	
QYANPM – 019 Vía: El Paraíso – El Pital. Deslizamiento traslacional sobre la vía El Paraíso - El Pital	1805329	4682786	1618	En la vía El Paraíso – El Pital se observa un deslizamiento traslacional de 3 metros de altura, 10 metros de longitud total, 8 metros de ancho y 1 metro de espesor promedio, inestable, simple, progresivo y sin ninguna medida de mitigación, desarrollado sobre suelos residual de esquistos de las Migmatitas de Las Minas (Pem).	
QYANPM – 020 Vía: El Paraíso – El Pital. Deslizamiento traslacional activo	1805329	4682786	1618	En este punto a 0.9 kilómetros de distancia se observa un deslizamiento traslacional con una longitud total aparente de 100 metros y altura aparente de 50 metros, inestables, simple, de velocidad rápida y sin ninguna medida de mitigación, desarrollados sobre rocas de la Formación Saldaña (Js).	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 021 Vía: Bajo Minas – El Pital. Deslizamiento traslacional vereda Bajo Minas.	1805938	4682121	1489	En la vía que comunica a la vereda Bajo Minas con el centro poblado de El Pital, cerca de la quebrada el Confite, se observa un deslizamiento traslacional de 4 metros de altura y 15 metros de longitud, inestables, con tasa de perdida de material alto, sobre rocas volcánicas andesíticas de la Formación Saldaña.	
QYANPM – 022 Vía: Bajo Minas – El Pital. Deslizamiento rotacional margen izquierdo Quebrada Las Minas.	1806424	4682822	1355	Desde este punto se observa un deslizamiento rotacional de 25 metros de altura aparente y 120 de longitud total aparente que se observa al norte de la estación en el margen izquierdo agua abajo de la quebrada Las Minas.	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 023 Vía: Uvital – El Cauchal. Deslizamiento rotacional con propagación lateral de corona de deslizamiento.	1813478	4682179	1731	En este punto se observa un deslizamiento rotacional reciente, de altura de 30 metros y longitud total de 10 metros, progresivo, inestable, con propagación de extensión de la corona deslizamiento donde se visualizan reptaciones continuas, desarrollado en suelo residual de la Formación Hondita (Kh).	
QYANPM – 024 Vía: El Pital – La Plata. Caída de roca por fallamiento normal.	1811996	4684051	1522	En este punto se observa caída de roca en lutitas de la Formación Hondita producto de fallamiento normal gravitatorio que afecta a la formación en esta zona por reacomodamiento de bloques por esfuerzo principal inverso	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 025 Vía: Socorro – El Pital. Flujo de detritos en la Formación Hondita (Kh).	1811764	4684109	1385	En la vía que comunica la vereda el Socorro con el centro poblado El Pital, se observa un flujo de detritos simple, inestable, progresivo, con tasa de perdida de material media, originado en suelo residual de la Formación Hondita (Kh).	
QYANPM – 026 Vía: Socorro – El Pital. Caída de roca en la vía El Pital - El Socorro.	1811743	4684805	1335	En este punto se observa proceso de caída de rocas inestables, simple. De velocidad moderado, de estado avanzado, con tase de perdida de material bajo, desarrollado en la Formación Caballo (Kc).	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 027 Vía: El Cusco – El Pital Deslizamiento rotacional en la vereda el Cusco.	1806590	4688670	932	A 0.39 Kilometros en dirección norte de este punto se observa un deslizamiento rotacional en estado avanzado con reptaciones estacionales hacia el flanco izquierdo de la vista, no se observa ninguna medida u obra de mitigación.	
QYANPM – 028 Vía: El Cusco – El Pital. Reptaciones continúas sobre ladera de contrapendiente.	1806782	4689746	830	En este punto se observan reptaciones continuas sobre ladera de contrapendiente, producto de actividad de ganadería en la zona debido a la sobrecarga en el terreno.	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 029 Vía: La Arita – El Pital. Deslizamiento rotacional compuesto en Piedra Blanca.	1810075	4684824	1244	En este punto conocido como piedra blanca se observa un deslizamiento rotacional compuesto, de velocidad rápida, con propagación lateral, estado avanzado, tasa de perdida de material alta, en material rocoso deleznable de la Formación Caballo (Kc).	
QYANPM – 030. Vía: La Arita – El Pital. Vista de deslizamiento rotacional afectando el centro recreacional la Arita.	1810075	4684824	1244	En el centro recreacional la Arita se observa un deslizamiento rotacional con propagación progresiva de la corona de deslizamiento, la cual se encuentra afectando las estructuras de este centro recreacional.	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 031 Vía: La Arita – El Pital Flujo de detrito sobre ladera en el margen izquierdo de la Quebrada Yaguilga.	1810042	4684740	1254	En este punto de observa un flujo de detritos sobre ladera rectilínea de depósito coluvial, en el margen izquierdo aguas abajo de la Quebrada Yaguilga.	
QYANPM – 032 Vía: La Arita – El Pital. Deslizamiento rotacional entrada del centro recreacional la Arita.	1810075	4684824	1242	En este punto sobre la entrada del centro recreacional la Arita se observa un deslizamiento rotacional simple, latente, en estado avanzado, con tasa de perdida de material alta, detonado por las altas precipitaciones de la zona, sin ninguna obra o medida de mitigación por parte de los entes encargados.	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 033 Vía: La Arita – El Pital. Caída de roca en la vía El Pital - La Plata.	1809426	4685371	1154	Sobre la vía que conduce del centro poblado El Pital hacia el municipio La Plata se observa procesos de caídas de rocas simple, inestable, en estado avanzado, con tasa de perdida de material alta, en material rocoso deleznable de la Formación Saldaña (Js).	
QYANPM – 034 Vía: La Arita – El Pital.	1809299	4685401	1157	En este punto se observa una serie de proceso morfodinámicos compuesto de caída de roca y flujo de detritos, inestables y sin medida u obra de mitigación lo que causa una afectación a la vía nacional que comunica a El Pital con La Plata.	

CODIFICACIÓN UBICACIÓN	COORD. NORTE	COORD. ESTE	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTROGRÁFICO
QYANPM – 035 Vía: La Arita – El Pital. Caída de roca sobre la vía nacional El Pital - La Plata.	1810075	4684824	1244	Debido al alto grado de meteorización y procesos de erosión sobre la Formación Caballos (Kc) en este punto se observan grande desprendimiento de material rocoso en estado avanza, sin medida de mitigación lo que puede presentar afectación sobre la vía nacional El Pital – La Plata.	

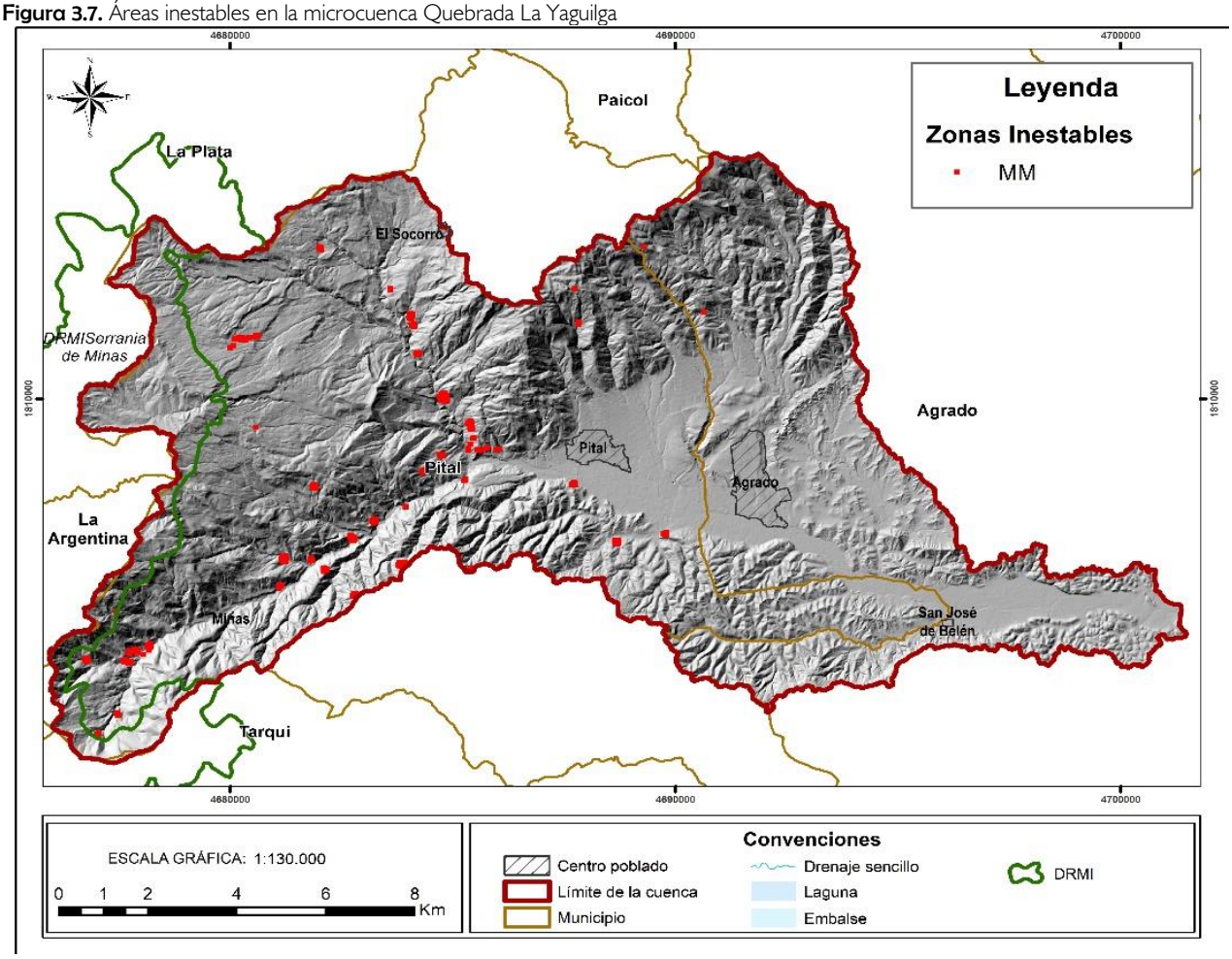
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

3.1.3. Resultados de la Susceptibilidad por Movimientos en Masa

3.1.3.1. *Determinación de zonas inestables*

Las zonas inestables se establecen a partir de la información compilada en el registro histórico de eventos, en el cual se integran los movimientos en masa identificados en el inventario de eventos recopilado en campo y los interpretados en la caracterización geomorfológica como procesos morfodinámicos asociados a procesos de inestabilidad. Estos movimientos en masa son producto de las condiciones naturales del terreno, tales como geomorfología, hidrología y modificación de estas mismas por procesos geodinámicos y actividades humanas.

Figura 3.7. Áreas inestables en la microcuenca Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Finalmente, la determinación de las zonas inestables se realiza con el uso del SIG mediante la suma de tres componentes:

$$\boldsymbol{ZONAS\ INESTABLES}$$
$$= Catálogo\ de\ Eventos\ (geometría\ de\ punto)$$
$$+ Inventario\ de\ Eventos\ (geometría\ de\ polígono\ y/o\ punto)$$
$$+ Subunidades\ geomorfológicas\ asociadas\ a\ la\ inestabilidad\ (mapa\ geomorfológico$$
$$- geometría\ de\ polígono)$$

En la Figura 3.7 se presentan los resultados para la zonificación de áreas inestables dentro de la microcuenca.

3.1.3.2. *Variables analizadas para determinar la susceptibilidad a movimientos en masa.*

Para la selección de las variables o parámetros intrínsecos influyentes en la ocurrencia de movimientos en masa, fue necesario acudir al análisis previo de la información disponible, al reconocimiento de campo y a la experticia de los profesionales de componente de gestión del riesgo, teniendo en cuenta aspectos tales como: representatividad del área de estudio, medibilidad de los criterios y no redundancia entre las variables. De esta manera, se definieron para el análisis de susceptibilidad, las siguientes variables:

Tabla 3.3. Variables analizadas en el cálculo de la susceptibilidad a Movimientos en Masa

Variables Categóricas	Variables derivadas del MDT	Otras Variables
a) **Roca - Suelo:** Identifica las zonas de roca o suelo. b) **Espesor:** Expresa la profundidad de los depósitos de suelos. c) **Origen:** Hace referencia a la composición de los materiales de la zona de estudio. d) **UGS:** define la presencia o ausencia y profundidad de un depósito de suelo e) **Densidad de fracturamiento:** Representa el fracturamiento que afecta los materiales rocosos. f) **Vegetación: Cobertura** vegetal que cubre el suelo de la zona de estudio. g) **Geomorfología:** Expresa la susceptibilidad a la ocurrencia de MM, según criterios geomorfológicos. h) **Movimientos en MM:** Hace referencia al inventario de MM, históricos y recientes de la zona de estudio.	a) **Pendiente:** Expresa la inclinación del terreno. b) **Orientación de las laderas:** Dirección de exposición de una ladera. c) **Curvatura de las laderas:** Indica el grado de convexidad/concavidad del terreno. d) **Insolación:** Cantidad de energía en forma de radiación solar que alcanza un lugar en un intervalo de tiempo definido. e) **Acuenca:** El área de la cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en el terreno.	a) **Distancia a Cauces:** Expresa la longitud desde un punto al cauce más cercano. b) **Distancia a vías:** Expresa la longitud desde un punto a la vía más cercana. c) **Densidad de drenaje:** Indica el número de drenajes por unidad de área.

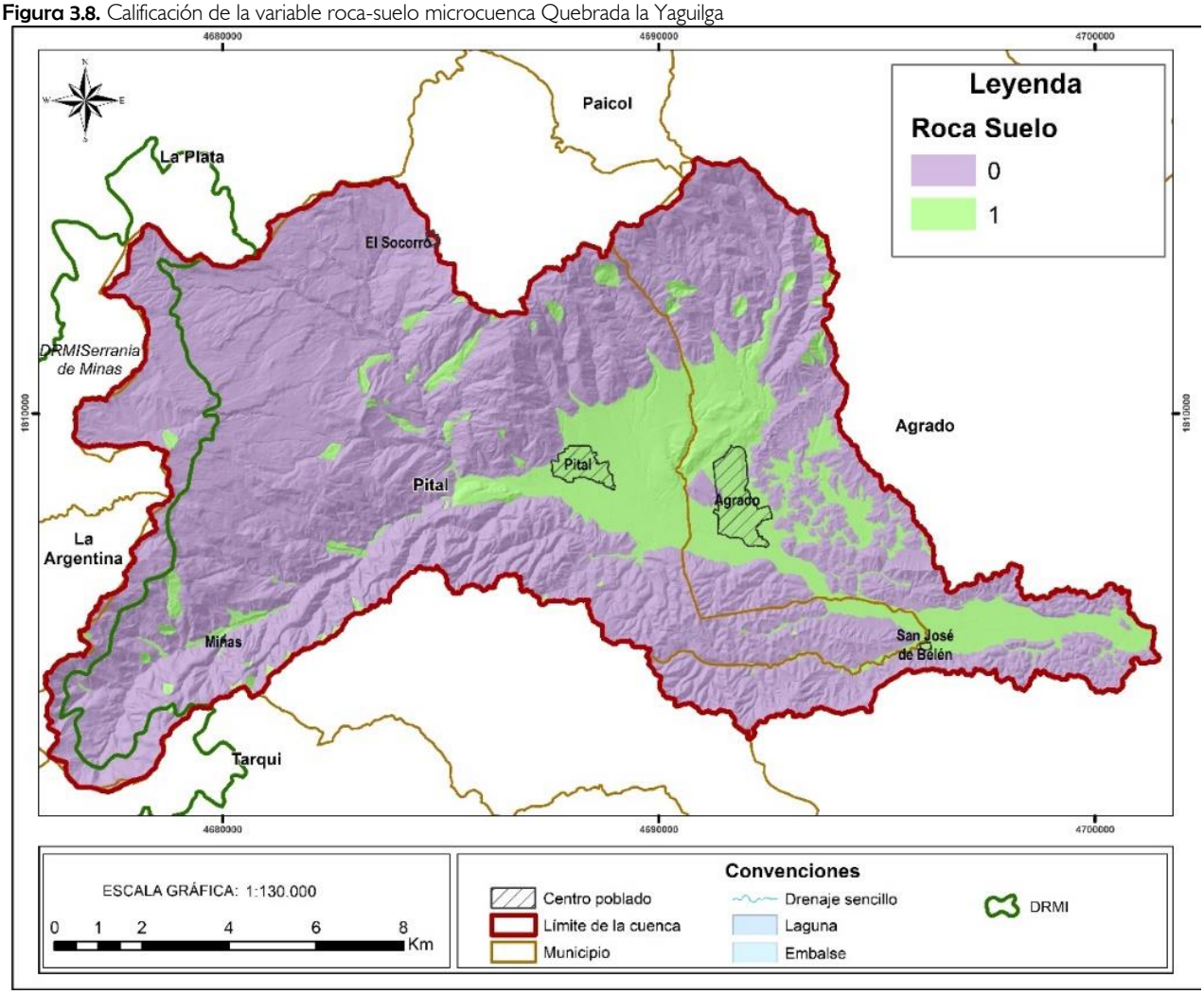
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

3.1.3.3. *Generación y selección de variables*

- Roca - Suelo: Esta variable define la presencia o ausencia de un depósito o suelo en la cuenca objeto de ordenación. Su importancia radica en que los depósitos, presentan menos resistencia y mayor susceptibilidad a los movimientos en masa.

Como cartografía temática para evaluar este parámetro se tomó el mapa de geología básica con fines de ordenación, el cual presenta las unidades de material caracterizados con base en los criterios de origen, textura y consistencia de la matriz. Estas unidades son presentadas de acuerdo al tipo de material geológico y a partir de estos, se asigna un peso a cada sector, donde 0 se considera como materiales estables y 1 los que presentan mayor inestabilidad a partir de sus condiciones físicas, conforme a la resistencia o susceptibilidad que presenten al proceso de deslizamiento

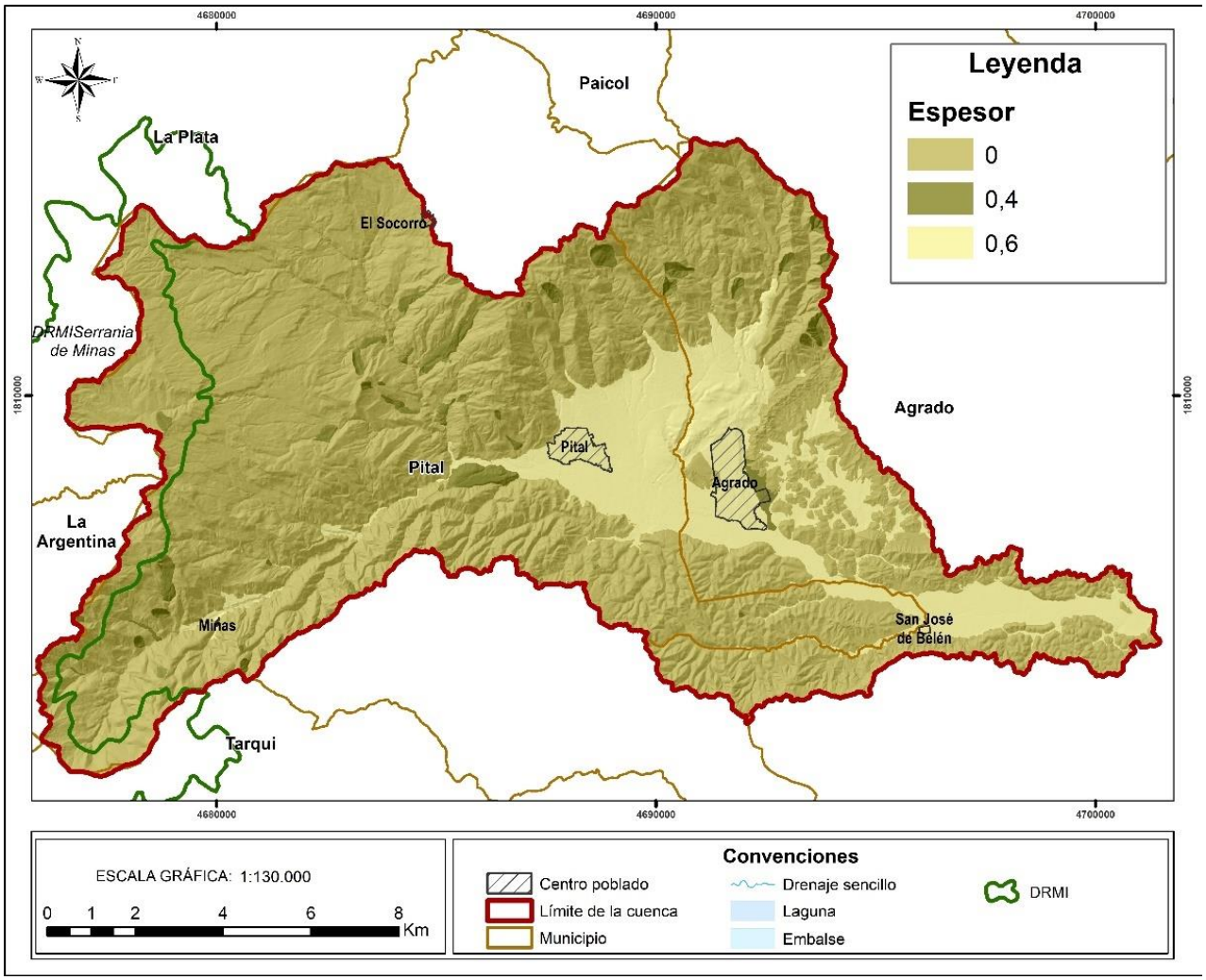
Figura 3.8. Calificación de la variable roca-suelo microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

- Espesor: El espesor hace referencia a la profundidad o grosor de la formación superficial (depósitos superficiales y regolitos de alteración). Es una variable, que influye en la cantidad de agua que puede contener y en la magnitud de las presiones que pueden generarse; de igual manera, un gran espesor puede reducir el efecto estabilizador de las raíces.

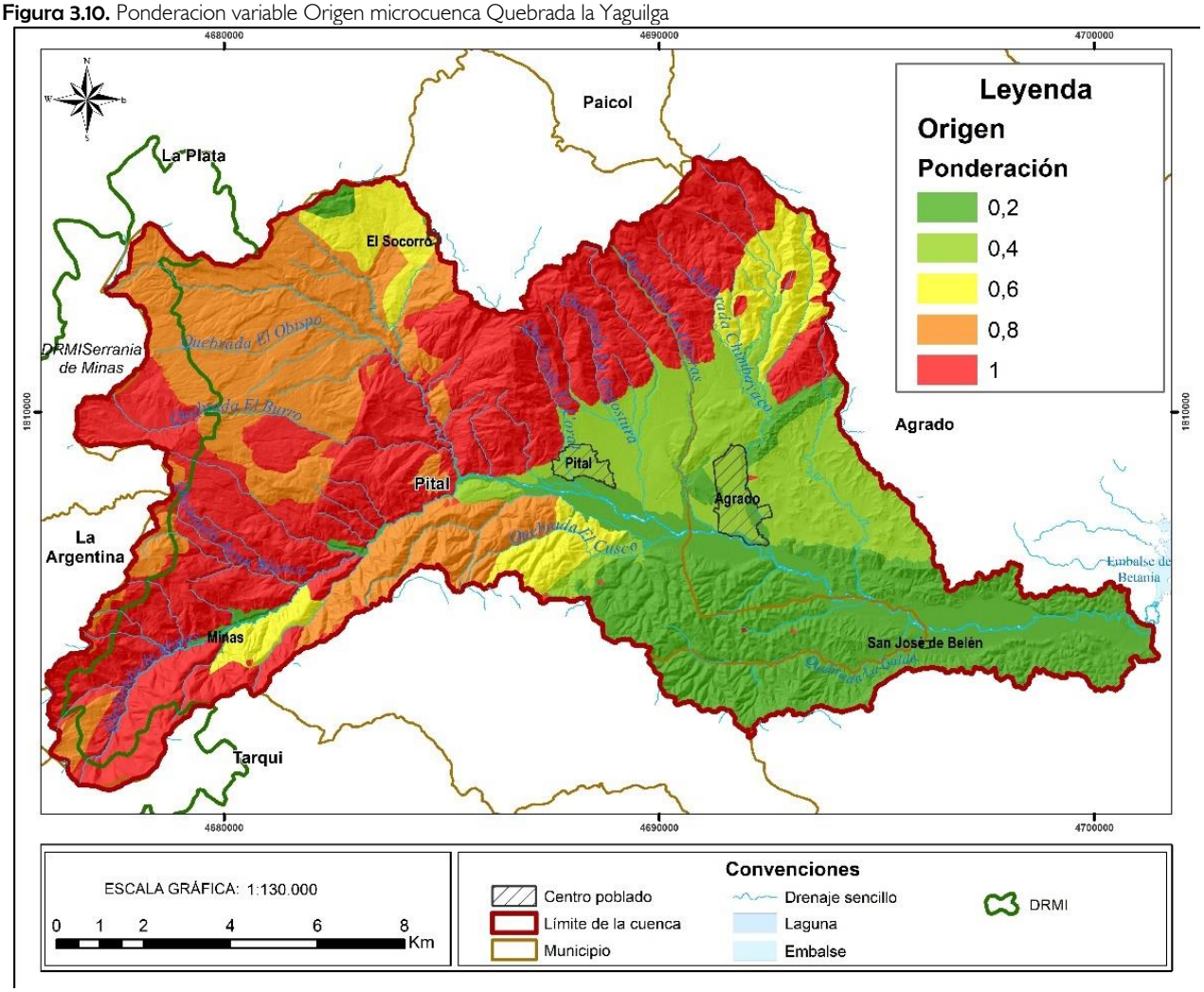
Figura 3.9. Calificación de la variable Espesor microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

- Origen: Hace referencia al origen y composición de los depósitos de suelo de la zona de estudio. Se considera desde el punto de vista del comportamiento mecánico de los materiales de superficie. Considera su composición y origen directamente relacionados con las propiedades de resistencia y deformación de los mismos (suelos residuales, transportados, entre otros). Es una variable cualitativa obtenida de forma manual representada mediante una cobertura vectorial de polígonos en SIG (Protocolo GR, 2014).
-

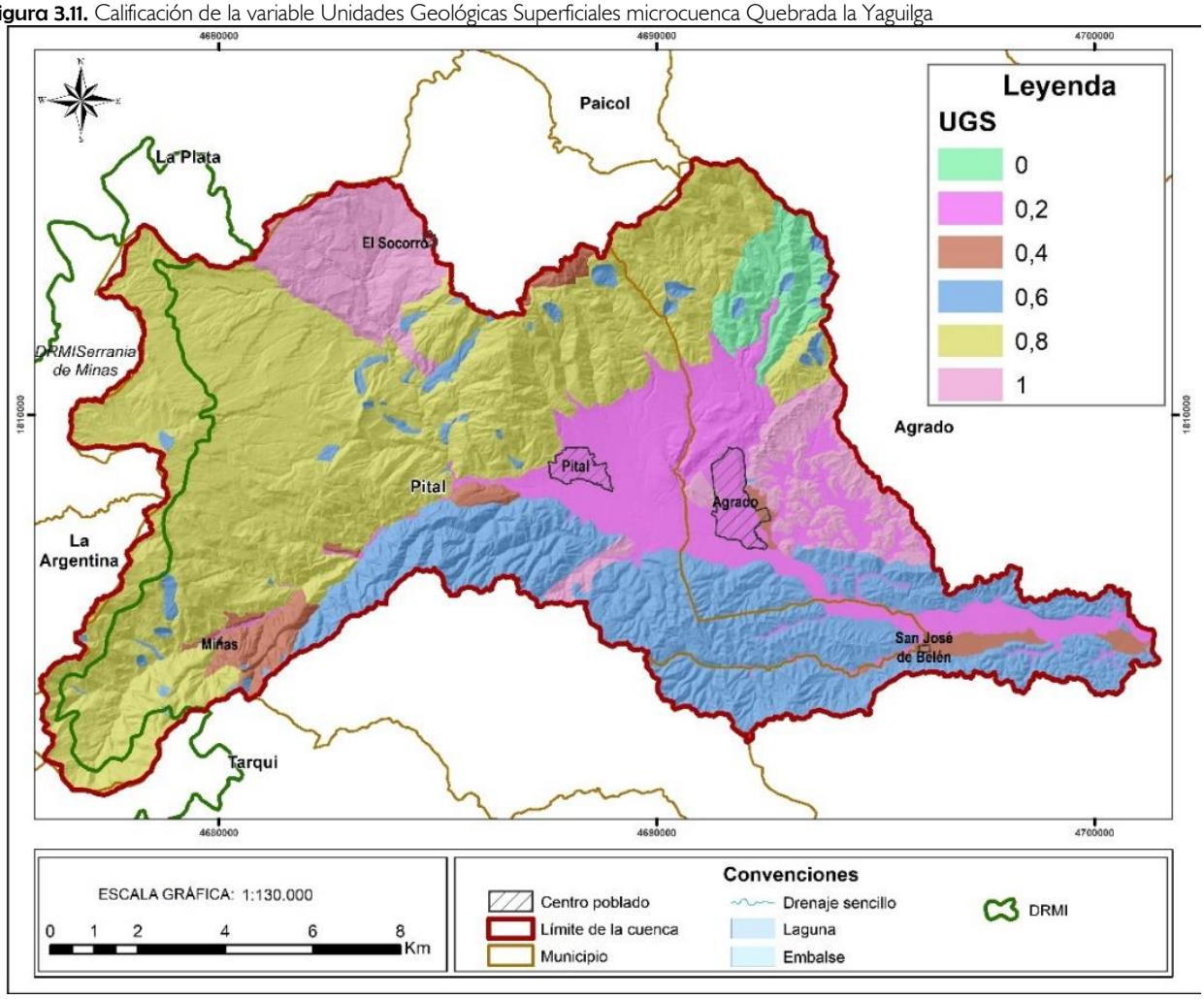
Figura 3.10. Ponderacion variable Origen microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

- Unidades Geológicas Superficiales: La variación del tipo de material del área de estudio influye en la generación de movimientos en masa ya que la inestabilidad de las laderas depende de sus propiedades geomecánicas. La información de UGS define la presencia o ausencia y profundidad de un depósito de suelo, típicamente se define con valores cercanos a 0 para los materiales que presentan mayor estabilidad y cercanos a 1 para celdas donde se evidencia algún nivel de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.

Figura 3.11. Calificación de la variable Unidades Geológicas Superficiales microcuenca Quebrada la Yaguilga



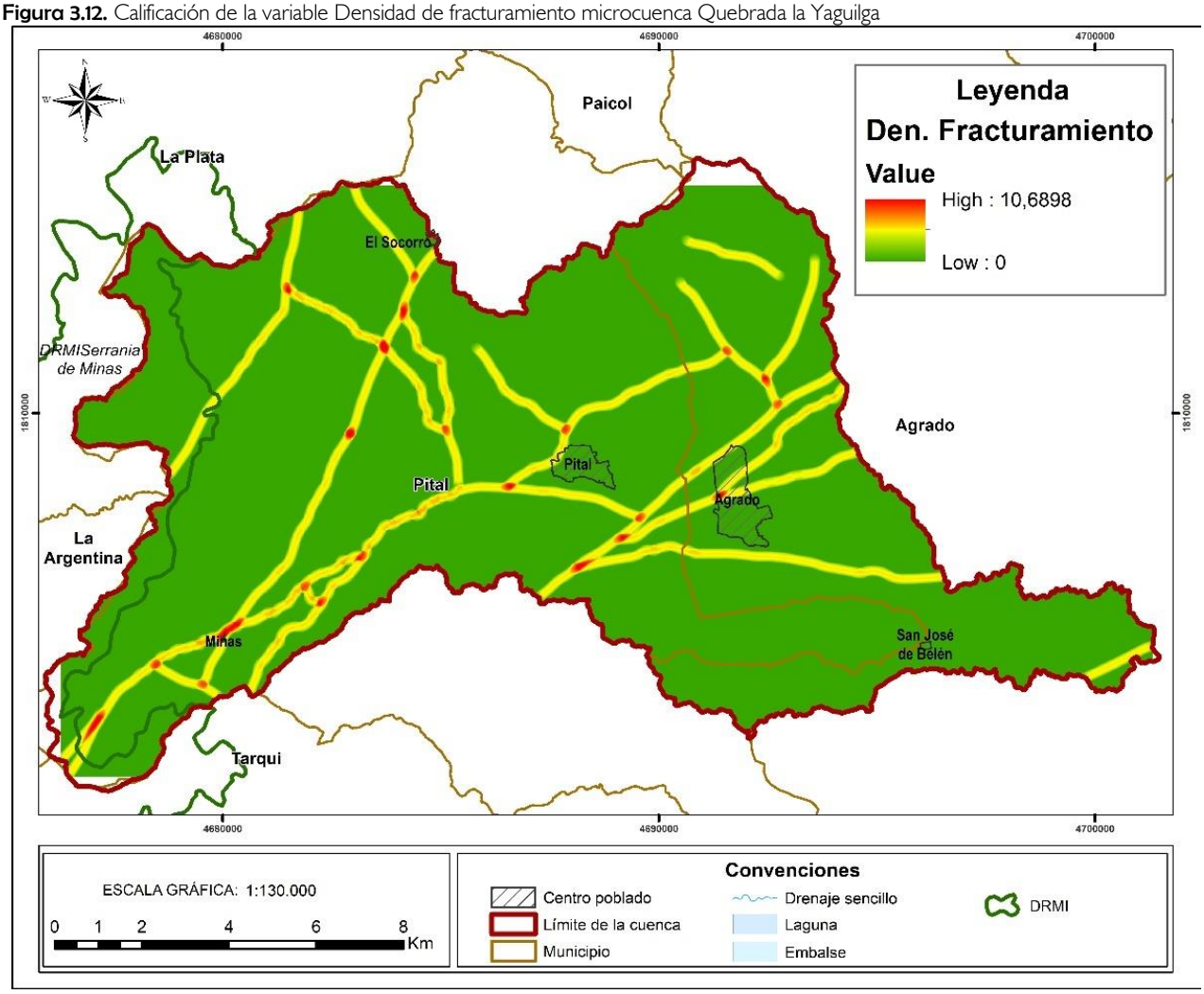
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

- Densidad de Fracturamiento: La condición y estado de fracturamiento de las rocas se asocia particularmente a las zonas de mayor deformación tectónica, que corresponde a las fallas geológicas y plegamientos de las rocas sedimentarias. En el caso de las fallas geológicas es de esperar que la deformación y el fracturamiento se intensifiquen con las tasas de desplazamiento de las fallas, mientras en el caso de los pliegues el mayor fracturamiento se concentra en las crestas donde predominen las rocas frágiles (SGC, 2012).

Es una variable semicuantitativa, contenida en el mapa geológico básico (estructuras geológicas); la cual se representa en una cobertura vectorial de polígonos en SIG; sobre ésta, se definió una estandarización de la intensidad en 3 grupos principales, alta, media y baja; utilizando una metodología de densidad de líneas en el software ArcGis, empleando la categorización de intervalos naturales para la consecución de un resultado de la densidad de fracturamiento donde los valores cercanos a 1 corresponden a zonas con alto

grado de fracturamiento y los valores cercanos a 0 a sectores con baja incidencia de fracturamiento. Se tomaron en cuenta todas las fallas presentes sin valores de calificación para los distintos tipos de fallas.

Figura 3.12. Calificación de la variable Densidad de fracturamiento microcuenca Quebrada la Yaguilga



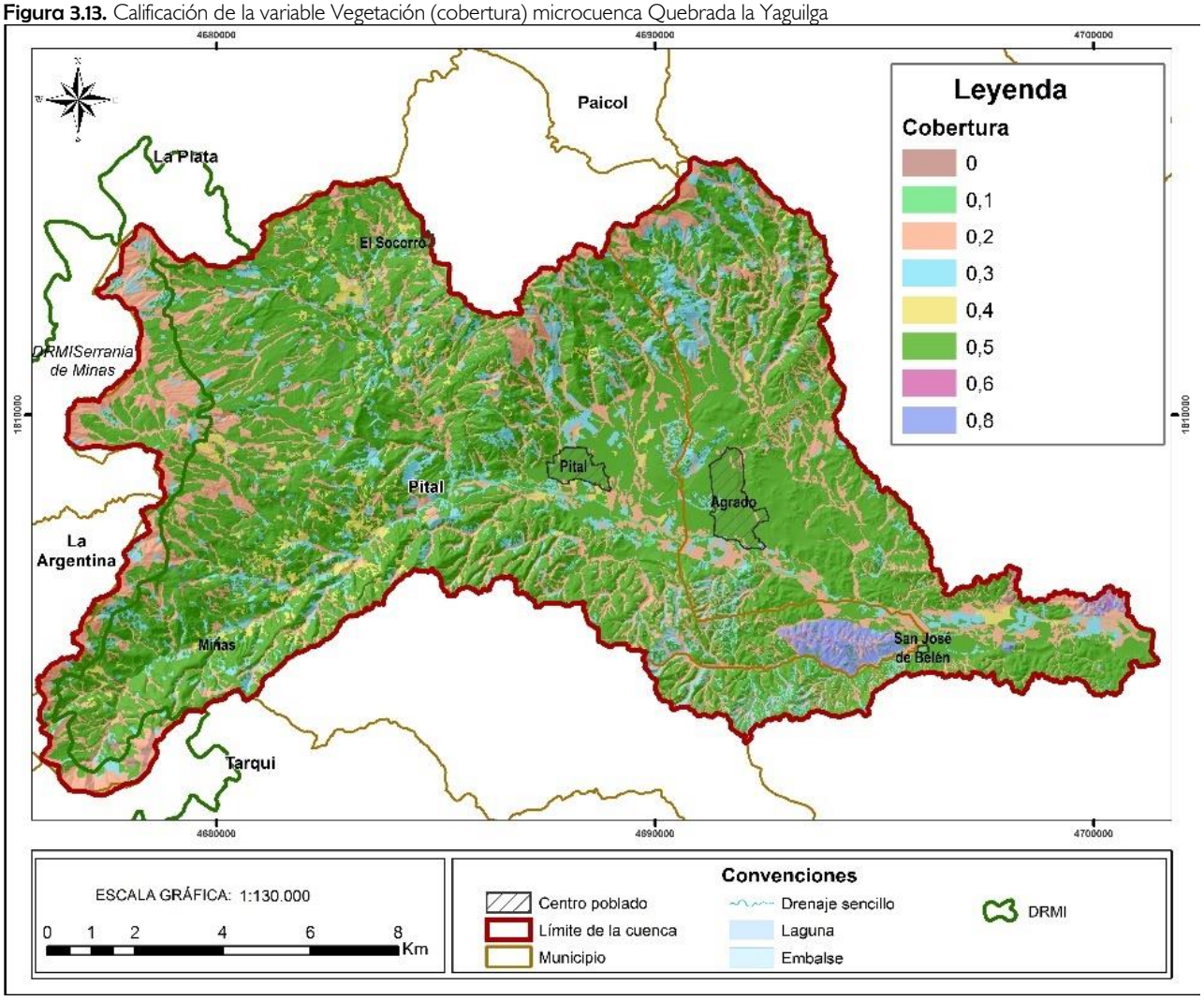
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

- **Vegetación:** La cobertura vegetal y su densidad influyen en la estabilidad de la formación superficial, de acuerdo con la acción de dos mecanismos: hidrológicos y mecánicos. Los hidrológicos comprenden la capacidad de infiltración en el suelo, la humedad, la evapotranspiración, entre otros; mientras que los mecánicos generan aumento de resistencia de las raíces y protección frente a la erosión (Geenway, 1997; Mulder, 1991).

Dado lo anterior, es importante incluir la cobertura vegetal, como un parámetro dentro del modelo de susceptibilidad a movimientos en masa; convirtiéndose, en una variable cualitativa, agrupada en ocho (8)

categorías según la relación entre tipo/densidad de vegetación y estabilidad de la ladera. Estas categorías serán ponderadas numéricamente para el tratamiento estadístico.

Figura 3.13. Calificación de la variable Vegetación (cobertura) microcuenca Quebrada la Yaguilga

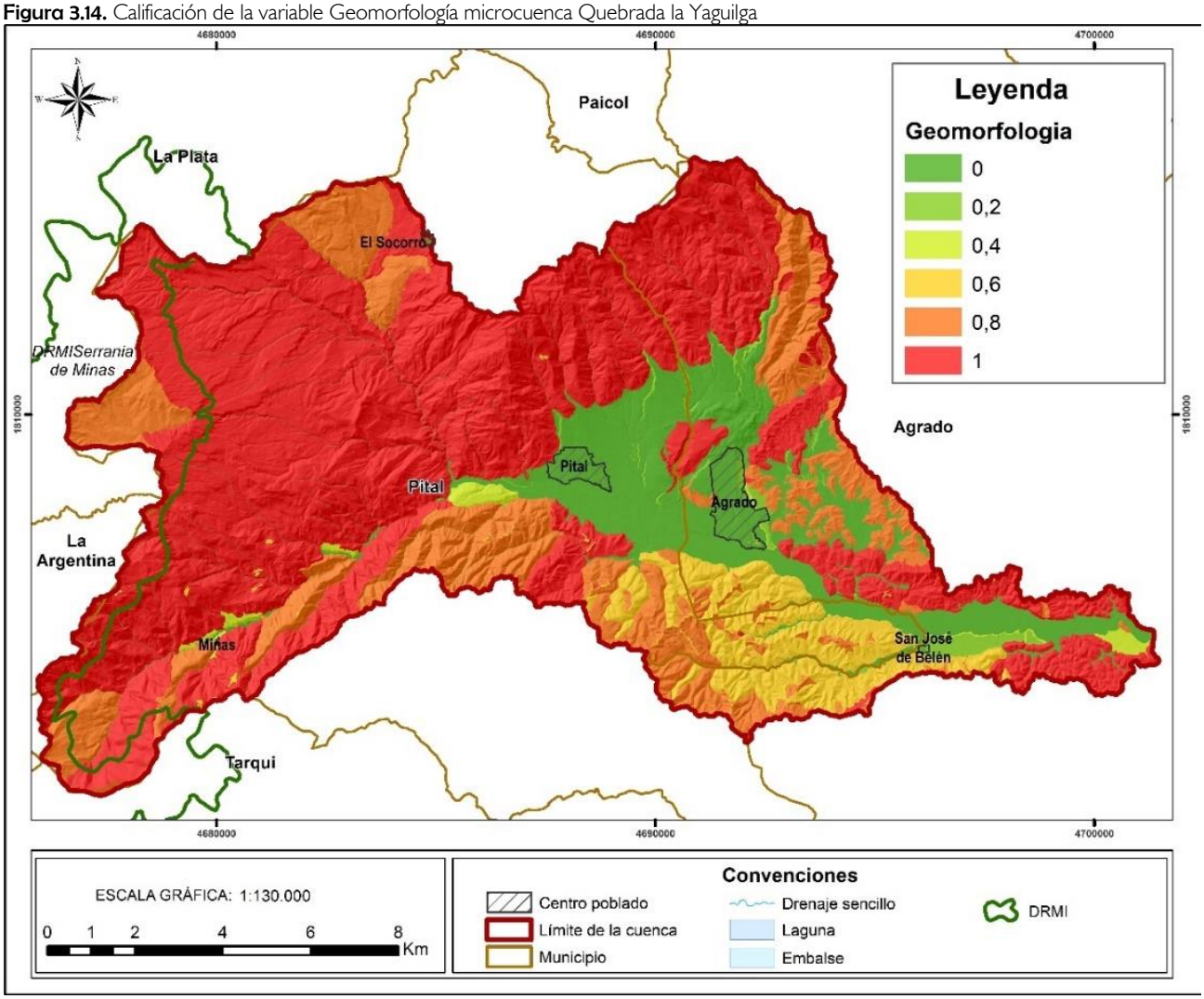


Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

- Geomorfología: Los sistemas morfogénicos explican el origen de la gran variedad de geoformas existentes en el territorio nacional; cada sistema morfogénico refleja la reunión de variables litológicas, topográficas, bioclimáticas, cobertura vegetal y uso, y cada unidad tiene una dinámica y evolución particulares (IDEAM, 2012). Para el presente análisis, la geomorfología aporta información sobre la probabilidad de ocurrencia de los movimientos en masa, de acuerdo con la caracterización de los procesos morfodinámicos que actúan en las subunidades identificadas. En una variable cualitativa, agrupada en cuatro (6) categorías; las cuales, serán ponderadas numéricamente para el tratamiento estadístico.

Las categorías de susceptibilidad por geomorfología, se obtuvieron del análisis de las unidades definidas por la metodología de Carvajal (2011), que mostraron procesos morfodinámicos relacionados a movimientos en masa y condiciones morfológicas que facilitan la ocurrencia de este tipo de eventos; clasificando como de alta susceptibilidad, aquellas unidades que presentan mayor cantidad de procesos, hasta la categoría nula, que es aquella en la que no se identificaron procesos de este tipo.

Figura 3.14. Calificación de la variable Geomorfología microcuenca Quebrada la Yaguilga



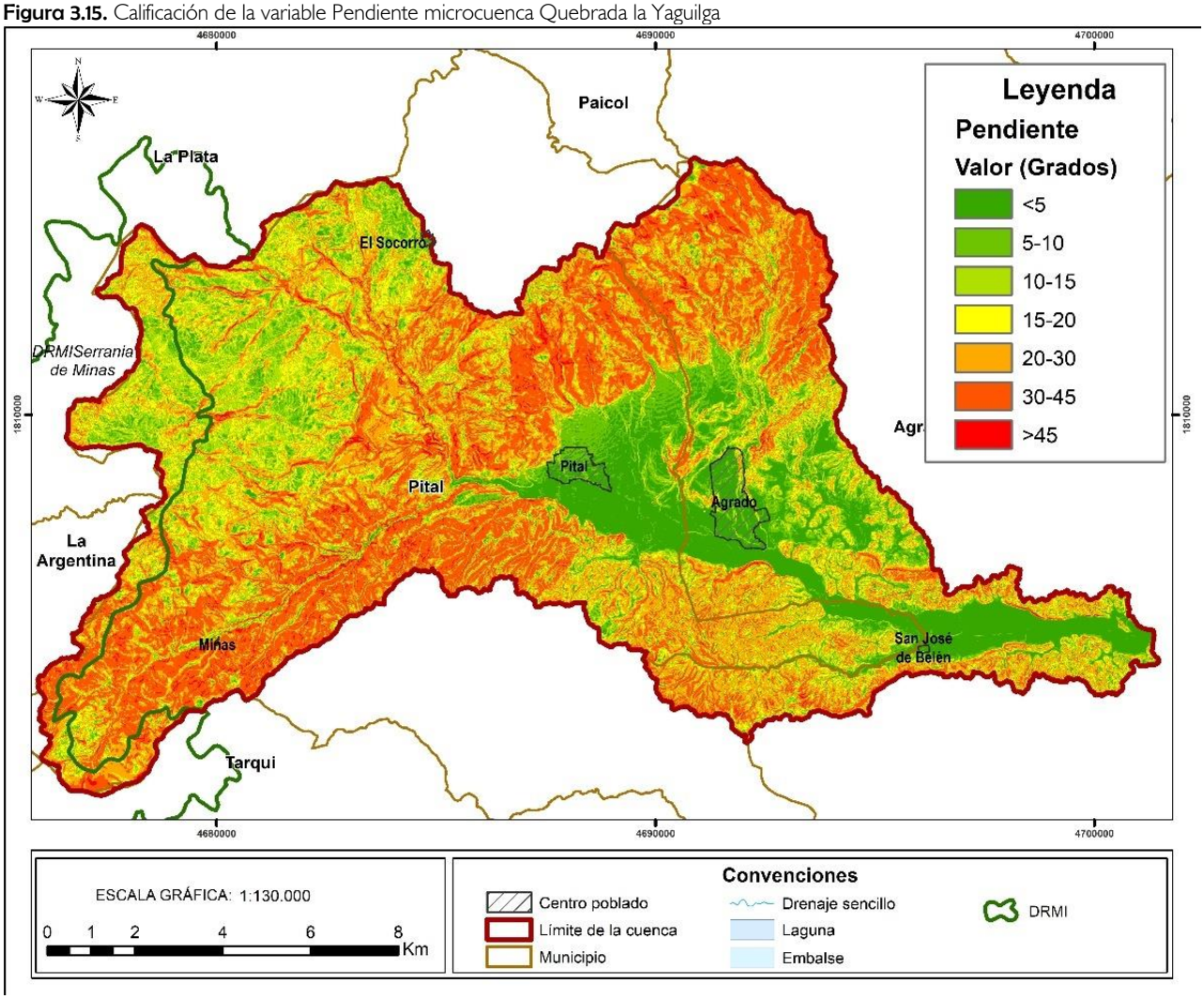
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

- Pendiente: Uno de los principales parámetros relacionados con los movimientos en masa, es la pendiente del terreno; dado que, el agente de transporte en este tipo de eventos es la gravedad. De ahí se deduce que los movimientos en masa se producen en taludes y superficies con pendientes pronunciadas.

La pendiente se concibe como una forma de medir el grado de inclinación del terreno, calculando el cambio vertical en altitud entre la distancia horizontal (Chrisman, 1997). Es una variable geométrica cuantitativa de orden continuo, derivada del Modelo Digital del Terreno y expresado en grados entre 0 ° y 90 °.

Para propósitos de este estudio, la pendiente del área de análisis fue agrupada en rangos con valores entre 0 y 1, donde 0 corresponde a las celdas con estabilidad y 1 cuando se presenta mayor pendiente a partir de los rangos establecidos por el SGC y la visualización espacial.

Figura 3.15. Calificación de la variable Pendiente microcuenca Quebrada la Yaguilga

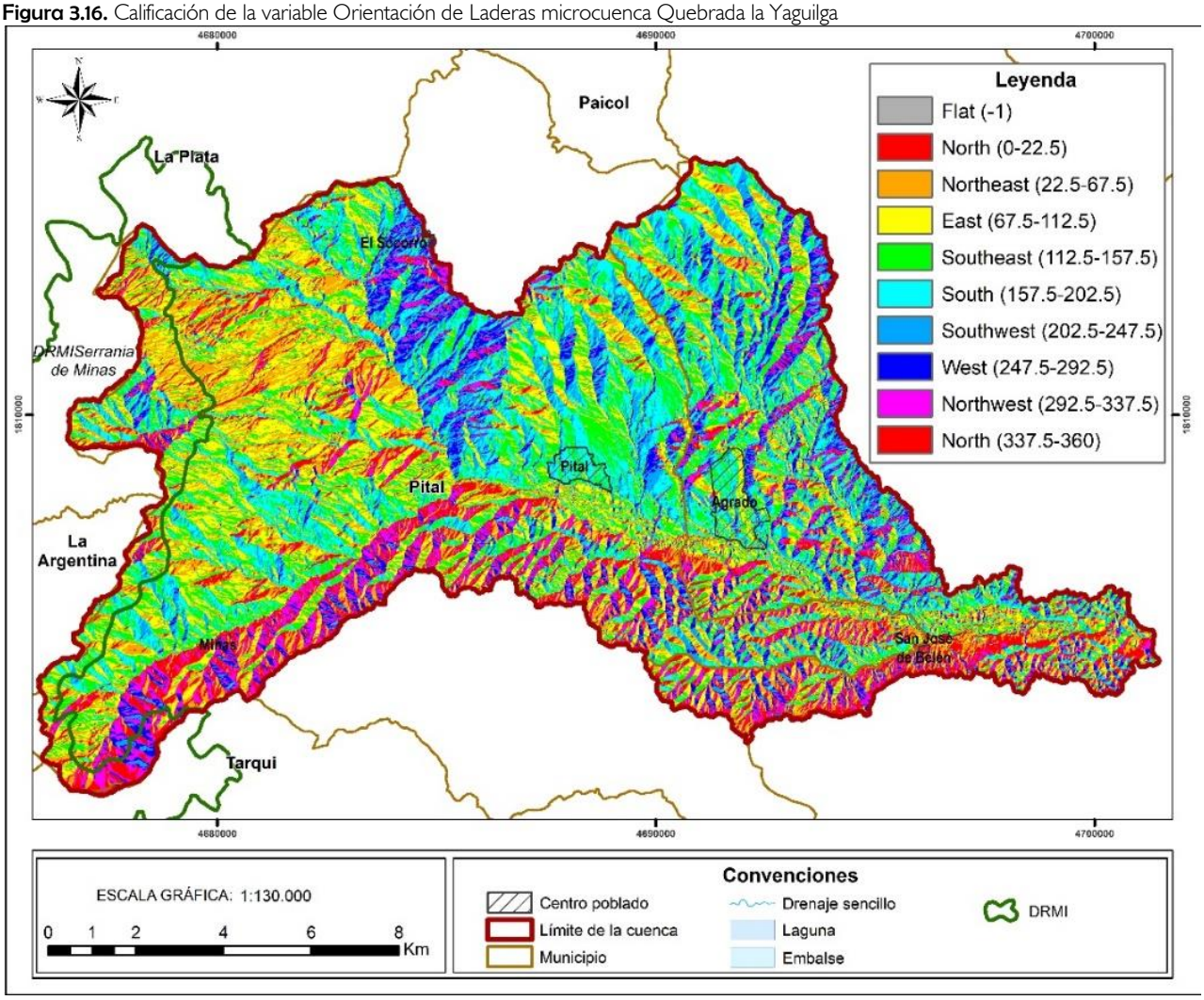


Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

- Orientación de las laderas: La orientación en un punto puede definirse como el ángulo existente entre el vector que señala el Norte y la proyección sobre el plano horizontal del vector normal a la superficie en ese punto. Como en el caso de la pendiente, el valor de orientación se estima

directamente a partir de los parámetros obtenidos de ajustar una superficie cuadrática a los nueve valores de la celdilla central y su entorno (Wood, 1996).

Figura 3.16. Calificación de la variable Orientación de Laderas microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Es una variable cuantitativa continua, derivada del DEM, con un rango de valores de 1° a 360°, aunque también se puede encontrar un valor de -1° para aquellas celdas de pendiente 0°. Este parámetro indica de manera indirecta si una ladera se encuentra húmeda o seca con mayor frecuencia (por asociación con la insolación); así como, puede influir en la cantidad de lluvia recibida, según la dirección de avance de los frentes nubosos, esta variable se llevó a un proceso de normalización para su relación en el análisis estadístico.

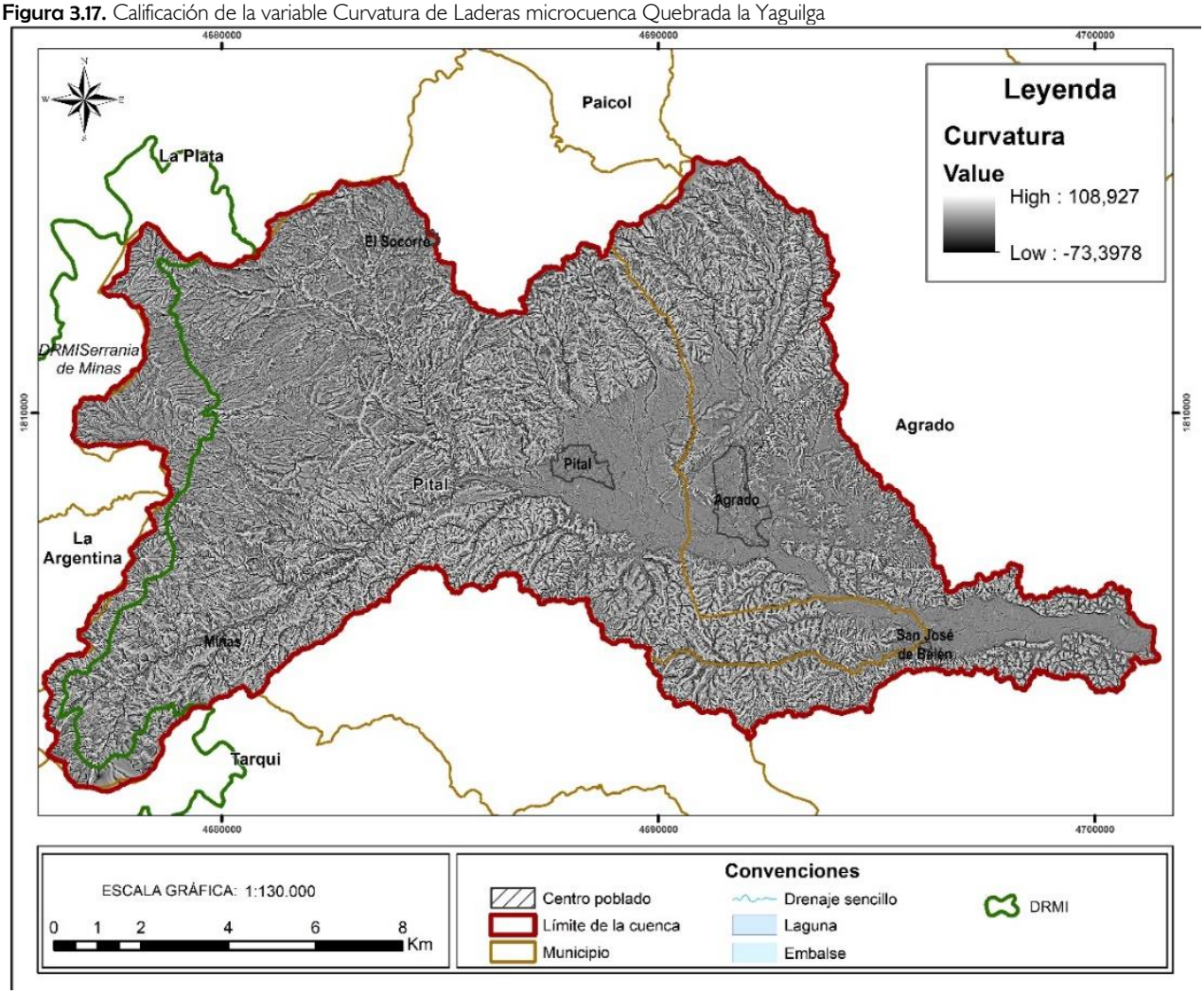
- Curvatura de las laderas: La curvatura es la tasa de cambio en la pendiente, depende de las derivadas de segundo grado de la altitud, es decir, de los cambios de pendiente en el entorno del

punto. A efectos prácticos puede calcularse como la pendiente de la pendiente. La curvatura tiene especial interés como variable influyente en fenómenos como la escorrentía superficial, canalización de aludes, erosión y flujos en general (Wood, 1996). La variable se deriva del DEM, siendo cuantitativa continua, con un rango de valores que oscila entre -39 y 39 unidades. El valor 0 en una celda corresponde a una superficie plana formada entre la celda en cuestión y ocho celdas vecinas, valores positivos indican que la superficie es convexa y valores negativos indican concavidad hacia la celda (Cesca, et al).

Esta variable se asocia con los movimientos en masa, ya que en las zonas cóncavas el flujo de agua se concentra favoreciendo la aparición de deslizamientos superficiales. Algunos estudios sugieren que los movimientos en masa ocurren principalmente en convergencias topográficas dónde se concentra el flujo subterráneo (Baeza, 1994).

En el presente análisis, la variable curvatura fue agrupada en 5 categorías, mediante una distribución de frecuencias a través del método de cuartiles y se llevó a un proceso de normalización de acuerdo a la incidencia en la generación de movimientos en masa.

Figura 3.17. Calificación de la variable Curvatura de Laderas microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

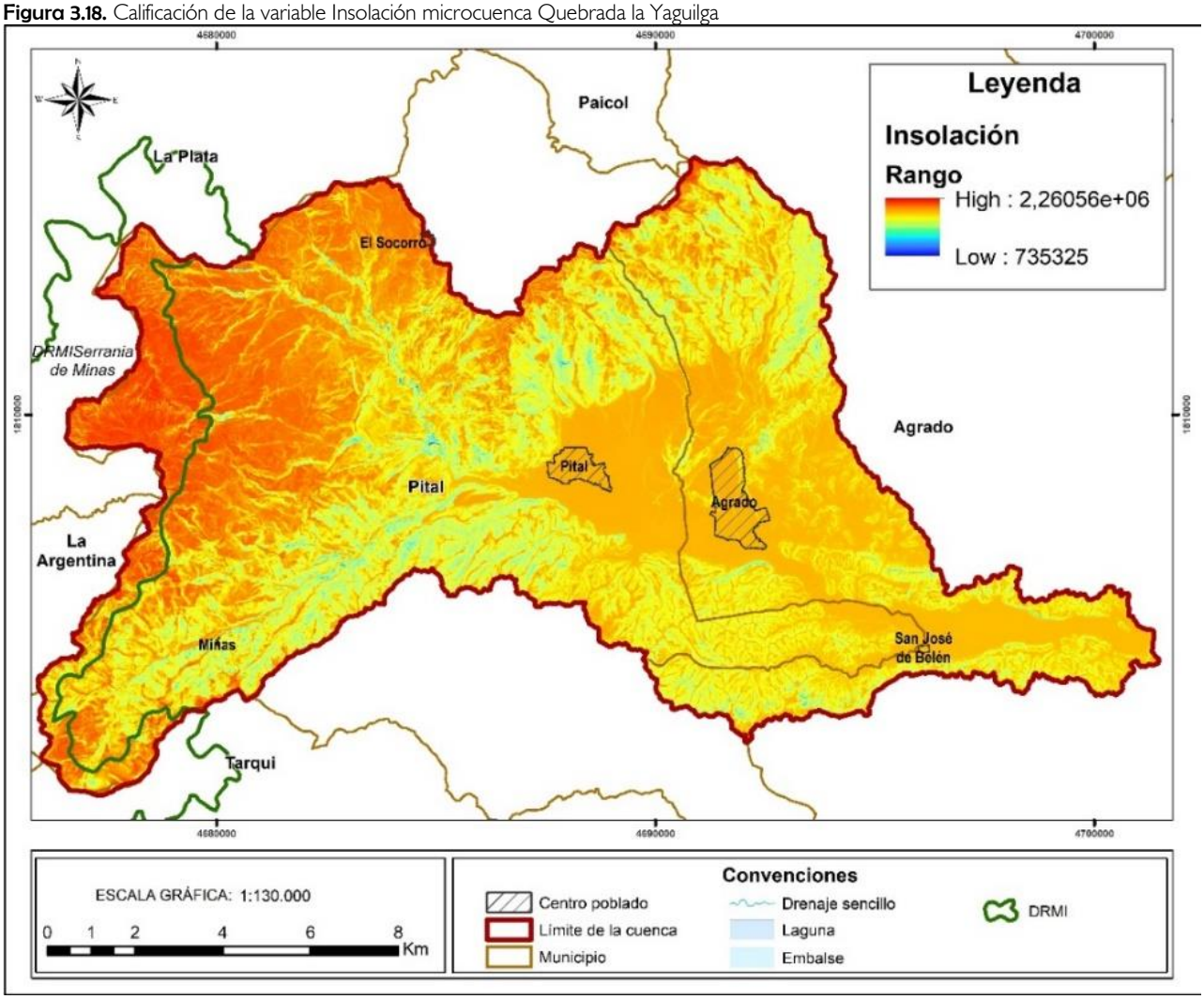
- Insolación: La insolación es la cantidad de energía en forma de radiación solar que alcanza un lugar en un intervalo de tiempo definido (Incoming Solar Radiation), tiene incidencia en el tiempo de las zonas que se encuentra al sol o en la sombra.

Se conoce como radiación directa, la que se recibe directamente del Sol, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica; la radiación difusa es la que se recibe del sol, después de ser desviada por dispersión atmosférica; es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. Por otro lado, se conoce como radiación terrestre la que proviene de objetos terrestres, por ejemplo, la que refleja el agua. Se conoce como radiación total, la suma de las radiaciones directa, difusa y terrestre que se reciben sobre una superficie. Cuando se mide la radiación total sobre una superficie

plana, puede considerarse que no existe radiación terrestre y se conoce como radiación global. Por tanto, la radiación global es la suma de la directa más la difusa (INGEOMINAS, 2009).

A la energía de la radiación solar que se recibe en una superficie determinada en un instante dado se le conoce como irradiancia y se mide en unidades de Watt / m2. La insolación corresponde a la integración de la irradiancia en un tiempo determinado. Este término tiene unidades de energía por área, comúnmente Watts - hora por metro cuadrado (W-h / m2). La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora de energía equivale a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de 1000 W / m2 (INGEOMINAS, 2009). Esta variable fue normalizada para su procesamiento en el análisis estadístico.

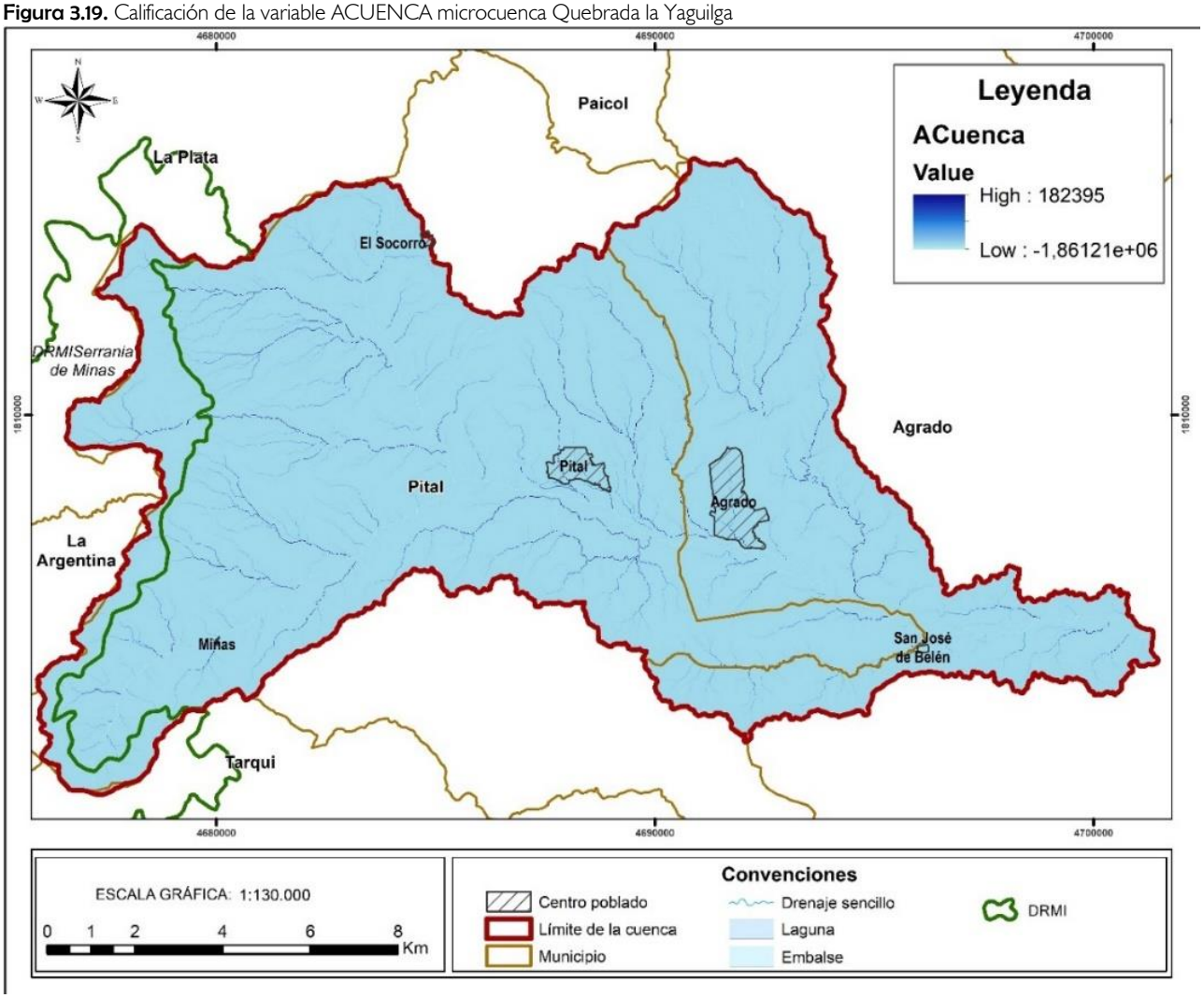
Figura 3.18. Calificación de la variable Insolación microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

- Variable área de la cuenca acumulada (ACUENCA): Corresponde a la superficie de la cuenca aguas arriba de la celda. El área de la cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en el terreno. A mayor superficie acumulada más agua captada para escorrentía e infiltración. Se obtiene a partir de la dirección del flujo, el cual permite posteriormente calcular la acumulación por cada celda del DEM. Debido a que sus valores varían entre 0 y 1, donde 1 hace referencia a las zonas de mayor acumulación de agua y 0 las zonas de menor acumulación de agua.

Figura 3.19. Calificación de la variable ACUENCA microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

- Distancia a Drenaje: Corresponde a la distancia desde la celda hasta el cauce de tipo permanente más cercano. Es una variable cuantitativa de tipo continuo, derivada de la cartografía base, la cual, permite analizar indirectamente la incidencia del recurso hídrico en la generación de movimientos

en masa; puesto que, a mayor acumulación de agua, existe mayor probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

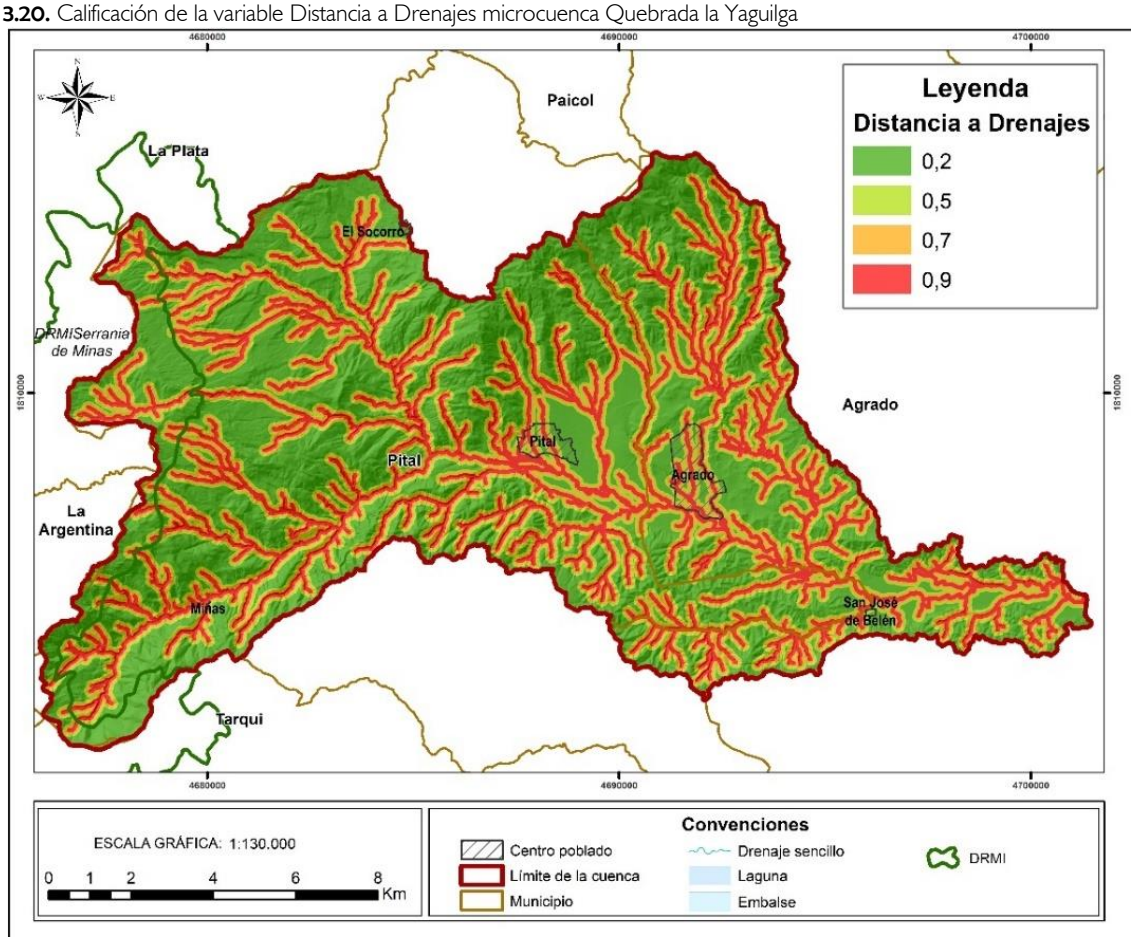
Para la visualización, la variable distancia a drenaje fue agrupada en 4 categorías subjetivas de acuerdo con las observaciones de campo, donde se pudo observar la susceptibilidad a movimientos en masa, dependiendo de la distancia entre un punto de la cuenca y el drenaje más próximo, como se observa en la Tabla 3.4 La salida cartográfica de esta variable, se presenta en la

Tabla 3.4. Categorías de la variable Distancia a Drenajes

RANGO (m)	CUALIFICACIÓN DISTANCIA A DRENES
0 - 50	0,9
50 - 100	0,7
100 - 150	0,5
>150	0,2

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.20. Calificación de la variable Distancia a Drenajes microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

- Distancia a vías: Corresponde a la distancia desde la celda hasta la vía primaria y/o secundaria más cercana. Es una variable cuantitativa de tipo continuo, derivada de la cartografía base, la cual, permite analizar indirectamente la incidencia de los cortes viales en la generación de movimientos en masa. Es de esperar que, a menor distancia, mayor sea la susceptibilidad del terreno de producir roturas.

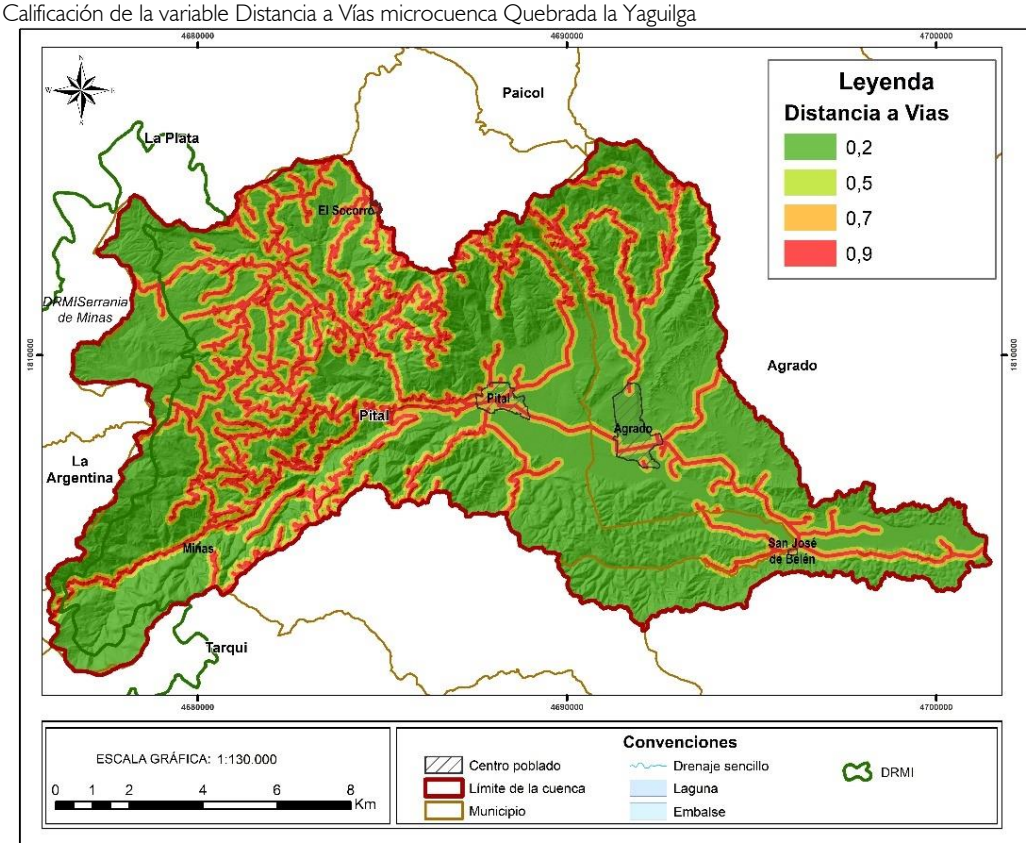
Para propósitos de la visualización, la variable distancia a vías fue agrupada en tres categorías, de acuerdo a la Tabla 3.5, las cuales son el resultado del análisis de la cartografía base. La visualización espacial de esta variable se presenta en la

Tabla 3.5. Categorías de la variable Distancia a Vías

RANGO (m)	CUALIFICACIÓN DISTANCIA A VÍAS
0 - 50	0,9
50 - 100	0,7
100 - 150	0,5
>150	0,2

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

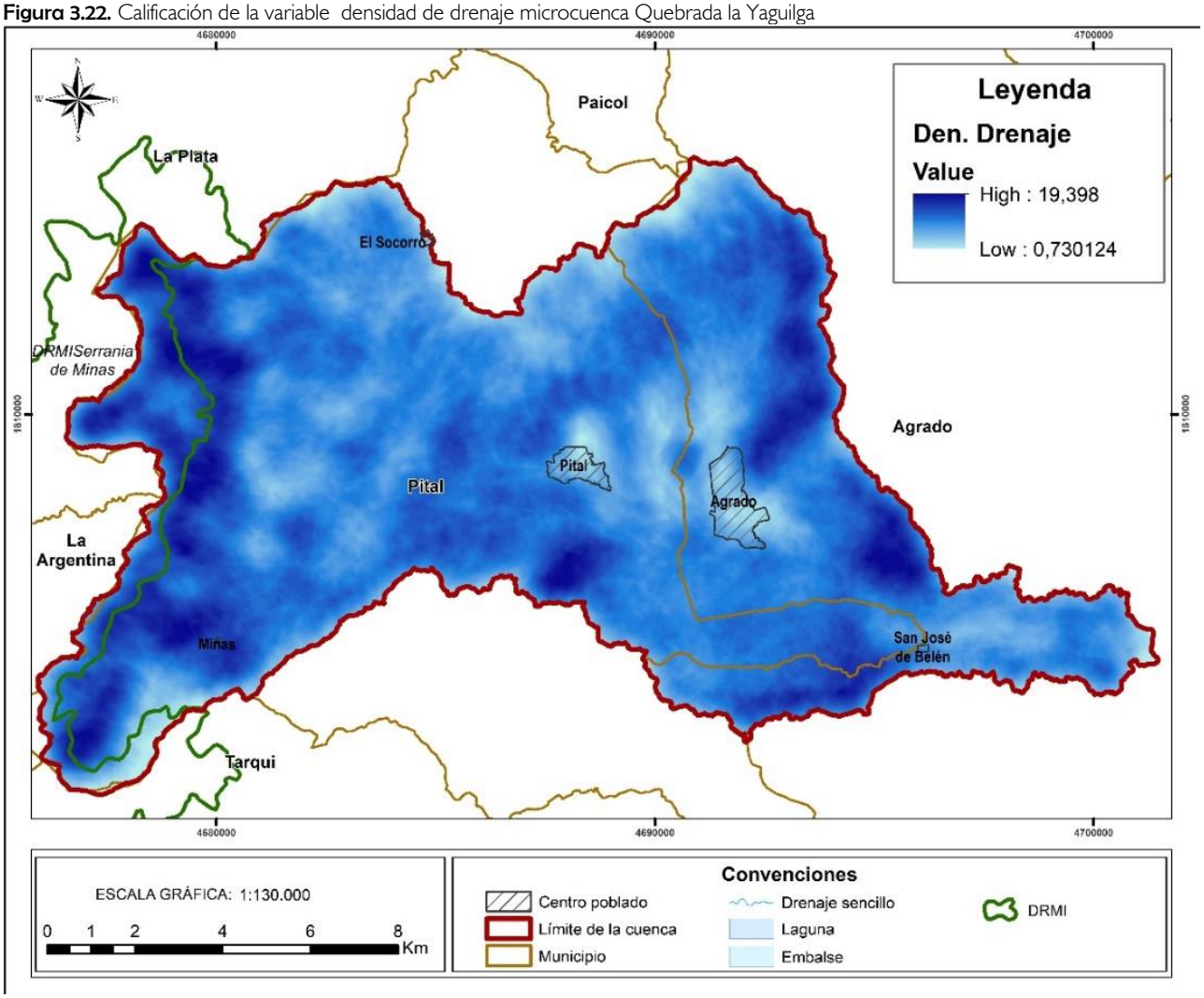
Figura 3.21. Calificación de la variable Distancia a Vías microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

- Densidad de drenaje: Esta variable define el grado de disección de una ladera por unidad de área, presentando zonas de mayor o menor susceptibilidad a los movimientos en masa; siendo las áreas de mayor densidad de drenaje las más susceptibles a la ocurrencia de este tipo de eventos. Es una variable cuantitativa continúa, generada a partir de la cartografía base, escala 1:10.000, cuyo indicador se define en cantidad de drenajes de primer orden por unidad de área en hectáreas.

Figura 3.22. Calificación de la variable densidad de drenaje microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

3.1.3.4. *Análisis estadístico y SIG*

A partir de los eventos reportados y la determinación de las zonas inestables dentro del modelo establecido, se procede a la obtención de la malla dentro del análisis de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa.

El inventario de los movimientos en masa activos identificados en el territorio objeto de ordenación, se llevó a cabo mediante el diligenciamiento de un formato de campo (Ver Anexo 04. Inventario Movimientos en Masa), el cual incluye las principales características de cada uno de los procesos. Dicha información, se compiló con los datos provenientes del SIMMA y los procesos morfodinámicos, reconocidos mediante la interpretación de imágenes satelitales, estableciendo así, las zonas inestables que harán parte del análisis estadístico.

Con ayuda de la herramienta ET GeoWizards (Sampling/ Create point grid) de ArcGis, se generó una malla en toda la superficie de la cuenca, conformada por 770 celdas; de las cuales, 385 reportaban procesos de inestabilidad. A partir de estos datos y conforme con los lineamientos descritos en el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCAS, se estableció el tamaño de la muestra de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N-1)) + k^2 * p * q}$$

Donde:

- *N: es el tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados).*
- *k: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos:*
- *e: es el error muestral deseado. El error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que obtenemos preguntando a una muestra de la población y el que obtendríamos si preguntáramos al total de ella.*
- *p: es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que p=q=0.5 que es la opción más segura.*
- *q: es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es 1 -p. n: es el tamaño de la muestra (número de encuestas que vamos a hacer).*

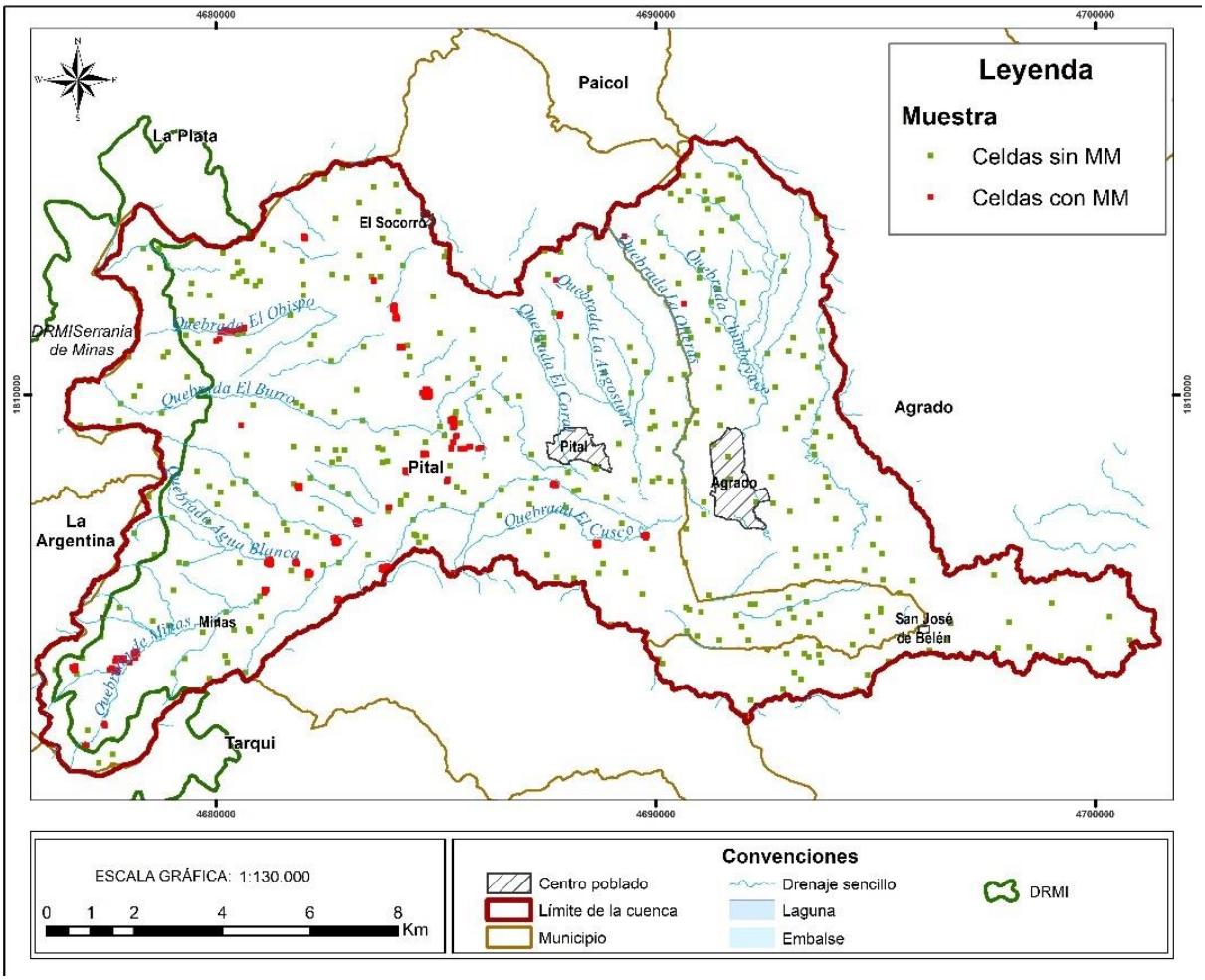
Para realizar la extracción de la muestra cada pixel deberá tener un identificador único de tal forma que el método utilizado extraiga uno a uno los individuos, según los porcentajes propuestos.

Mediante la herramienta SIG se convierten los pixeles en puntos que tienen un identificador único, de esta forma se tienen poblaciones con individuos completamente independientes.

Una vez hecho esto se, se divide de aleatoria la población en dos grupos, la muestra y el residuo aplicando un porcentaje de extracción, con el uso de herramientas estadísticas en el software SIG utilizado.

Debido a que el tamaño de la muestra es muy pequeño y no representa de manera adecuada el comportamiento de la microcuenca Quebrada la Yaguilga, se decide emplear todas las celdas inestables en el análisis estadístico. Para crear una muestra aleatoria de celdas estables con un número similar a las celdas inestables, se seleccionan las celdas y se crea una malla regular aleatoria utilizando la función Create Random Points del software ArcGis; obteniendo finalmente una muestra de 770 celdas, compuesta por 385 celdas inestables y 385 celdas estables.

Figura 3.23. Selección de la muestra



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Una vez obtenida la muestra, se procede a caracterizar las celdas seleccionadas de acuerdo con las variables definidas anteriormente, para lo cual se emplea la herramienta Zonal Stadistics as Table del software ArcGis; posteriormente los datos son exportados a un archivo de Excel y son trasladados al software IBM SPSS para ejecutar el análisis estadístico.

Se realiza el ajuste a una distribución normal de las variables temáticas por el test Kolmogorov – Smirnov (KS) a partir de la muestra seleccionada obteniendo los resultados como se muestra en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Roca_Suelo	Espesor	Origen	UGS	Fractura	Coberturas	Geomorf	MM	Pend	Orienta	Curva	Insolar	ACuenca	DenDrenaje	Dist_Drenajes	Dist_Vias
N		764	764	764	764	765	765	764	765	765	765	765	765	765	765	764	764
Parámetros normales[a,b]	Media	,12	,06	,77	,72	1,25	,44	,87	,50	4,71	4,63	3,41	3,09	,00	2,47	,52	,57
	Desviación estándar	,323	,175	,284	,202	,437	,140	,265	,500	1,560	2,185	1,492	1,240	,063	,545	,289	,319
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,525	,522	,284	,336	,470	,384	,376	,344	,240	,132	,213	,188	,521	,328	,260	,274
	Positivo	,525	,522	,207	,241	,470	,296	,310	,339	,155	,132	,152	,151	,521	,313	,260	,274
	Negativo	-,357	-,360	-,284	-,336	-,287	-,384	-,376	-,344	-,240	-,097	-,213	-,188	-,475	-,328	-,181	-,263
Estadístico de prueba		,525	,522	,284	,336	,470	,384	,376	,344	,240	,132	,213	,188	,521	,328	,260	,274
Sig. asintótica (bilateral)		,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]

a. La distribución de prueba es normal.
b. Se calcula a partir de datos.
c. Corrección de significación de Lilliefors.

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Las variables evaluadas presentan una distribución alejada de la normal, debido a que el nivel de significancia se encuentra por debajo de 0,05; por lo cual, se procede transformar las variables mediante diferentes modelos de distribución (Box – Cox, Log10 y Johnson). Estos modelos, no presentan mejoras en los niveles de significancia reportados por el test Kolmogorov - Smirnov, por lo que se continua el proceso con los datos originales.

Una vez se ha comprobado la normalidad de las variables, se verifica la independencia de las mismas, mediante el Análisis Factorial de Componentes Principales; el cual, se aplicó sobre las 15 variables. En la Tabla 3.7, se presenta los valores de correlación entre las temáticas evaluadas.

Tabla 3.7. Análisis factorial de componentes principales en la Matriz de correlaciones[a,b,c]

		Roca - Suelo	Espesor	Origen	UGS	Fractura	Coberturas	Geomorfología	Pendiente	Orientación	Curva	Insolación	ACuenca	Densidad Drenaje	Distancia Drenajes	Distancia Vías
Correlación	Roca_Suelo	1,000	1,000	,134	-,429	,246	,380	,047	,100	-,230	-,061	-,112	-,013	,145	,233	-,360
	Espesor	1,000	1,000	,134	-,429	,246	,380	,047	,100	-,230	-,061	-,112	-,013	,145	,233	-,360
	Origen	,134	,134	1,000	-,070	-,122	,177	,469	,381	,131	-,020	-,279	,036	,153	-,033	-,072
	UGS	-,429	-,429	-,070	1,000	,016	-,256	,162	-,091	,091	,002	,099	,007	,064	,032	,229
	Fracturamiento	,246	,246	-,122	,016	1,000	,053	-,076	,043	,049	,009	-,120	,065	-,024	,510	-,250
	Coberturas	,380	,380	,177	-,256	,053	1,000	-,050	,332	-,049	-,005	-,249	-,098	,004	-,123	-,135
	Geomorfología	,047	,047	,469	,162	-,076	-,050	1,000	,049	,003	,017	,020	,023	,153	,086	,140
	Pendiente MM	,100	,100	,381	-,091	,043	,332	,049	1,000	,136	-,073	-,831	-,011	-,004	-,132	,084
	Orientacion MM	-,230	-,230	,131	,091	,049	-,049	,003	,136	1,000	-,031	-,191	,028	-,223	-,148	,117
	Curvatura MM	-,061	-,061	-,020	,002	,009	-,005	,017	-,073	-,031	1,000	,136	-,075	-,068	,024	,077
	Insolacion MM	-,112	-,112	-,279	,099	-,120	-,249	,020	-,831	-,191	,136	1,000	-,031	-,013	,023	-,004
	ACuencaMM	-,013	-,013	,036	,007	,065	-,098	,023	-,011	,028	-,075	-,031	1,000	,048	,062	-,047
	DenDrenaje_MM	,145	,145	,153	,064	-,024	,004	,153	-,004	-,223	-,068	-,013	,048	1,000	,165	-,097
	Dist_Drenajes	,233	,233	-,033	,032	,510	-,123	,086	-,132	-,148	,024	,023	,062	,165	1,000	-,349
	Dist_Vias	-,360	-,360	-,072	,229	-,250	-,135	,140	,084	,117	,077	-,004	-,047	-,097	-,349	1,000

a. Sólo se utilizan los casos para los cuales MM = 1 en la fase de análisis.

b. Determinante = ,000

c. Esta matriz no es cierta positiva.

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

De los resultados obtenidos en la Tabla 3.8 se determina que la varianza total de cada una de las variables explicadas por los 15 factores (comunalidades).

Tabla 3.8. Comunalidades o varianza tota de cada una de las variables

	Inicial	Extracción
Roca_Suelo	1,000	,874
Espesor	1,000	,874
Origen	1,000	,748
UGS	1,000	,591
Fracturamiento	1,000	,758
Coberturas	1,000	,519
Geomorfología	1,000	,777
PendienteMM	1,000	,880
OrientacionMM	1,000	,622
CurvaturaMM	1,000	,581
InsolacionMM	1,000	,865
ACuencaMM	1,000	,574
DenDrenaje_MM	1,000	,663
Dist_Drenajes	1,000	,762
Dist_Vias	1,000	,454

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Tabla 3.9. Matriz de componentes rotados con pesos de las variables para cada uno de los 5 factores resultantes del análisis factorial mayores a 0.40

Matriz de componente rotado[a,b]

	Componente					
	1	2	3	4	5	6
Roca_Suelo	,872	,053	,248	,113	,192	,011
Espesor	,872	,053	,248	,113	,192	,011
Origen	,151	,311	-,100	,782	-,035	-,074
UGS	-,725	-,011	,154	,113	,155	,063
Fracturamiento	,081	,133	,837	-,130	-,122	,035
Coberturas	,541	,405	-,133	-,019	,023	,207
Geomorfologia	-,088	-,067	,012	,867	,102	,052
PendienteMM	,067	,923	-,055	,133	-,050	,010
OrientacionMM	-,210	,201	,015	,147	-,706	-,133
CurvaturaMM	-,027	-,193	,090	,142	-,215	,684
InsolacionMM	-,048	-,917	-,077	-,039	,066	,097
ACuencaMM	-,012	-,104	,104	,131	-,158	-,714
DenDrenaje_MM	-,033	,059	,088	,224	,762	-,141
Dist_Drenajes	,035	-,110	,842	,082	,180	-,014
Dist_Vias	-,450	,090	-,433	,074	-,062	,217

Método de extracción: análisis de componentes principales.
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.
a. La rotación ha convergido en 6 iteraciones.
b. Sólo se utilizan los casos para los cuales MM = 1 en la fase de análisis.

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

En la matriz de componentes rotados, se verifica para cada factor, los pesos que se encuentren por encima de 0,5; obteniendo que el primer factor está representado por las variables Roca-Suelo, espesor, origen, UGS y coberturas; el segundo factor por Pendiente e insolación, el factor 3 por Fracturamiento y distancia a drenajes, el factor 4 por Origen y geomorfología, el factor 5 por Orientación y densidad de drenaje, y por último, el factor 6 se encuentra representado por Curvatura y Acuenca.

Se analiza la correlación entre las variables de cada factor, de acuerdo con los valores reportados en la Tabla 3.9; aquel conjunto de variables que presenten valores cercanos a 1, se estiman altamente dependientes, con bajo poder discriminante; hipótesis que se corroborará con el contraste de medias y varianzas. En la Tabla 3.10, se observan los coeficientes de correlación entre las variables seleccionadas.

Tabla 3.10. Relación de variables para cada factor a partir de la matriz de correlaciones

Factor	Correlación entre variables	
Factor 1	Roca_Suelo - Espesor	1
	Roca_Suelo - Origen	0,429
	Roca_suelo - Coberturas	0,380
	Espesor - UGS	0.429
	Espesor - Coberturas	0.380

	UGS - Coberturas	0.256
Factor 2	Pendiente - Insolación	-0,831
Factor 3	Fracturamiento – Dist_Drenajes	0.510
Factor 4	Origen - Geomorfología	0.469
Factor 5	Orientación – Den. Drenaje	0.223
Factor 6	Curvatura - ACuenca	0.075

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Determinada la correlación de las variables para cada factor, se realiza un análisis distributivo de las poblaciones (Celdas con presencia de movimientos en masa y sin presencia de movimientos en masa) mediante la prueba T (análisis de medias) como se muestra en la Tabla 3.11 y el análisis de la varianza ANOVA para identificar la independencia de cada variable estimada en el modelo (Tabla 3.12). Estos análisis se realizaron para todas las variables, aun sin cumplir la hipótesis de normalidad ya que no es un determinante de exclusión de las mismas a la hora de realizar la función discriminante.

Tabla 3.11. Prueba "T" para el análisis de medias en cada variable categórica – Muestras independientes

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
									95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Roca_Suelo	Se asumen varianzas iguales	129,374	,000	5,332	762	,000	,122	,023	,077	,167
	No se asumen varianzas iguales			5,312	620,165	,000	,122	,023	,077	,167
Espesor	Se asumen varianzas iguales	222,112	,000	6,532	762	,000	,081	,012	,056	,105
	No se asumen varianzas iguales			6,496	503,713	,000	,081	,012	,056	,105
Origen	Se asumen varianzas iguales	415,091	,000	-11,809	762	,000	-,224	,019	-,261	-,186
	No se asumen varianzas iguales			-11,756	568,746	,000	-,224	,019	-,261	-,186
UGS	Se asumen varianzas iguales	212,827	,000	-9,582	762	,000	-,132	,014	-,159	-,105
	No se asumen varianzas iguales			-9,533	525,855	,000	-,132	,014	-,159	-,105
Fracturamiento	Se asumen varianzas iguales	339,365	,000	-8,887	763	,000	-,267	,030	-,326	-,208

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
									95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
	No se asumen varianzas iguales			-8,917	680,111	,000	-,267	,030	-,326	-,209
Coberturas	Se asumen varianzas iguales	19,887	,000	-4,849	763	,000	-,048	,010	-,068	-,029
	No se asumen varianzas iguales			-4,849	762,589	,000	-,048	,010	-,068	-,029
Geomorfologia	Se asumen varianzas iguales	227,736	,000	-9,347	762	,000	-,170	,018	-,206	-,134
	No se asumen varianzas iguales			-9,286	449,133	,000	-,170	,018	-,206	-,134
PendienteMM	Se asumen varianzas iguales	68,664	,000	-10,200	763	,000	-1,080	,106	-1,288	-,872
	No se asumen varianzas iguales			-10,169	677,740	,000	-1,080	,106	-1,289	-,871
OrientacionMM	Se asumen varianzas iguales	,030	,862	-2,433	763	,015	-,383	,158	-,693	-,074
	No se asumen varianzas iguales			-2,434	762,839	,015	-,383	,158	-,693	-,074
CurvaturaMM	Se asumen varianzas iguales	23,967	,000	1,210	763	,227	,130	,108	-,081	,342
	No se asumen varianzas iguales			1,212	751,574	,226	,130	,108	-,081	,342
InsolacionMM	Se asumen varianzas iguales	,185	,668	8,560	763	,000	,734	,086	,566	,902
	No se asumen varianzas iguales			8,562	762,974	,000	,734	,086	,566	,902
ACuencaMM	Se asumen varianzas iguales	1,413	,235	,594	763	,553	,003	,005	-,006	,012
	No se asumen varianzas iguales			,592	676,523	,554	,003	,005	-,006	,012

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
									95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
DenDrenaje_MM	Se asumen varianzas iguales	1,091	,297	-1,843	763	,066	-,072	,039	-,150	,005
	No se asumen varianzas iguales			-1,842	759,755	,066	-,072	,039	-,150	,005
Dist_Drenajes	Se asumen varianzas iguales	4,612	,032	-3,912	762	,000	-,081	,021	-,122	-,040
	No se asumen varianzas iguales			-3,910	757,684	,000	-,081	,021	-,122	-,040
Dist_Vias	Se asumen varianzas iguales	7,501	,006	-18,328	762	,000	-,353	,019	-,390	-,315
	No se asumen varianzas iguales			-18,323	760,273	,000	-,353	,019	-,390	-,315

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Tabla 3.12. Test ANOVA para el análisis de varianzas para las variables categóricas en la muestra.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Roca_Suelo	Entre grupos	2,856	1	2,856	28,428	,000
	Dentro de grupos	76,542	762	,100		
	Total	79,398	763			
Espesor	Entre grupos	1,240	1	1,240	42,665	,000
	Dentro de grupos	22,144	762	,029		
	Total	23,384	763			
Origen	Entre grupos	9,545	1	9,545	139,449	,000
	Dentro de grupos	52,156	762	,068		
	Total	61,701	763			
UGS	Entre grupos	3,336	1	3,336	91,821	,000
	Dentro de grupos	27,682	762	,036		
	Total	31,018	763			
Fracturamiento	Entre grupos	13,676	1	13,676	78,977	,000
	Dentro de grupos	132,123	763	,173		
	Total	145,799	764			
Coberturas	Entre grupos	,448	1	,448	23,517	,000
	Dentro de grupos	14,539	763	,019		
	Total	14,988	764			
Geomorfologia	Entre grupos	5,529	1	5,529	87,360	,000
	Dentro de grupos	48,225	762	,063		
	Total	53,753	763			
PendienteMM	Entre grupos	223,048	1	223,048	104,040	,000
	Dentro de grupos	1635,775	763	2,144		

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Total	1858,824	764			
OrientacionMM	Entre grupos	28,102	1	28,102	5,922	,015
	Dentro de grupos	3620,975	763	4,746		
	Total	3649,077	764			
CurvaturaMM	Entre grupos	3,255	1	3,255	1,464	,227
	Dentro de grupos	1696,387	763	2,223		
	Total	1699,642	764			
InsolacionMM	Entre grupos	102,975	1	102,975	73,276	,000
	Dentro de grupos	1072,248	763	1,405		
	Total	1175,224	764			
ACuencaMM	Entre grupos	,001	1	,001	,353	,553
	Dentro de grupos	2,987	763	,004		
	Total	2,988	764			
DenDrenaje_MM	Entre grupos	1,004	1	1,004	3,397	,066
	Dentro de grupos	225,524	763	,296		
	Total	226,528	764			
Dist_Drenajes	Entre grupos	1,254	1	1,254	15,305	,000
	Dentro de grupos	62,448	762	,082		
	Total	63,702	763			
Dist_Vias	Entre grupos	23,751	1	23,751	335,903	,000
	Dentro de grupos	53,880	762	,071		
	Total	77,632	763			

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

En la prueba T se verifican los resultados de significancia y se determinan las variables con mayor poder discriminante, que para el caso de la microcuenca Yaguilga son: UGS, Coberturas, Insolación, Fracturamiento, Distancia a Drenajes y Origen. Teniendo en cuenta el análisis de varianza (ANOVA), se mantienen para la función discriminante, las variables anteriormente mencionadas.

El análisis estadístico para la determinación de la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa se presenta completo en el Anexo 05. Análisis Estadístico Movimientos en Masa de este volumen.

Tabla 3.13. Resultados del análisis M de Box para las variables categóricas determinadas para la función discriminante

Resultados de pruebas[a]

Función 1 y 4

Prueba la hipótesis nula de las matrices de covarianzas de población iguales.

a. No se pueden realizar pruebas con menos de dos matrices de covarianzas de grupo no singulares.

Resultados de pruebas Función 2

F	M de Box	536,305
	Aprox.	25,325
	df1	21
	df2	2134502,211
	Sig.	,000

Prueba la hipótesis nula de las matrices de covarianzas de población iguales.

Resultados de pruebas Función 3

F	M de Box	536,305
	Aprox.	25,325
	df1	21
	df2	2134502,211
	Sig.	,000

Prueba la hipótesis nula de las matrices de covarianzas de población iguales.

Las Funciones 1y 4 se realizaron por el método de independientes juntas y las funciones 2, y 3 por el método de inclusión por pasos.

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Tabla 3.14. Lambda de Wilks

Función 1

Prueba de funciones	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Sig.
1	,680	291,477	11	,000

Función 2

Prueba de funciones	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Sig.
1	,681	291,063	6	,000

Función 3

Prueba de funciones	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Sig.
1	,681	291,063	6	,000

Función 4

Prueba de funciones	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Sig.
1	,679	291,903	14	,000

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Tabla 3.15. Coeficientes de función discriminante canónica estandarizadas

Función 1

	Función 1
Roca_Suelo	-,113
Espesor	,063
UGS	,354
Coberturas	,312
PendienteMM	-,108
InsolacionMM	-,454
Fracturamiento	,426
Dist_Drenajes	,171
Origen	,514
Geomorfología	,043
OrientacionMM	,029

Función 2

	Función 1
UGS	,388
Coberturas	,300
InsolacionMM	-,392
Fracturamiento	,424
Dist_Drenajes	,168
Origen	,498

Función 3

	Función 1
UGS	,388
Coberturas	,300
InsolacionMM	-,392
Fracturamiento	,424
Dist_Drenajes	,168
Origen	,498

Función 4

	Función 1
Roca_Suelo	-,128
Espesor	,077
UGS	,350
Coberturas	,316
PendienteMM	-,107
InsolacionMM	-,446
Fracturamiento	,429
Dist_Drenajes	,176
Origen	,516
Geomorfología	,045
OrientacionMM	,030
DenDrenaje_MM	-,010
CurvaturaMM	-,043
ACuencaMM	-,051

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Teniendo los coeficientes estandarizados, se procede a determinar la sensibilidad de las funciones que mejor clasifiquen los movimientos en masa presentes en el área de estudio y que se ajusten a la realidad del territorio, los cuales se muestran en la Tabla 1.39.

Tabla 3.16. Porcentajes de clasificación para cada función discriminante

Función 1 - Resultados de clasificación[a,c]

MM			Pertenencia a grupos pronosticada		Total
			0	1	
Original	Recuento	0	269	110	379
		1	101	284	385
	%	0	71,0	29,0	100,0
		1	26,2	73,8	100,0

Validación cruzada[b]	Recuento	0	265	114	379
		1	108	277	385
	%	0	69,9	30,1	100,0
		1	28,1	71,9	100,0

a. 72,4% de casos agrupados originales clasificados correctamente.
b. La validación cruzada se ha realizado sólo para aquellos casos del análisis. En la validación cruzada, cada caso se clasifica mediante las funciones derivadas de todos los casos distintos a dicho caso.
c. 70,9% de casos agrupados validados de forma cruzada clasificados correctamente.

Función 2 - Resultados de clasificación[a,c]

MM			Pertenencia a grupos pronosticada		
			0	1	Total
Original	Recuento	0	273	106	379
		1	96	289	385
	%	0	72,0	28,0	100,0
		1	24,9	75,1	100,0
Validación cruzada[b]	Recuento	0	253	126	379
		1	99	286	385
	%	0	66,8	33,2	100,0
		1	25,7	74,3	100,0

a. 73,6% de casos agrupados originales clasificados correctamente.
b. La validación cruzada se ha realizado sólo para aquellos casos del análisis. En la validación cruzada, cada caso se clasifica mediante las funciones derivadas de todos los casos distintos a dicho caso.
c. 70,5% de casos agrupados validados de forma cruzada clasificados correctamente.

Función 3 - Resultados de clasificación[a,c]

MM			Pertenencia a grupos pronosticada		
			0	1	Total
Original	Recuento	0	273	106	379
		1	96	289	385
	%	0	72,0	28,0	100,0
		1	24,9	75,1	100,0
Validación cruzada[b]	Recuento	0	253	126	379
		1	99	286	385
	%	0	66,8	33,2	100,0
		1	25,7	74,3	100,0

a. 73,6% de casos agrupados originales clasificados correctamente.
b. La validación cruzada se ha realizado sólo para aquellos casos del análisis. En la validación cruzada, cada caso se clasifica mediante las funciones derivadas de todos los casos distintos a dicho caso.

c. 70,5% de casos agrupados validados de forma cruzada clasificados correctamente.

Función 4 - Resultados de clasificación[a,c]

MM			Pertenencia a grupos pronosticada		Total
			0	1	
Original	Recuento	0	270	109	379
		1	99	286	385
	%	0	71,2	28,8	100,0
		1	25,7	74,3	100,0
Validación cruzada[b]	Recuento	0	268	111	379
		1	106	279	385
	%	0	70,7	29,3	100,0
		1	27,5	72,5	100,0

a. 72,8% de casos agrupados originales clasificados correctamente.
b. La validación cruzada se ha realizado sólo para aquellos casos del análisis. En la validación cruzada, cada caso se clasifica mediante las funciones derivadas de todos los casos distintos a dicho caso.
c. 71,6% de casos agrupados validados de forma cruzada clasificados correctamente.

3.1.3.5. *Obtención de la susceptibilidad y validación*

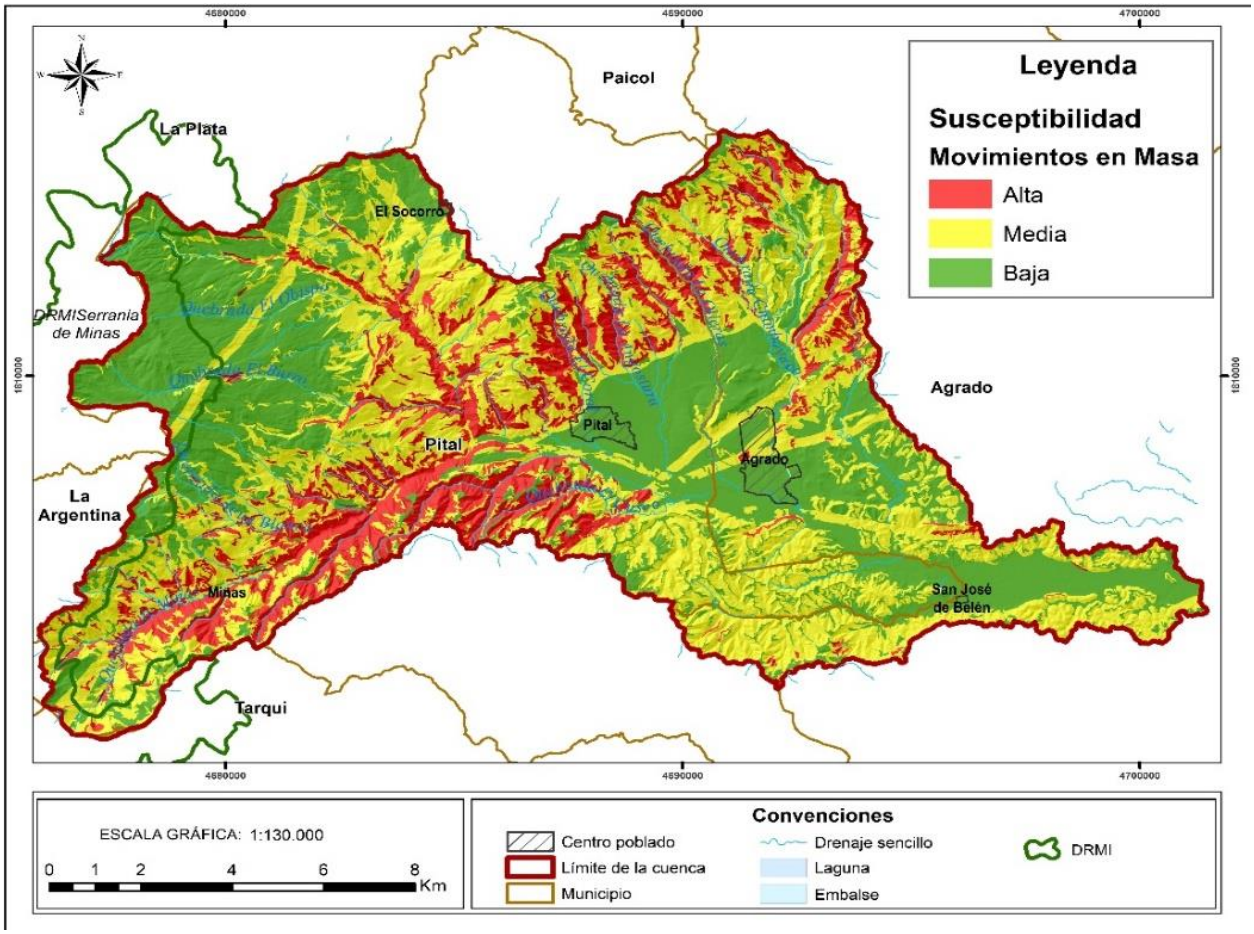
Después de analizar las 6 funciones obtenidas, ajustado a la realidad del territorio se toma la función 5 como la más acorde a la realidad del área de la cuenca, la cual muestra un 73.6% de confiabilidad.

Tomando los coeficientes estandarizados de la Función discriminante obtenida se determina la susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa en el área de la microcuenca Quebrada La Yaguilga.

$$SUSCEP.MM = 0{,}388 * UGS + 0{,}300 * Coberturas - 0{,}392 * Insolación + 0{,}424 * Fracturamiento + 0{,}168 * Dist.Drenajes + 0{,}498 * Origen$$

Teniendo en cuenta las recomendaciones del protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA, las consideraciones de Cardona (2013) y la distribución estadística de los resultados, se definen los sectores con baja, media y alta susceptibilidad a movimientos en masa representados en la Figura 3.24.

Figura 3.24. Mapa de la susceptibilidad resultante para el área de la Microcuenca Quebrada La Yaguilga



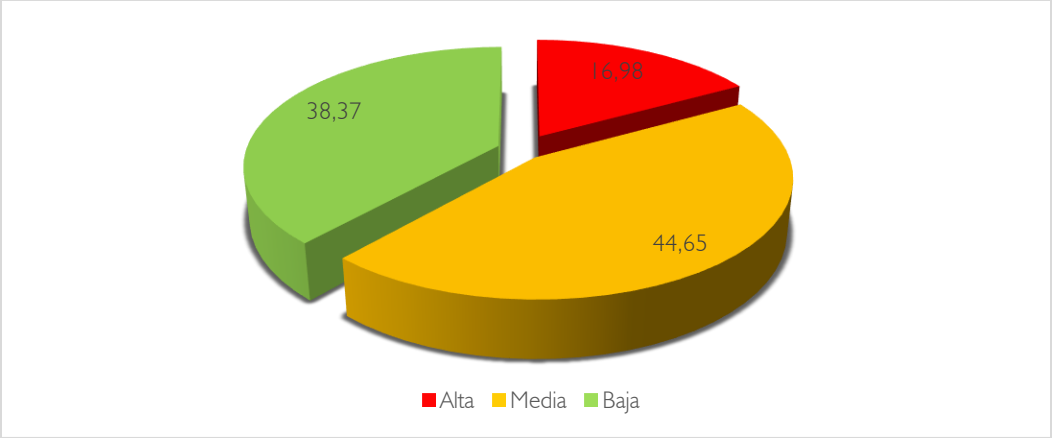
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

La comprobación del modelo establecido a partir del análisis estadístico permite verificar la limitación que presenta el mismo y los vacíos de información combinado con los errores propios de implementar un SIG y las variables que se obtienen del modelo digital de elevación dependen de la calidad en la rasterización de estos insumos la cual disminuye por los procesos aplicados, no obstante, las celdas no presentaron valores extremos en ninguna de las variables utilizadas para la función discriminante por lo cual se determina una susceptibilidad correcta, corroborando con las temáticas biofísicas la correspondencia de la información obtenida y la superposición de capas temáticas para comprobar la realidad del modelo.

La susceptibilidad a movimientos en masa está condicionada principalmente por la existencia de procesos activos, la morfología del relieve y el material superficial (suelo, roca o intermedios) sobre el que reposa la ladera. Por esta razón se observan valores altos de susceptibilidad en sectores de la parte alta de la cuenca hidrográfica donde predominan las pendientes abruptas y materiales superficiales poco consistentes.

Para el área de la microcuenca Quebrada la Yaguilga se determinaron 3 grados de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa, donde la susceptibilidad alta se distribuye en un 16.98%, la susceptibilidad media un 44.65% y la susceptibilidad baja en 38.37% del área total de la microcuenca (Ver Figura 3.25).

Figura 3.25. Porcentajes de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa en el área total de la Microcuenca Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

La microcuenca mantiene 61.23% en grados de susceptibilidad superiores, siendo las veredas La Galda (Agrado), Santa Rosa y El Retiro (Pital) clasificados como media al igual que la zona sur occidental de la microcuenca que se encuentra zonificada dentro del Distrito de Manejo Integrado Serranía de Las Minas, a la altura de la vereda Alto Líbano, y por último, San Antonio, Bajo Minas, Floramarillo, El Mirador y Playa Rica en El Pital, son los territorios clasificados en la categoría alta. Estas últimas dos categorías de susceptibilidad son consideradas en la evaluación y determinación de amenaza.

3.2. Inundaciones

3.2.1. Definición Inundaciones

Las inundaciones fluviales son procesos naturales que se han producido periódicamente y que han sido la causa de la formación de las llanuras en los valles de los ríos, tierras fértiles, vegas y riberas, donde tradicionalmente se ha desarrollado la agricultura. Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de esta, por desbordamiento de ríos, por lluvias torrenciales, deshielo, por subida de las mareas por encima del nivel habitual, por maremotos, huracanes, entre otros.

"Las inundaciones fluviales son producidas por el flujo excedente de agua y sedimentos transportados por corrientes (ríos y quebradas) la cual desborda la capacidad de transporte del cauce. Las inundaciones fluviales pueden ser lentas y repentinas. Las inundaciones fluviales lentas, normalmente se producen por precipitaciones prolongadas, pero también pueden ser producidas por huracanes, ciclones tropicales, deshielo, entre otras. Las inundaciones fluviales repentinas son producidas normalmente, por precipitación convectiva, o por la movilidad de grandes volúmenes de flujos provenientes de glaciares, movimientos en

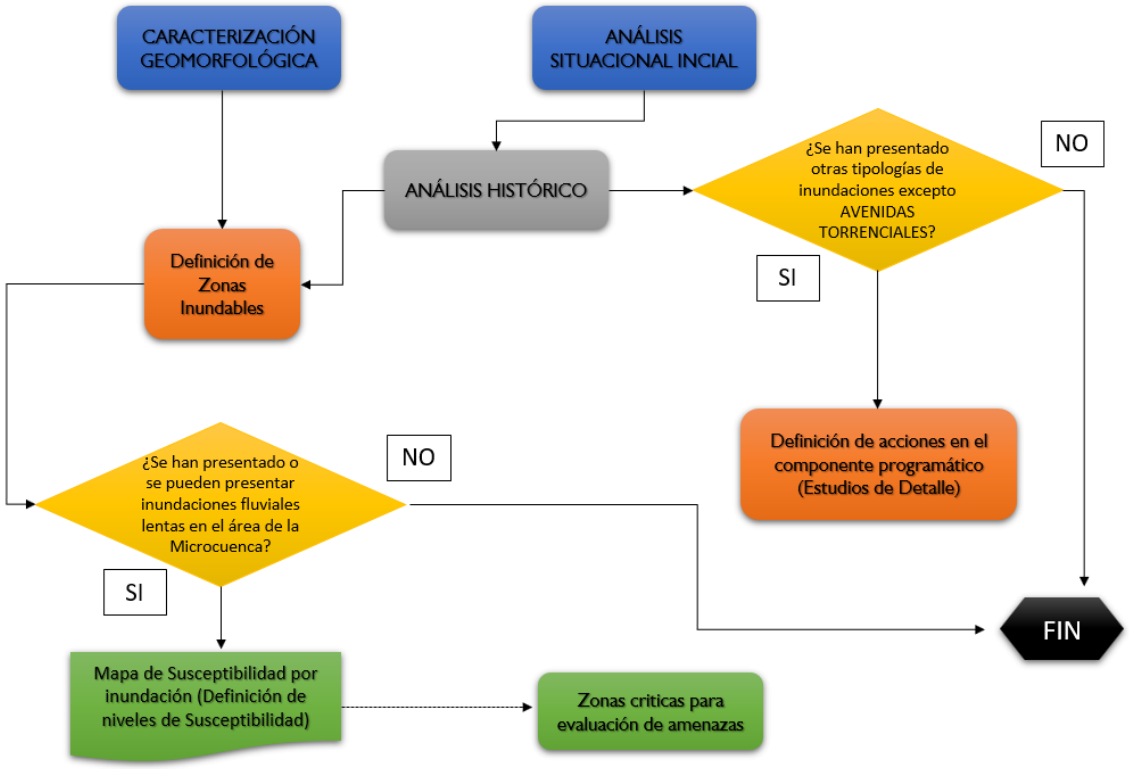
masa, escombros o represas. Las inundaciones pluviales se producen por la acumulación de agua precipitada en una determinada superficie (generalmente plana o cóncava) sin que esta provenga del desbordamiento del cauce; también puede ser producida por la incapacidad de los sistemas de alcantarillado o canales de desagüe en eventos de lluvia de gran magnitud o intensidad". Otro tipo de inundaciones puede ser producto de eventos extraordinarios como: terremotos, erupciones volcánicas, rotura de infraestructuras hidráulicas de almacenamiento de agua.

Las inundaciones lentas o de tipo aluvial se producen por el desbordamiento del cauce anegando áreas planas aledañas al mismo y suelen ser originadas por crecidas progresivas y de larga duración (horas a días, incluso meses en algunas zonas del país). El fenómeno de encharcamiento se origina por la saturación del suelo en zonas moderadamente onduladas a planas con duración de horas a días y en general pueden darse por ausencia o falencia en los sistemas de drenaje de aguas pluviales en áreas urbanizadas.

La definición de las zonas inundables está relacionada con el concepto de "ronda", considerada como la franja en la cual quedan incluidos el cauce mayor y una zona de seguridad. Por fuera de la "ronda" quedan las planicies que son potencialmente inundables durante las crecientes extraordinarias. En la mayoría de los casos las inundaciones que son producidas por crecientes extraordinarias no pueden evitarse lo que hace necesario pensar en formas de reducir sus efectos, que en algunos casos es posible mediante métodos de control de inundaciones (DNP, 2005).

3.2.2. Metodología de la Susceptibilidad por Inundaciones

Figura 3.26. Esquema para la evaluación de susceptibilidad a Inundaciones



Fuente: Fuente: MADS y Fondo Adaptación, 2014

La metodología se desarrolla por la evaluación de los eventos históricos integrado con un análisis geomorfológico.

La información compilada en el análisis de eventos históricos se valida mediante las siguientes actividades:

- Recolección de información en campo, con participación de los habitantes de la cuenca
- Contraste de la información de los eventos históricos en las diferentes fuentes.
- Jerarquización de la magnitud de los eventos ocurridos de acuerdo con variables de caudales, magnitud, cantidad de encuestas, y extensión de la inundación, entre otros.
- Sistematización de los datos para generar sobre la base topográfica los puntos que definen unidades inundables.
- Análisis e integración de la información colectada
- Contraste del análisis geomorfológico basado en el método de Carvajal (2011), en el cual se determinan ambientes fluviales con sus unidades; y la cartografía geomorfológica basada en el método de Zinck (2012) que define paisajes geomorfológicos, tipos de relieve, modelados y geoformas asociados a eventos de inundación.
- Procesamiento y elaboración de la salida cartográfica para delimitar con base en los polígonos de eventos históricos y en las geoformas asociadas a eventos de inundación, las áreas susceptibles a inundarse.

El fundamento para integrar y analizar la información compilada de diferentes fuentes, fue la geomorfología junto con el catálogo histórico de eventos amenazantes por inundación. El análisis de las unidades geomorfológicas y formas del terreno asociadas a inundación, generó una salida cartográfica preliminar, la cual fue validada con los habitantes de la cuenca a través de los seminarios de gestión del riesgo. En esta actividad, se recogieron los comentarios y aportes de los participantes, y éstos que fueron nuevamente cartografiados y contrastados con el inventario y la geomorfología, generando como resultado la zonificación por susceptibilidad a inundaciones.

La zonificación de susceptibilidad a inundaciones para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga se realiza a escala 1:10.000, teniendo en cuenta los elementos para caracterización ya mencionados, básicamente el análisis de los eventos históricos y el análisis geomorfológico. Esta susceptibilidad se caracterizó en la siguiente tabla:

Tabla 3.17. Directrices para la calificación de Susceptibilidad a inundación

SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN	CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA	CALIFICACIÓN
Alta	Clasificación geomorfológica en región fluvial y denudacional en unidades de llanura de inundación, terrazas bajas, lomas y napas de desborde; con procesos propios de las zonas topográficamente más bajas como encharcamientos, inundaciones, erosión superficial, erosión lateral y desbordes.	3
Media	Región geomorfológica denudacional y fluvial en unidades de lomas bajas, terrazas aluviales, llanuras de inundación y abanicos aluviales; presentan normalmente escurrimientos, encharcamientos, reptación e inundaciones.	2
Baja	Región geomorfológica fluvial y denudacional, con unidades de terrazas aluviales y lomas; presentan procesos de escurrimiento, encharcamiento, desprendimientos y derrumbes.	1

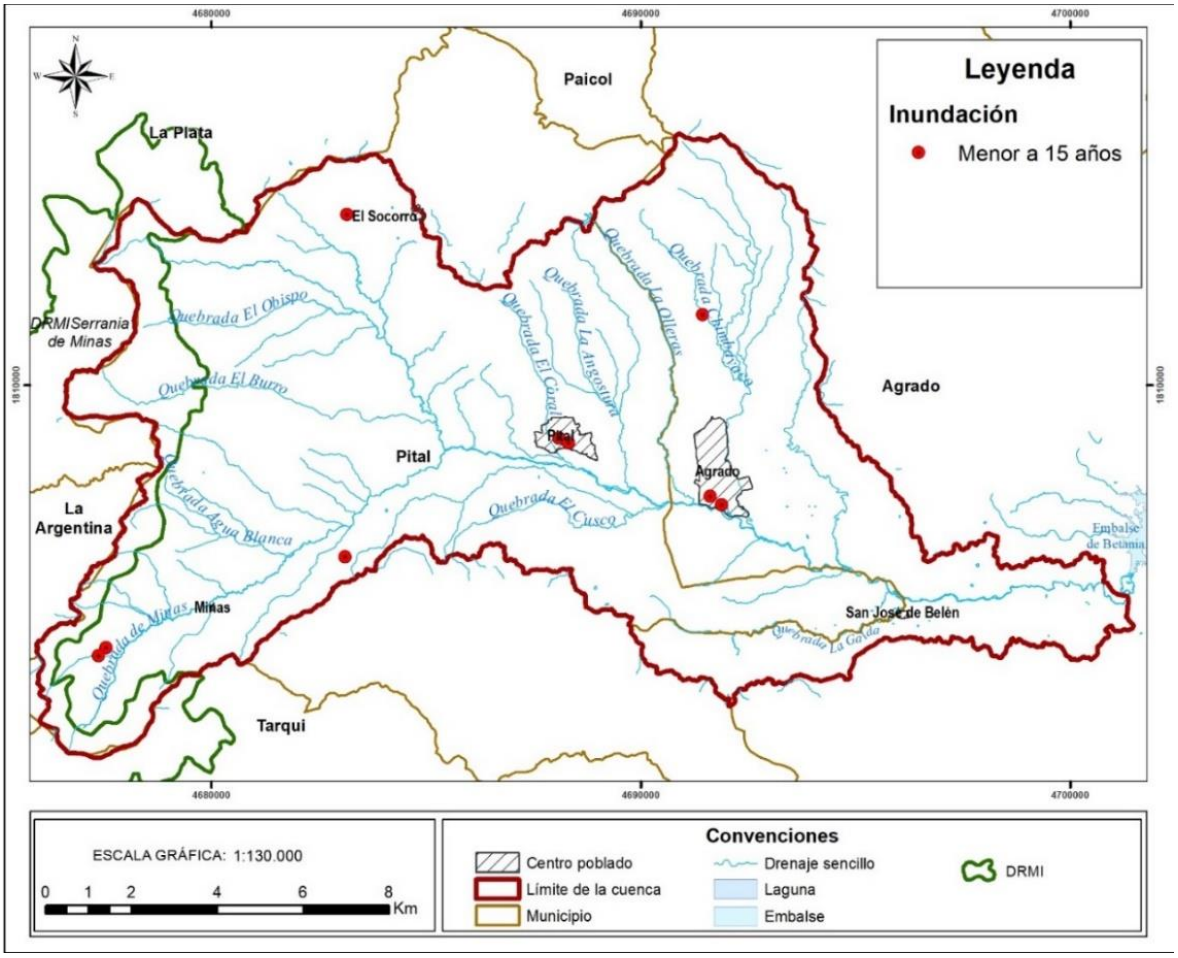
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

3.2.3. Resultados de la Susceptibilidad por Inundaciones

3.2.3.1. *Eventos históricos*

En el análisis de la susceptibilidad se integran los eventos históricos con la intención de analizar el comportamiento (Magnitud, Ocurrencia), de los eventos a partir de variables como: extensión de la inundación, caudales, niveles máximos alcanzados en el cauce, entre otros. Este análisis se encuentra supeditado a la calidad de la información relacionada en los eventos registrados, la cual, para la microcuenca, es deficiente.

Figura 3.27. Inventario de Inundaciones en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga inferior a 15 años



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga a partir de datos UNGRD (2020)

El catálogo histórico de eventos amenazantes, está constituido por registros de inundaciones, los cuales relacionan como causas principales el desbordamiento de los siguientes cauces: Quebrada El Burro, Las Minas, El Obispo y parte baja de la Quebrada la Yaguilga (límites entre los municipios Pital y Agrado), asimismo, La Laguna Los Alpes y la Quebrada Sabaneta que no tributan a la microcuenca, pero han provocado eventos atendidos por los cuerpos de socorro. Esta información, fue complementada con datos provenientes de los espacios de participación y recorridos de campo.

La información aportada por los actores durante las mesas de trabajo y rutas de campo, permitió identificar sectores con mayores afectaciones, periodos de ocurrencia y posibles causas. A pesar que, los habitantes de la cuenca no establecieron fechas exactas de ocurrencia, se evidencia que conciben este fenómeno amenazante, como un suceso de periodicidad anual durante las temporadas de altas precipitaciones.

La caracterización de los eventos históricos y los reportados por la comunidad muestran la ocurrencia de 19 eventos dentro de los municipios de la microcuenca (ver Tabla 2.9), de los cuales tres (3) tuvieron una

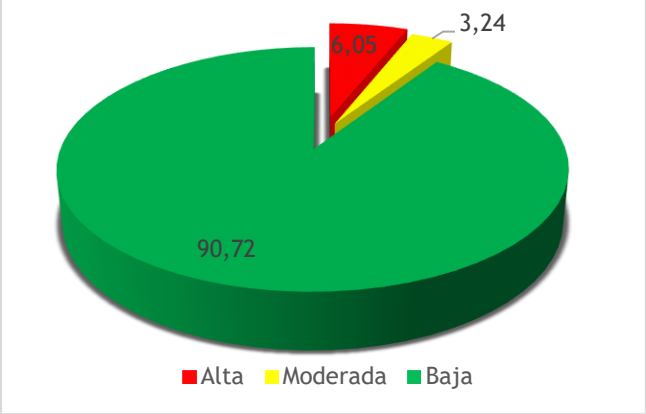
magnitud lo suficientemente grave como para generar afectaciones como: damnificados, viviendas destruidas y severamente afectadas. Para ampliar la información puede remitirse a la sección 2.3.3.

3.2.3.1.2. *Análisis geomorfológico*

Además, de considerar la información del catálogo, se tuvo en cuenta la geomorfología de la zona dentro del análisis de susceptibilidad, considerando la presencia de procesos morfodinámicos tales como: encharcamientos y desbordamientos. Para las inundaciones, se hizo énfasis en la interpretación de las imágenes satelitales suministradas para el desarrollo del proyecto, a fin de determinar los ambientes fluviales generados por las corrientes de agua (Ríos, Quebradas, Ciénagas).

Mediante el método de interpretación asistida en pantalla (PIAO), se obtuvo la delimitación de unidades o polígonos con algún grado de susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones, que posterior a su calificación, permitió una zonificación como se muestra en la Figura 3.29 cumpliendo con la calificación descrita en la Tabla 3.18.

Figura 3.28. Distribución porcentual de la Susceptibilidad a Inundaciones en la microcuenca Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Tabla 3.18. Susceptibilidad a inundaciones para la microcuenca Quebrada la Yaguilga

Susceptibilidad a Inundaciones	Área (ha)	%A
Alta	1125.3969	6.05
Moderada	602.25494	3.24
Baja	16884.978	90.72
Total	18612.63	100

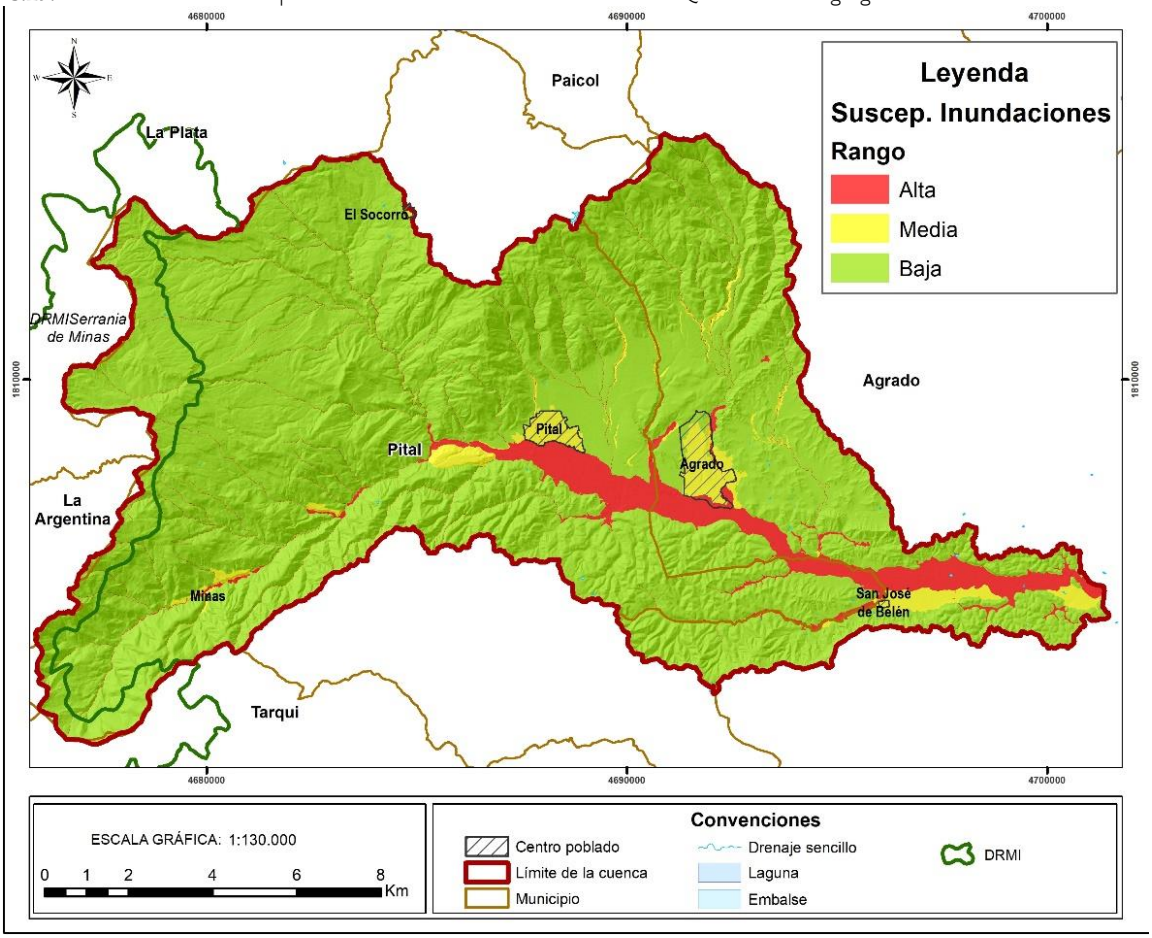
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Según los resultados, mientras los cascos urbanos del Municipio del Pital y El Agrado, así como la vereda la Mesa y Playa Rica, se clasifican con una susceptibilidad media (3.24% del área total).

Por otro lado, El centro poblado San José de Belén, la vía que comunica a la Vereda las Minas - Bajo Minas del Municipio El Pital a la altura del puente de ingreso a estos territorios y una porción de las Veredas la

Mesa, El Cusco, Yaguilga y la Galda al tener una naturaleza ribereña, tienen una alta susceptibilidad por inundaciones con un equivalente a 6.05% del total del área de la microcuenca; según su clasificación, en los descriptores de su unidad geomorfológica, están constituidos por llanuras de inundación, terrazas bajas, lomas y napas de desborde con un comportamiento por efecto del aumento del nivel de los caudales de los cuerpos de agua (Quebrada Las Minas y Yaguilga) o lluvias intensas (encharcamientos, inundaciones, erosión superficial, erosión lateral y desbordes).

Figura 3.29. Zonificación de la Susceptibilidad a Inundaciones en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

3.3. Avenidas Torrenciales

3.3.1. Definición de Avenidas Torrenciales

Las avenidas torrenciales corresponden a flujos extraordinarios de agua con material de arrastre, detritos o lodos, que ocurren en los cauces de los ríos a causa de lluvias intensas (DNP, 2005).

El término avenida torrencial enmarca un gran número de flujos torrenciales o aumentos en el nivel del cauce con una mezcla heterogénea de solidos (sedimentos, vegetación) que se desplazan a gran velocidad normalmente donde se identifica cambios abruptos de pendiente. A partir del tipo de material presente se pueden definir una gran variedad de procesos teniendo en cuenta la heterogeneidad del flujo.

Estos fenómenos se originan comúnmente en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas presentan fuertes vertientes por efecto de fenómenos hidrometeorológicos intensos cuando en un evento de lluvias se superan valores de precipitación pico en pocas horas.

Esto genera la saturación de los materiales de las laderas facilitando el desprendimiento del suelo, produciéndose de esta manera numerosos desgarres superficiales y deslizamientos cuyo material cae al cauce y es transportado inmediatamente aguas abajo o queda inicialmente represado y luego, una vez que se rompe el represamiento, es transportado violentamente de forma repentina (Urrea, 1996, Rendón, 1997; OSSO – La Red, 2003; Castro, 2007). En otros casos puede que no haya rupturas en las vertientes de los ríos originados por la lluvia, simplemente el material que ya se encontraba en el cauce con mucha anterioridad es arrastrado aguas abajo por la creciente.

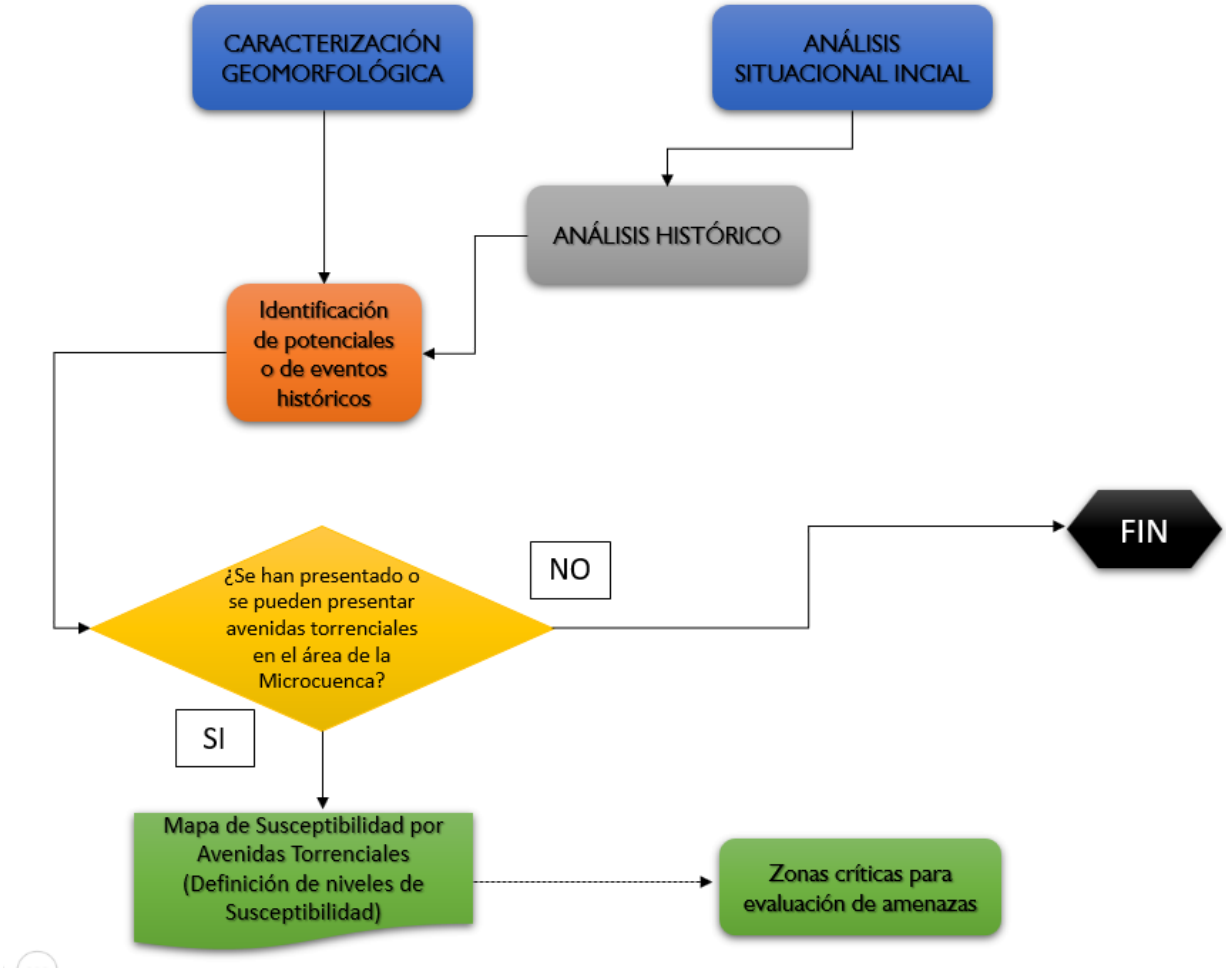
En la parte superior de las vertientes o zona de montaña, donde las corrientes están encajonadas, la avenida torrencial afecta usualmente un área pequeña a lo largo del cauce, pero una vez la pendiente disminuye en la zona de transición, el área afectada se incrementa debido a que se genera la depositación del material arrastrado formando los llamados conos o abanicos. Aunque es factible delimitar estas áreas por las características geomorfológicas de la zona, no es posible definir un rumbo preciso para el flujo torrencial, ya que las obstrucciones y zonas de deposición que se producen durante el evento ocurren con un rumbo inestable e impredecible (Integral, 1990 en Urrea, 1996).

Metodológicamente, se fundamenta en el análisis histórico de eventos ocurridos, trabajo de campo, análisis geomorfológico y su evaluación con el índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales

3.3.2. Metodología de la Susceptibilidad por Avenidas Torrenciales

La metodología utilizada para la evaluación y zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales en la Microcuenca Quebrada la Yaguilga, se siguieron los parámetros establecidos y procedimientos efectuados de forma sistemática para determinar la caracterización y análisis de la zonificación. El procedimiento realizado se condensa en la Figura 3.30, actividades realizadas a partir de la recopilación y evaluación de los eventos históricos integrándolos con la información obtenida en campo, caracterización geomorfológica y el análisis situacional realizado, siguiendo los pasos establecidos en el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas

Figura 3.30. Esquema para la evaluación de susceptibilidad a Inundaciones



3.3.2.2. *Identificación y caracterización de eventos históricos*

En la recopilación de información secundaria, no se encontraron registros relacionados de forma específica e irrestricta con este fenómeno amenazante.

3.3.2.3. *Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)*

Para la determinación de los índices morfométricos de torrencialidad se obtiene de la relación de categorización de las variables de información hídrica de la cuenca como la escala y el área de la cuenca de drenaje (km^2) categorizándolas a partir de la densidad de drenaje (km/km^2), pendiente media de la cuenca (%) y el coeficiente de compacidad.

Teniendo los valores promedio obtenidos de las variables anteriormente indicadas, donde se establecen 5 categorías, mientras estos valores sean mayores, determinara una mayor tendencia a presentar procesos

por avenidas torrenciales permitiendo deducir una mayor vulnerabilidad a este tipo de procesos (Tomado y modificado de IDEAM, 2011e).

Teniendo esta clasificación, se obtiene el coeficiente de forma el cual relaciona la densidad de drenaje, la pendiente media de la cuenca (%) y el coeficiente de compacidad, para categorizar el índice morfométrico de torrencialidad en Muy Alta, Alta, Media, Baja y Muy Baja.

El índice de variabilidad se obtiene de la curva de duración de caudales, donde se identifica como es la variabilidad de los caudales en el área de la cuenca y a partir de allí analizar la capacidad de transporte en los mismos. La curva de duración de caudales al ser graficada en escala logarítmica, muestra una tendencia lineal, de la cual se puede obtener el índice de variabilidad que se expresa mediante la siguiente expresión:

$$\textit{Índice de variabilidad} = (Log(Qi) - Log(Qf)) / (Log(Xi) - Log(Xf))$$

Donde, Qi y Qf representan dos caudales tomados de la curva de duración de caudales, y Xi y Xf los porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Qi y Qf, respectivamente como se muestra en la Tabla 1.45 (IDEAM 2013).

El índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales indica la relación existente entre las características de la forma de una cuenca que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas en dicha cuenca (IDEAM 2013).

3.3.3. Resultados de la Susceptibilidad por Avenidas Torrenciales

3.3.3.1. *Análisis criterios geomorfológicos*

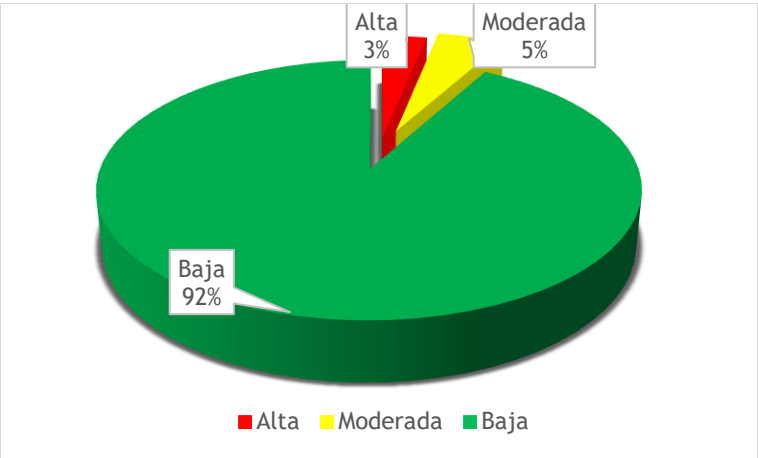
En la Tabla 3.19 y Figura 3.31, se presenta la distribución porcentual de las categorías de susceptibilidad por avenidas torrenciales, de acuerdo con la ponderación de las unidades geomorfológicas identificadas en la microcuenca de la quebrada Yaguilga.

Tabla 3.19. Áreas susceptibles a avenidas torrenciales de acuerdo a criterios geomorfológicos (Comparar con Tabla 3.17)

Susceptibilidad Avenidas Torrenciales (Criterios geomorfológicos)	Área (ha)	%A
Alta	598.05365	3.21
Moderada	899.78	4.83
Baja	17114.796	91.95
Total	18612.63	100

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

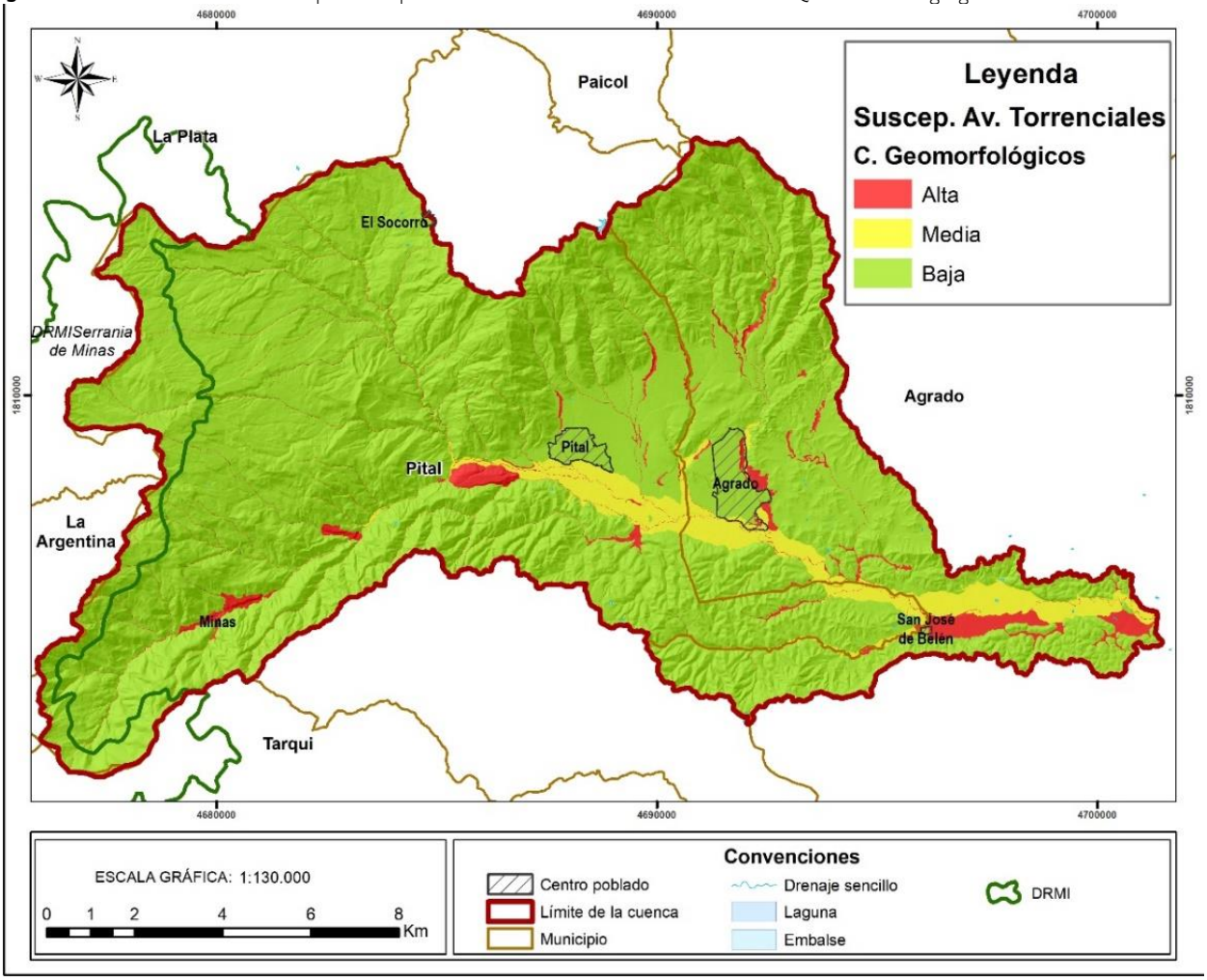
Figura 3.31. Distribución porcentual de la Susceptibilidad a Avenidas Torrenciales en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

De acuerdo a los resultados para el componente de avenidas torrenciales, en la salida cartográfica se verifica una tendencia en las cabeceras urbanas de los dos municipios de la microcuenca, así como una alta tendencia en la vía que comunica al Agrado Con Tarqui, en los centros poblados San José de Belén y Minas, en la ronda de la Represa el Quimbo y límites entre las veredas Playa Rica y San Antonio (Pital). Sin embargo, la constante del área total tiende a ser baja (92%).

Figura 3.32. Zonificación de la Susceptibilidad por avenidas torrenciales en la Microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

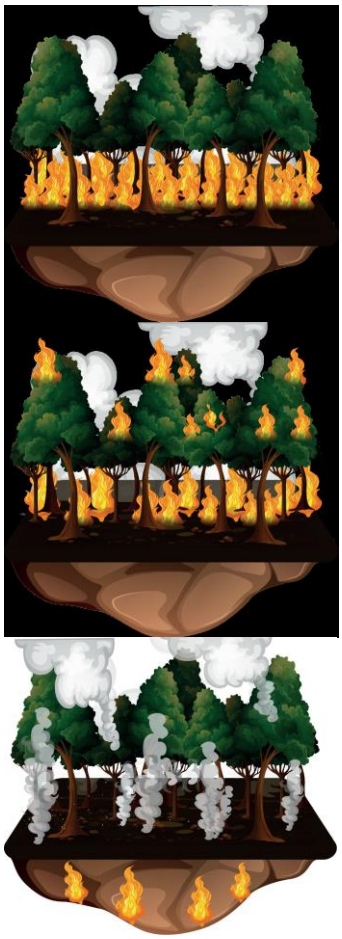
3.4. Incendios de cobertura vegetal (ICV)

3.4.1. Definición Incendios de Cobertura Vegetal

De acuerdo a lo descrito por Bernal y Parra (2010), los ICV son perturbaciones ecológicas de efectos discretos o difusos, severos o destructivos, producidos por fuego de origen natural o antrópico, cuya dinámica responde fundamentalmente a la concurrencia simultánea de tres o más condiciones en un mismo sitio (oxígeno, tipo de vegetación, cantidad de combustible, condiciones meteorológicas, topografía, actividades humanas, entre otros), que se desarrolla sin control ni límites preestablecidos sobre terrenos con alguna clase de cobertura vegetal (nativa, cultivada o inducida), que utiliza como fuente de combustible la vegetación viva o muerta y que por el riesgo que representa para los sistemas naturales y/o sociales, debe ser objeto de prevención y extinción.

CORPOBOYACA (2020), describe una categoría para el análisis de los ICV según:

El lugar de ignición:



Superficiales

Son fuegos que consumen a nivel del suelo la hojarasca y la vegetación.

De copa o de dosel

Son fuegos que se propagan a través de las copas de los árboles, pero que frecuentemente dejan intactos mucho de los troncos y la parte baja del bosque

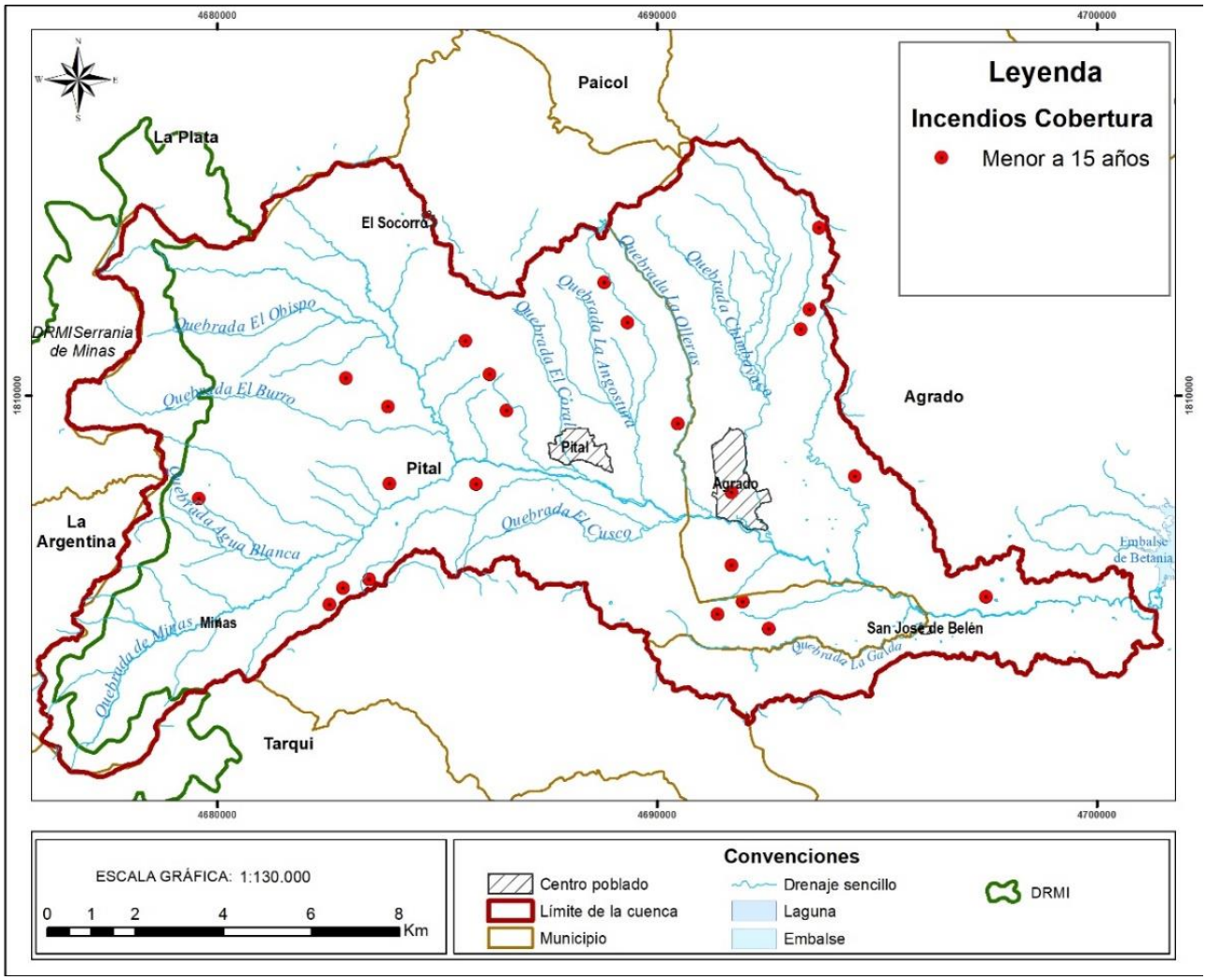
Subterráneos

Son fuegos que se propagan lentamente por debajo de la superficie del suelo, consumiendo raíces y el material orgánico acumulado.

Fuente: CORPOBOYACA (2020)

Para el IDEAM, La alta diversidad biológica, la sostenibilidad de los recursos agua y suelo, así como algunas actividades humanas se ven afectadas en Colombia de forma notoria por los incendios. Este fenómeno se presenta de manera recurrente en gran parte del país, en especial durante los periodos secos prolongados, durante los cuales los ecosistemas tropicales húmedos y muy húmedos pierden parte de los contenidos de humedad superficial e interior, incrementando sus niveles de susceptibilidad y amenaza hacia la combustión de la biomasa vegetal que los compone.

Figura 3.33. Registro histórico de incendios de Cobertura Vegetal en la Microcuenca Quebrada La Yaguilga.

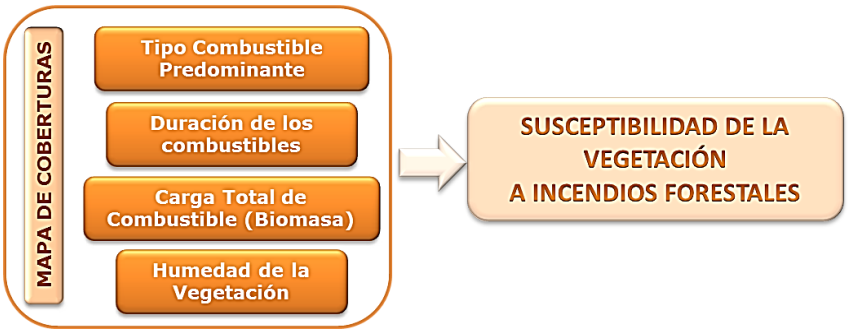


Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga a partir de datos UNGRD (2020)

3.4.2. Metodología de la Susceptibilidad por Incendios Forestales

Para la determinación de la susceptibilidad de la vegetación a incendios forestales se aplicó la metodología propuesta por el IDEAM (2011) ver Figura 3.34, la cual se basa en el modelo de combustibles que representa la condición pirogénica de la vegetación, para ello se realiza la clasificación de las coberturas de acuerdo al tipo de combustible, duración del tipo de combustible y carga total de combustible, identificando para estas las categorías de amenaza y su respectiva calificación. La información espacial generada para el análisis de la susceptibilidad se encuentra integrada en la geodatabase del PMAM.

Figura 3.34. Metodología para la zonificación de la susceptibilidad de la vegetación a incendios forestales



Fuente: IDEAM, 2011

- **Duración del tipo de combustible dominante:** duración en horas de cada tipo de combustible, definidos en horas de ignición (1 hr, 10 hr, 100 hr). Ver Tabla 3.20

Tabla 3.20. Clasificación por duración de los combustibles

DURACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
No combustibles	Muy baja	1
Áreas urbanas	Muy baja	1
100 horas (Predominio de árboles)	Baja	2
10 horas (Predominio de arbustos y hierbas)	Moderada	3
1 hora (Predominio de pastos)	Alta	4

Fuente: IDEAM, 2011

- **Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema:** tipo de cobertura vegetal y biotipo dominante. Ver Tabla 3.21

Tabla 3.21. Clasificación por tipo de combustible

TIPO DE COMBUSTIBLES	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Árboles	Baja	2
Árboles y arbustos	Moderada	3
Arbustos	Alta	4
Hierbas	Alta	4
Pastos / hierbas	Muy alta	5
Pastos	Muy alta	5
No combustibles	Muy baja	1
Áreas urbanas	Muy baja	1

Fuente: IDEAM, 2011

- **Carga total de combustibles:** caracterización cualitativa dependiente de la correlación de la altura en metros, cobertura en valores porcentuales, biomasa aérea en *Ton/ha* y humedad media de la vegetación obtenida a través de una distribución cualitativa de los rangos obtenidos a partir del índice de vegetación NDII. Este último nivel define el modelo de combustible para una determinada unidad de vegetación. Ver Tabla 3.22

Tabla 3.22. Clasificación para carga total de combustibles

CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLES	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
No combustibles	Muy baja	1
Áreas urbanas (menos de 1 Ton/Ha)	Muy baja	1
Baja (1-50 Ton/Ha)	Baja	2
Moderada (50 a 100 Ton/Ha)	Moderada	3
Muy Alta (más de 100 Ton/Ha)	Alta	4

Fuente: IDEAM, 2011

Una vez clasificadas y calificadas las coberturas se estima la susceptibilidad de la vegetación a incendios forestales por medio de la siguiente expresión:

$$SUSC = CAL(tc) + CAL(dc) + CAL(ct)$$

Dónde;

SUSC = Susceptibilidad de la vegetación (susceptibilidad bruta)
CAL(tc) = Calificación por tipo de combustible
CAL(dc) = Calificación de la duración de los combustibles
CAL(ct) = Calificación de la carga total de combustibles.

El resultado obtenido se agrupa posteriormente en 5 categorías de acuerdo a cortes naturales, asignando a cada clase la calificación de susceptibilidad muy baja (rango menor) a susceptibilidad muy alta (rango mayor).

3.4.3. Resultados de la Susceptibilidad a Incendios Forestales

A continuación, se presentan los resultados consolidados de la aplicación del modelo de combustibles para la microcuenca Yaguilga:

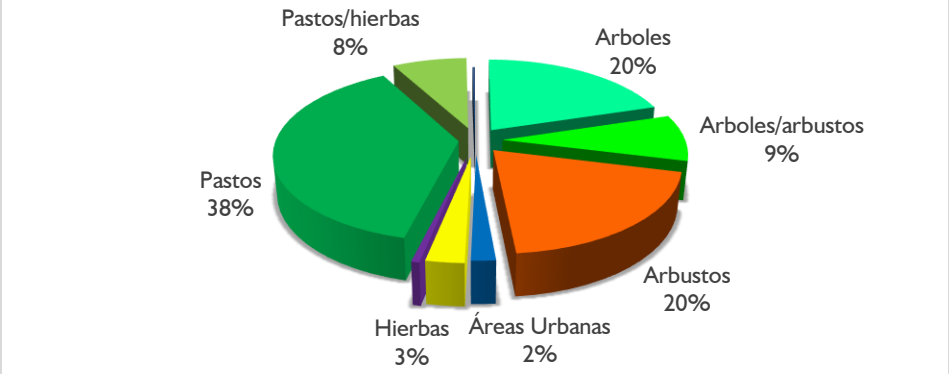
Tabla 3.23. Clasificación por tipo de combustible para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga

TIPO DE COMBUSTIBLE	ÁREA (HA)	%A
Arboles	3958.8705	20.21
Arboles/arbustos	1700.4717	8.68
Arbustos	3853.8877	19.68
Áreas Urbanas	356.83473	1.82
Hierbas	557.34651	2.85
No Combustibles	120.34374	0.61
Pastos	7486.006	38.22
Pastos/hierbas	1501.1514	7.66
No Determinado	52.453103	0.27
Total	**19587.37**	**100**

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

En las Figura 3.35 y Figura 3.36 se presentan por porcentajes y zonificación de los resultados por tipo de combustible.

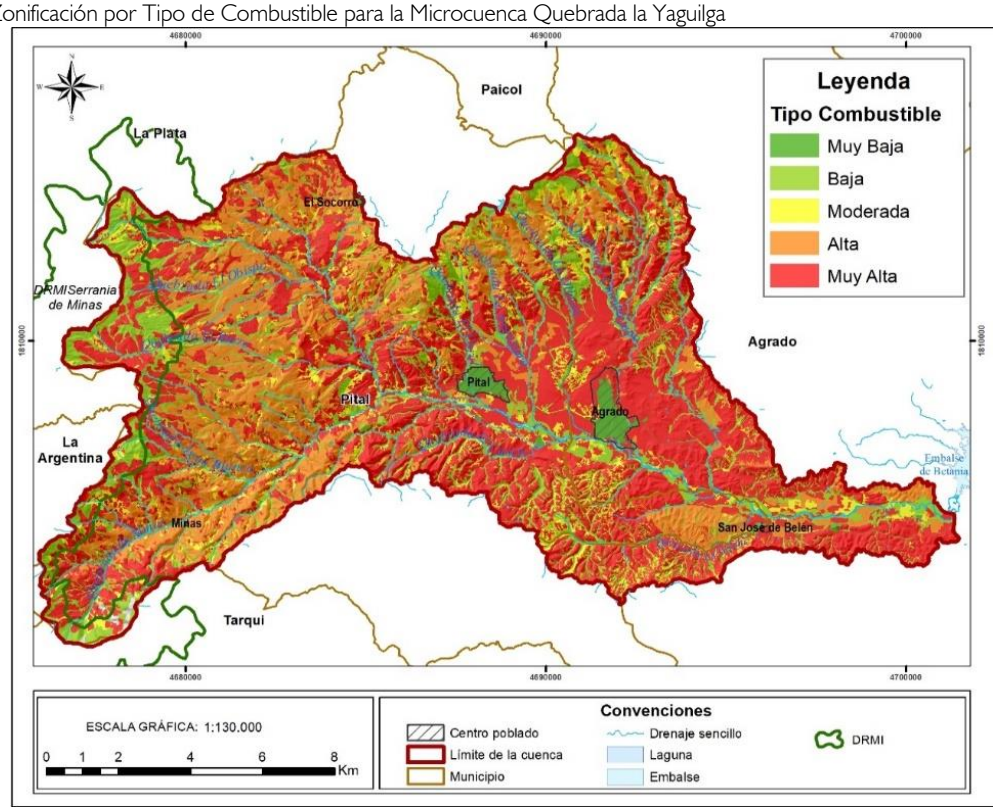
Figura 3.35. Descriptivo de áreas por Tipo de Combustible para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga (% de área)



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

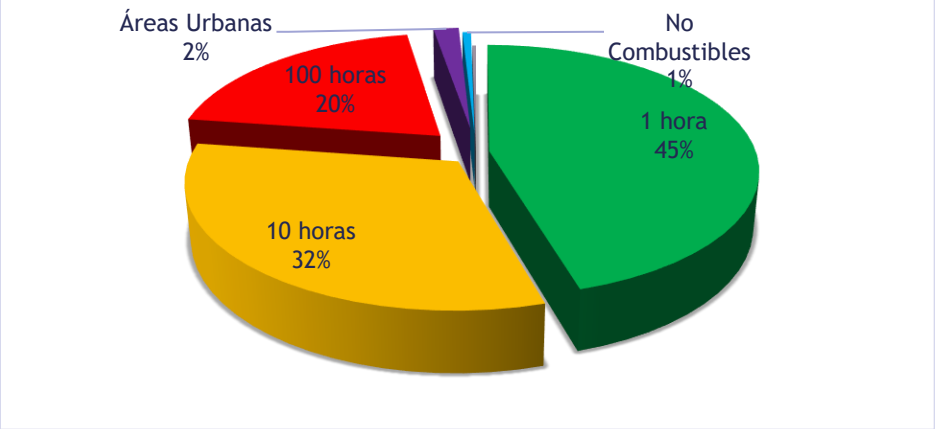
Predominan los combustibles tipo Pastos, seguido por arbustos y árboles; esta característica podría ser determinantes al momento de generar estrategias tanto de protección, como de conservación y prevención de los incendios de cobertura vegetal.

Figura 3.36. Zonificación por Tipo de Combustible para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga



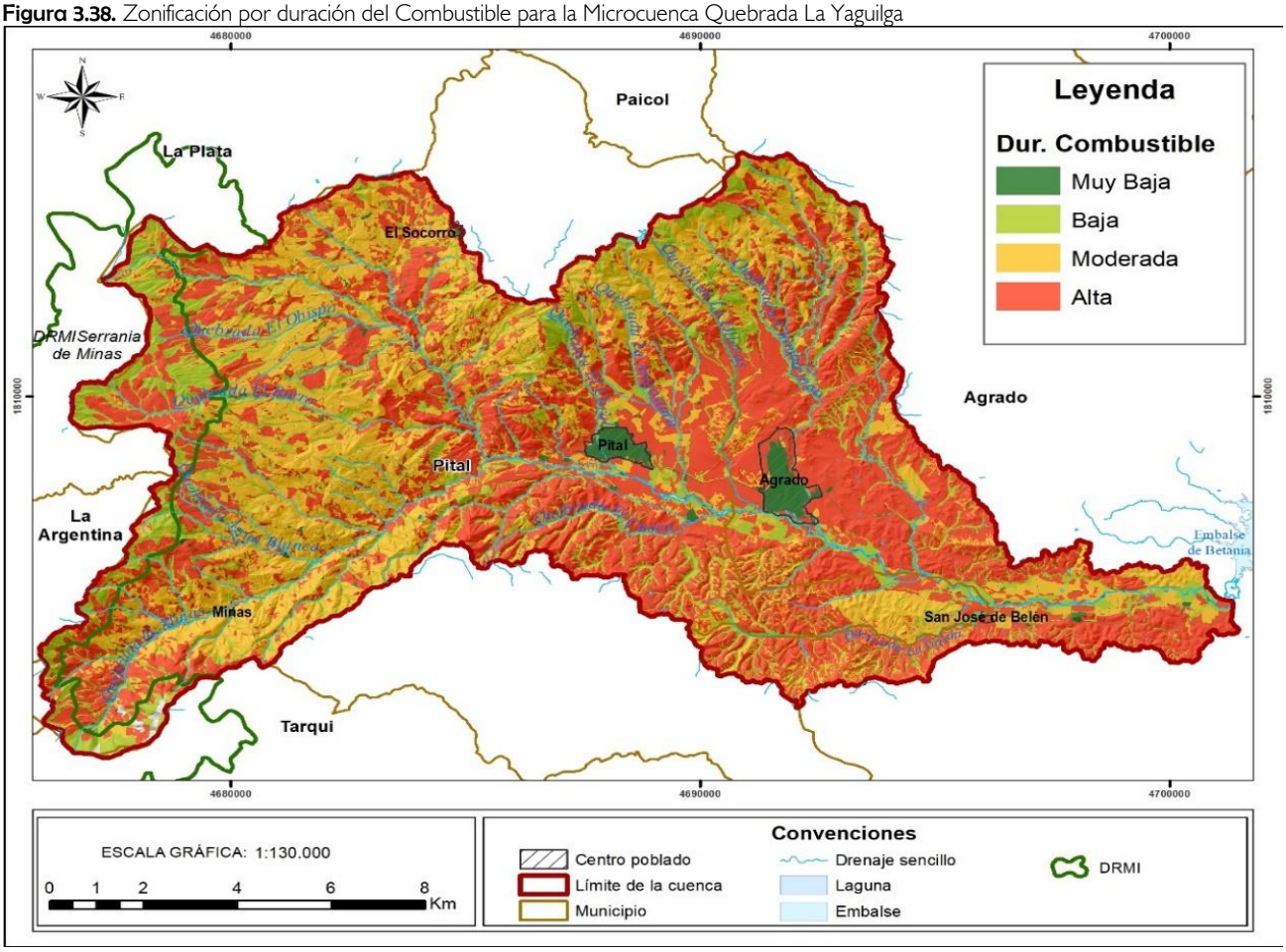
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.37. Descriptivo de duración de Combustible para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga (% de área)



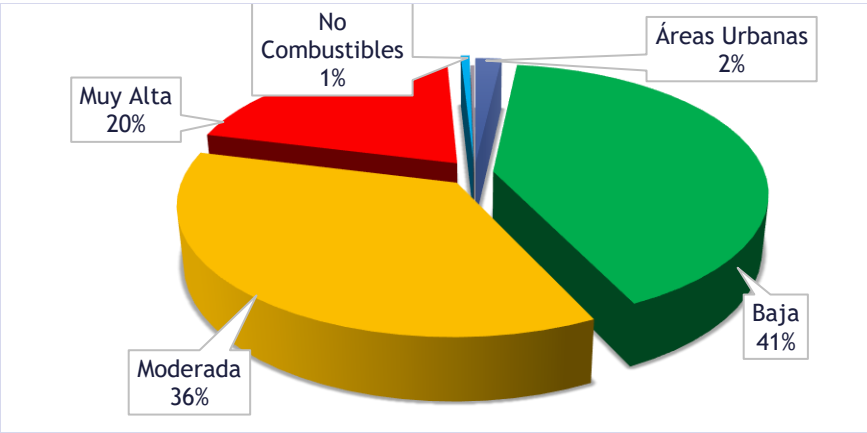
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.38. Zonificación por duración del Combustible para la Microcuenca Quebrada La Yaguilga



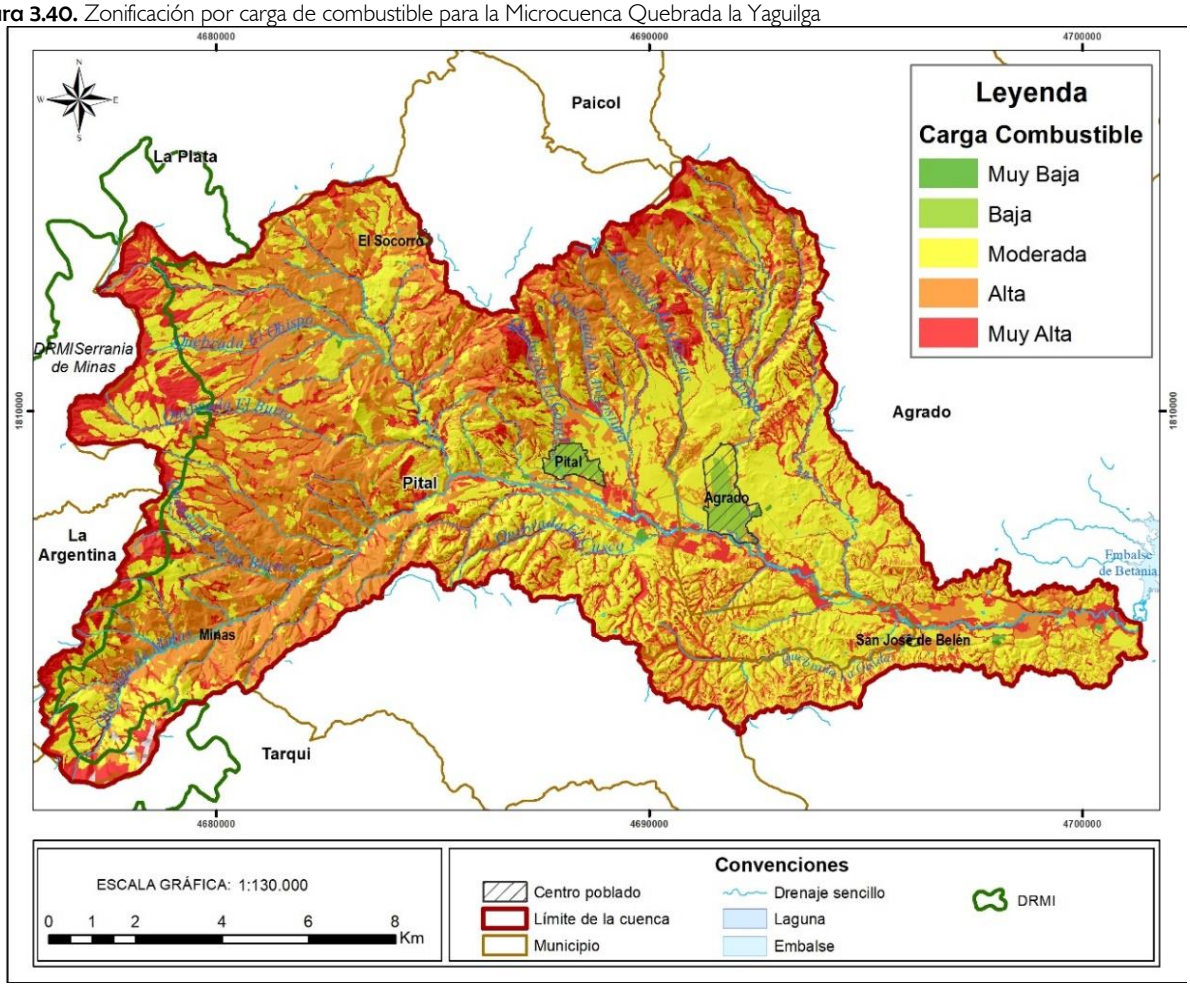
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.39. Descriptivo de carga total de Combustible para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga (% de área)



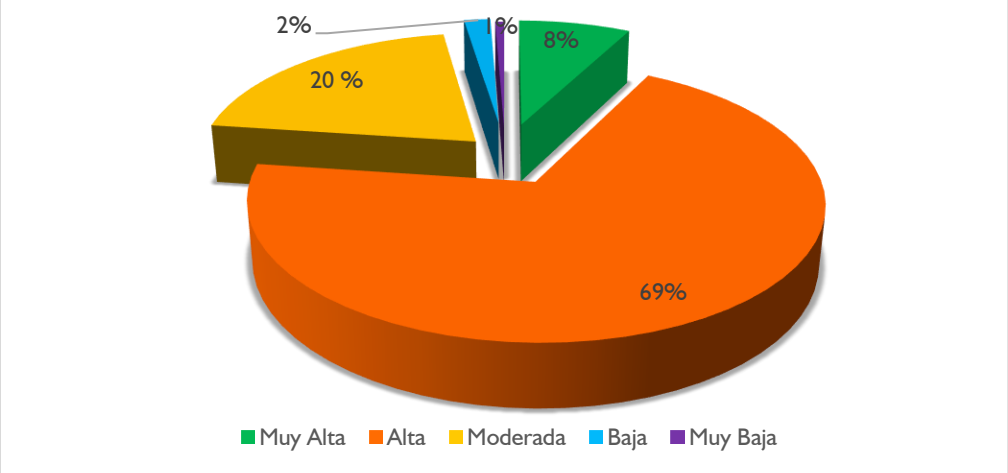
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.40. Zonificación por carga de combustible para la Microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.41. Descriptivo de Susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal Microcuenca Quebrada la Yaguilga (% de área)

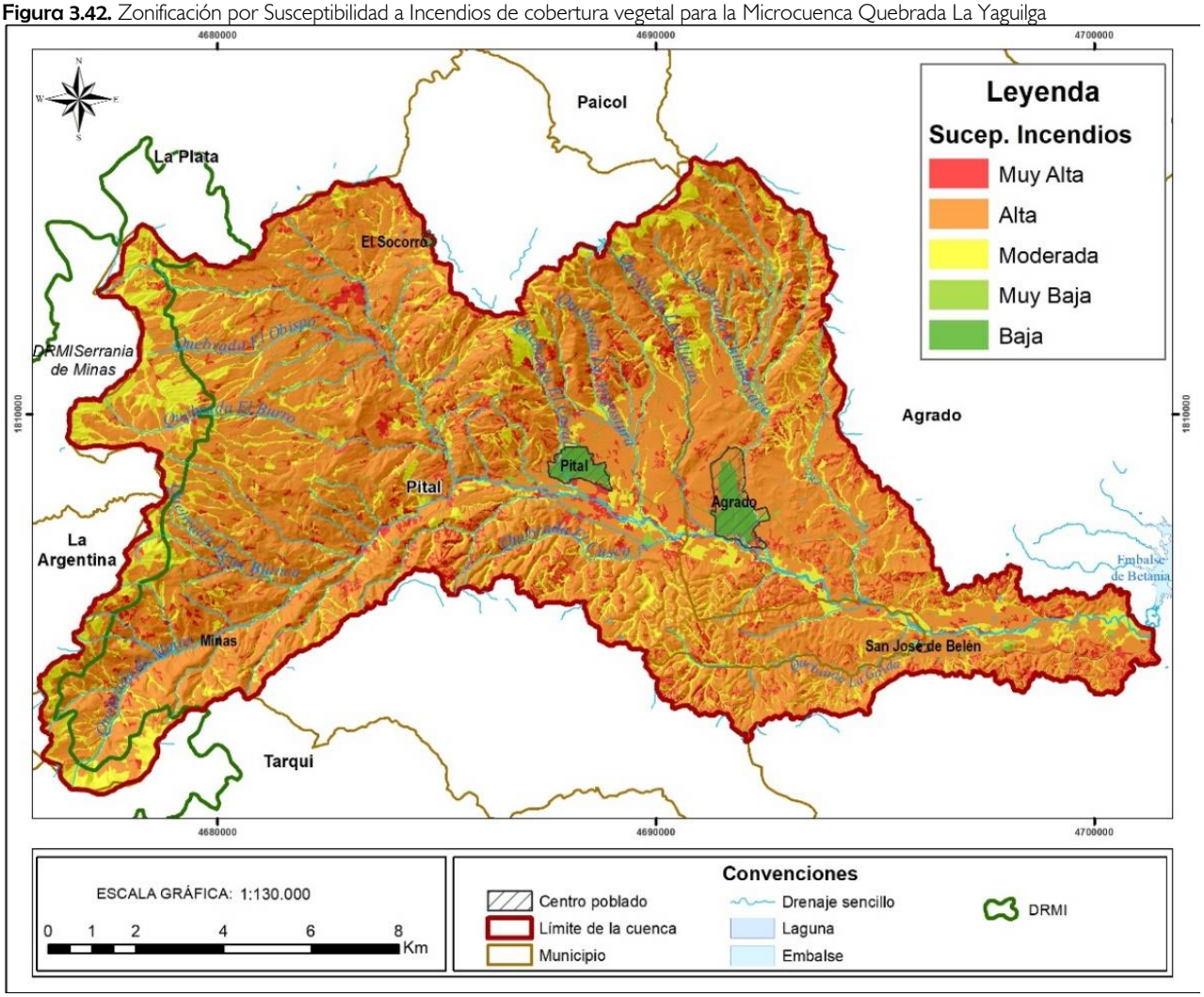


Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

De acuerdo a la salida cartográfica Figura 3.42, se presenta una susceptibilidad alta en los límites entre la vereda El Cauchal - El Socorro, La Mesa - Floramarillo así como parte de Peña Negra ya que en la microcuenca predominan las actividades agropecuaria (cultivos y ganadería). Es de destacar que la porción de árboles (20.21%) y Pastos (38.22%) sembrados es muy considerable teniendo en cuenta que los resultados para el componente de análisis "duración de combustible", muestran datos altos para combustión en una hora (45.88%) y 10 horas (31.20%); es posible que la biomasa aérea por unidad de área aumente las consecuencias en el evento donde se presenten incendios de cobertura vegetal.

En la zona correspondiente a PNR Serranía de las Minas se evidencia una susceptibilidad moderada y en los cascos urbanos municipales es baja.

Figura 3.42. Zonificación por Susceptibilidad a Incendios de cobertura vegetal para la Microcuenca Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

3.5. Erosión

El relieve es un factor formador del suelo, y por tanto tiene gran incidencia en las características edáficas que determinan el uso, el manejo, la conservación y la degradación de este recurso (Moore et al., 1991). En el caso de la degradación por erosión, el relieve es un factor que facilita el transporte y la acumulación del suelo, dependiendo de las características particulares de la forma terreno en las que actúa. Tradicionalmente, la representación cartográfica del relieve y su caracterización se efectúan, como parte de los estudios de los suelos, en forma cualitativa, generalmente mediante la interpretación visual de fotografías aéreas o imágenes de radar, separando unidades o formas de terreno, como base para el mapeo y la caracterización de los suelos.

La erosión es un proceso que comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales superficiales de suelo, por acción de la fuerza de un fluido en movimiento, como el agua o el viento (Suárez, 2001; Kirby, 1980). La erosión genera impactos negativos en el ambiente, a nivel social y económico, afectando la seguridad alimentaria, contribuyen al deterioro de los recursos naturales, limitan el desarrollo de regiones y de zonas de hábitat humano (Lal, 1988).

De acuerdo con los agentes erosivos, los principales tipos de erosión son: hídrica y eólica. La hídrica es un proceso en el que se separan, se transportan y se depositan las partículas del suelo por la acción del agua; ya sea por la precipitación, escorrentía, infiltración y deshielos. Los tipos de erosión hídrica pueden ser salpique, laminar, surcos, barrancos, cárcavas, cauces de agua y oleajes. La erosión eólica es un proceso donde se separan, se transportan y se depositan las partículas del suelo por la acción del viento, ocurriendo la suspensión, saltación o flujo en la superficie (Hazelton y Murphy, 2007; Morgan, 2005; Kirby, 1980). El agua y el viento en movimiento, son las principales fuerzas que generan erosión superficial y la fuerza de gravedad es la principal fuerza que produce remoción en masa. En Colombia, la erosión más importante, por el área que cubre y por la intensidad del proceso, es de tipo hídrico, ya que la eólica se limita solo a algunos lugares específicos.

El modelo para evaluar la erosión en el presente trabajo es Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, USLE, fue desarrollada por Wischmeier (1978), como una metodología para la estimación de la erosión laminar en parcelas pequeñas. Luego de varias modificaciones la ecuación se presenta como una metodología de gran utilidad en la planificación de obras de conservación de suelos.

Se ha considerado que la USLE (Wischmeier, 1978), hasta el momento, representa la metodología más idónea para el cálculo de las pérdidas de suelo; por ello, se ha utilizado esta metodología como una guía para la evaluación de acciones en manejo de cuencas, en especial aquellas que conllevan a un cambio del uso de la tierra y manejo de suelos. De acuerdo a la USLE, la tasa de pérdidas de suelo por erosión se expresa en la siguiente ecuación

$$\boldsymbol{A = R * K * LS * C * P}$$

A: Pérdida estimada promedio de suelo en Ton/ha/año
R: Factor de erosividad de las lluvias (MJ*mm/ha)
K: Factor de erodabilidad del suelo (t·m·hora/ha·hJ·cm)
LS: Factor topográfico, producto de los factores, longitud de pendiente L (metros) y pendiente S (grado)
C: Factor de cobertura del suelo (adimensional)
P: Factor de las prácticas de manejo (adimensional)

3.5.1. Cálculo de los factores que componen el modelo de perdida de erosión USLE

3.5.2. Factor erosividad de la lluvia "R"

El factor R de erosividad de la lluvia corresponde a la sumatoria de los productos de las energías de todos los eventos de lluvias erosivas anuales con respectivas intensidades máximas en 30 minutos, que permite

visualizar la posible agresividad con que la precipitación influye en el proceso de degradación del suelo por erosión hidra. Como un evento de lluvia erosiva se considera a toda precipitación igual o mayor que 12.7 mm.

Debido a la ausencia de Pluviógrafos de Cinta en la zona de estudio que permitieran obtener los datos de las máximas precipitaciones en un periodo de 30 minutos, fue necesario usar para el cálculo del Factor R las metodologías, Índice de Fournier (IF), Índice Modificado de Fournier (IMF), Índice de Concentración de la Precipitación (ICP). Los parámetros climáticos (precipitación) para el cálculo de los índices anteriormente mencionados se usó información del componente climático del PMAM Yaguilga, estaciones meteorológicas y series de datos precipitación 1986-2021. Ver Tabla 3.24

Tabla 3.24. Red de estaciones meteorológicas

Código	Nombre	Categoría	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud msnm
21040020	ANTENA TV	Pluviométrica	4696645.877	1816222.255	2210
21050060	ARGENTINA LA	Pluviométrica	4669485.261	1801344.356	1500
21045010	BETULIA LA	Climática Ordinaria	4699237.187	1810416.278	780
21055020	ESCUELA AGRICOLA LA PLATA	Climática Principal	4678682.757	1821344.028	1070
21030090	JAGUA LA	Pluviométrica	4702265.633	1801712.433	755
21040060	TRES ESQUINAS	Pluviométrica	4690954.983	1801336.771	805

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Para el moldeamiento de los datos se utilizó relaciones lineales propuestas por (Pascual et al., 2001), estas ecuaciones son presentadas a continuación.

$$IF = p^2/P$$

IF: Índice de Fournier
p^2: Precipitación media del mes más lluvioso del año (mm)
P: Precipitación medí anual (mm)

$$\mathbf{IMF} = \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{12}} \frac{\mathbf{p_i}^2}{\mathbf{Pt}}$$

IMF: Índice Modificado de Fournier
IMF: Índice Modificado de Fournier
p_i^2: Precipitación media mensual (mm)
Pt: Precipitación anual (mm)
i: Mes

$$\mathbf{ICP} = \mathbf{100} * \left(\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{12}} \mathbf{p_i}^2 \right) / \mathbf{P}^2$$

ICP: Índice de Concentración de las Precipitaciones
p_i: Precipitación media mensual (mm)
P: Precipitación media anual (mm)
i: Mes

Obtenidos los valores de los índices anteriormente mencionados se procedió a la obtención del Coeficiente de erodabilidad de la lluvia mediante las siguientes relaciones lineales

$$\mathbf{EI30} = \sum_{\mathbf{12}}^{\mathbf{1}} \mathbf{30.4(IMF) + 28.3}$$

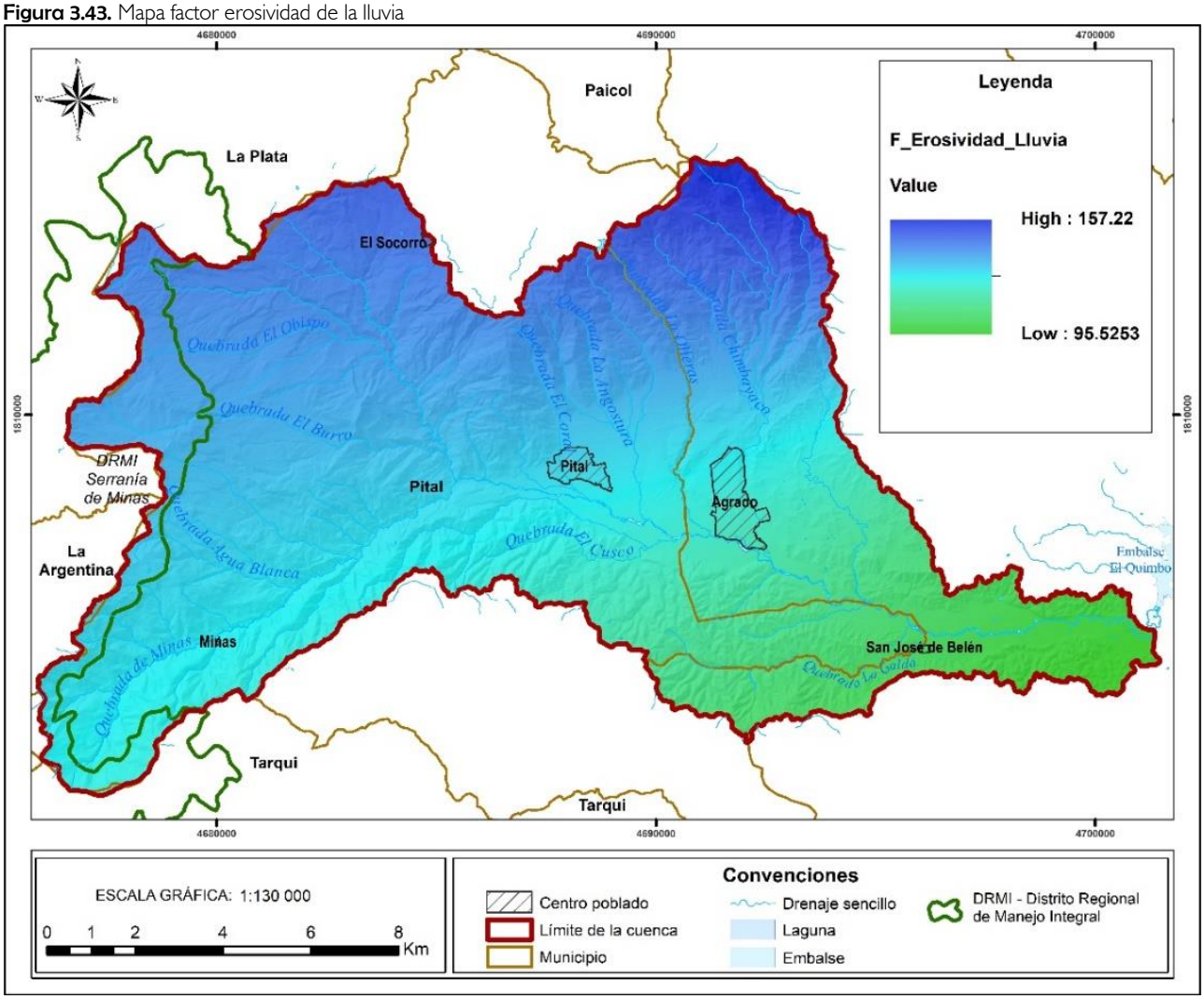
EI30: Erosividad (MJ*mm/ha)
IMF: Índice Modificado de Fournier

$$\boldsymbol{IET = IMF * ICP}$$

IET: Índice de erosividad total
IMF: Índice Modificado de Fournier
ICP: Índice de Concentración de las Precipitaciones

Luego de hecho el análisis de los datos de precipitación bajo los índices anteriormente mencionados se obtuvieron valores del factor de erosividad de la lluvia entre los rangos de 95.5253 (MJ*mm/ha) y 157.22 (MJ*mm/ha), y se realizó la respectiva espacialización del factor "R" dentro de la microcuenca de estudio. Ver Figura 3.43

Figura 3.43. Mapa factor erosividad de la lluvia



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

3.5.3. Factor erodabilidad del suelo "K"

El factor K es el factor de erodabilidad del suelo que representa tanto la susceptibilidad del suelo a la erosión como la tasa de escorrentía, medida bajo las condiciones de una parcela estándar unitaria. Los suelos con alto contenido de arcilla tienen bajos valores de K entre el 0.05 y 0.15. Los suelos con texturas gruesas como los arenosos presentan bajos valores de K entre 0.05 y 0.2, aunque son suelos fácilmente erodables. Los suelos con texturas medias como francos muestran valores moderados de K cerca de 0.25 a 0.4 y los suelos con altos contenidos de limo son los más erodables.

Se usos como referente para la elaboración del factor "K", los datos de los perfiles representativos de suelos, resultados de laboratorio y las unidades geomorfopedológicas obtenidos durante la construcción

del componente de capacidad de usos de las tierras PMAM Yaguilga escala 1:10.000. La información anteriormente mencionada permitió la identificación y posterior extracción de información de propiedades físicas y químicas (Textura, estructura, Carbono orgánico) de las unidades geomorfopedológicas que tienen influencia sobre la zona de estudio con estos datos se pudo clasificar y darle un código de estructura y permeabilidad a cada Unidad de suelo facilitando así su posterior análisis. Para el cálculo del coeficiente de erodabilidad del suelo se usó la ecuación del monograma de Wischmeier citado por Mannaerts (1999).

$$K = \left(\frac{1}{7.594}\right) * \left[\left(2.1 * 10^{-4} * (12 - OM) * M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3)\right)\right]/100$$

K= Factor de erodabilidad del suelo
OM: Materia orgánica (%)
S: Código de la estructura del suelo
P: Código de permeabilidad
M: Producto de las fracciones del tamaño de las partículas primarias o (% limo + % de arena muy fina) *(100 - % arcilla)

Dentro de los valores del factor K en la cuenca se clasifican en un rango entre 0 y 0.7 lo que indica un coeficiente de erodabilidad de bajo a moderado. En la Tabla 3.25 se puede apreciar los valores de erodabilidad del suelo por unidad geomorfopedológicas, en la Figura 3.44 se observa el mapa de unidades geomorfopedológicas y en la Figura 3.45 se puede apreciar la espacialización del factor "K"

Tabla 3.25. Valores coeficiente "K" para unidades geomorfopedológicas

Unidad Geomorfopedológicas	Valor factor K
YA1	0.002
YA2	0.052
YA3	0.117
YA4	0.053
YA5	0.052
YA6	0.186
YA7	0.054
YA9	0.088
YA10	0.049
YA11	0.053
YA12	0.152
YA13	0.119
YA14	0.185
YA16	0.088
YA17	0.12
YA18	0.12

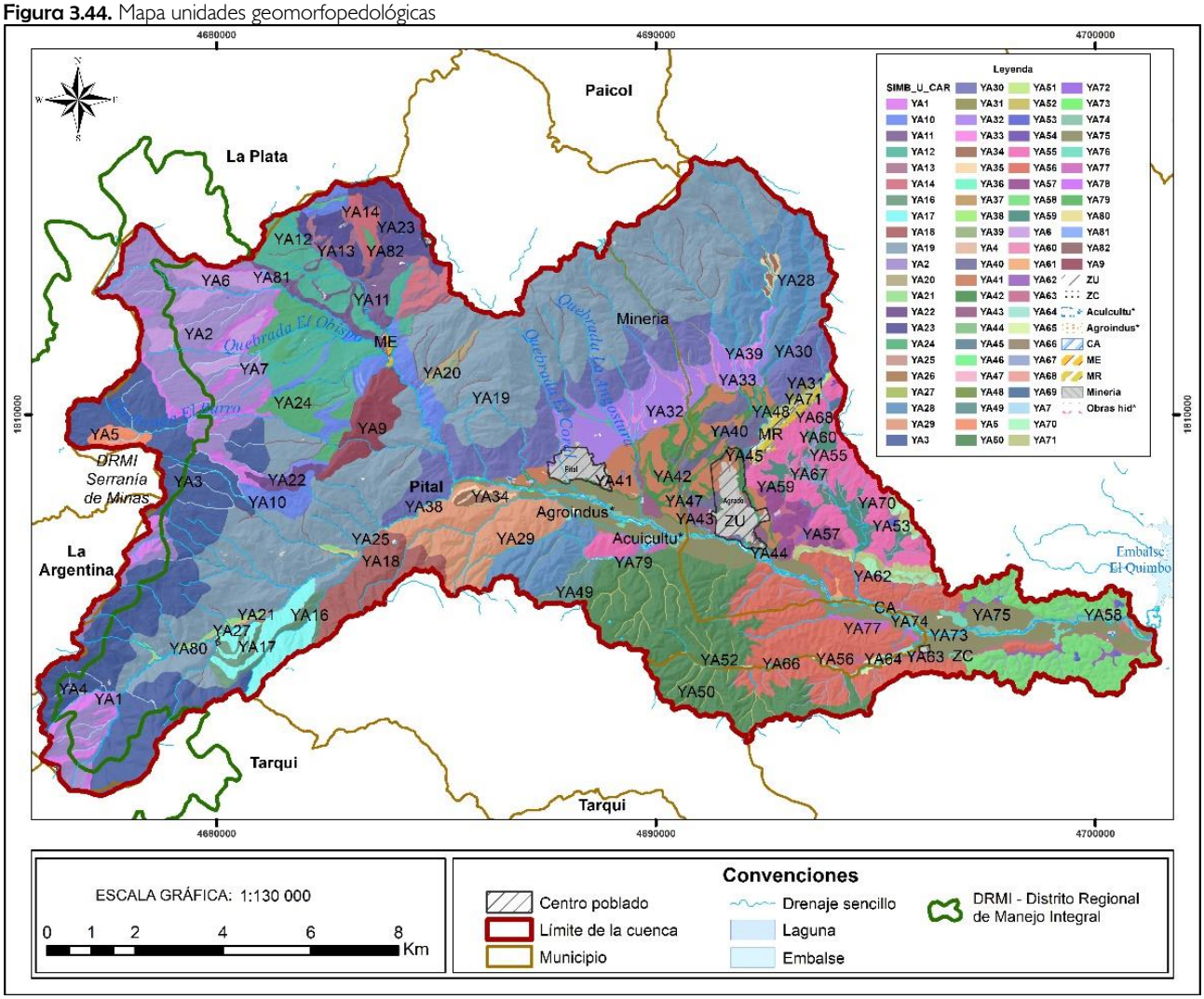
Unidad Geomorfopedológicas	Valor factor K
YA19	0.119
YA20	0.087
YA21	0.087
YA22	0.053
YA23	0.119
YA24	0.053
YA25	0.087
YA26	0.088
YA27	0.087
YA28	0.053
YA29	0.119
YA30	0.12
YA31	0.12
YA32	0.12
YA33	0.12
YA34	0.12

Unidad Geomorfopedológicas	Valor factor K
YA35	0.12
YA36	0.119
YA37	0.12
YA38	0.12
YA39	0.12
YA40	0.185
YA41	0.088
YA42	0.12
YA43	0.088
YA44	0.185
YA45	0.088
YA46	0.088
YA47	0.12
YA48	0.12
YA49	0.087
YA50	0.119
YA51	0.12
YA52	0.12
YA53	0.053
YA54	0.087
YA55	0.087
YA56	0.119
YA57	0.12
YA58	0.054

Unidad Geomorfopedológicas	Valor factor K
YA59	0.121
YA60	0.121
YA61	0.053
YA62	0.185
YA63	0.119
YA64	0.12
YA65	0.119
YA66	0.054
YA67	0.12
YA68	0.119
YA69	0.054
YA70	0.119
YA71	0.12
YA72	0.12
YA73	0.054
YA74	0.087
YA75	0.12
YA76	0.087
YA77	0.12
YA78	0.12
YA79	0.054
YA80	0.119
YA81	0.053
YA82	0.119

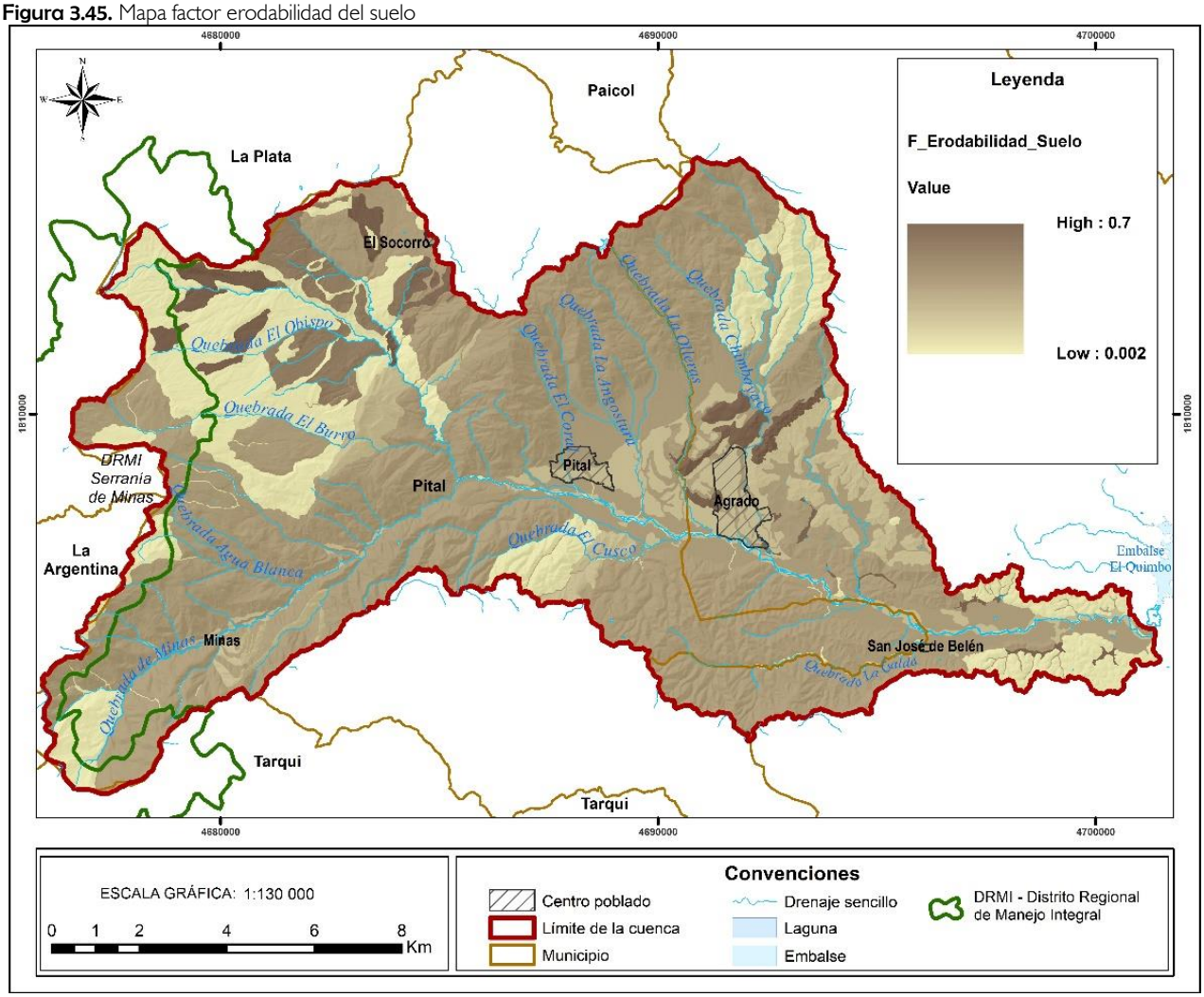
Fuente: CONSORCIO PMAM YAGUILGA

Figura 3.44. Mapa unidades geomorfopedológicas



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.45. Mapa factor erodabilidad del suelo



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

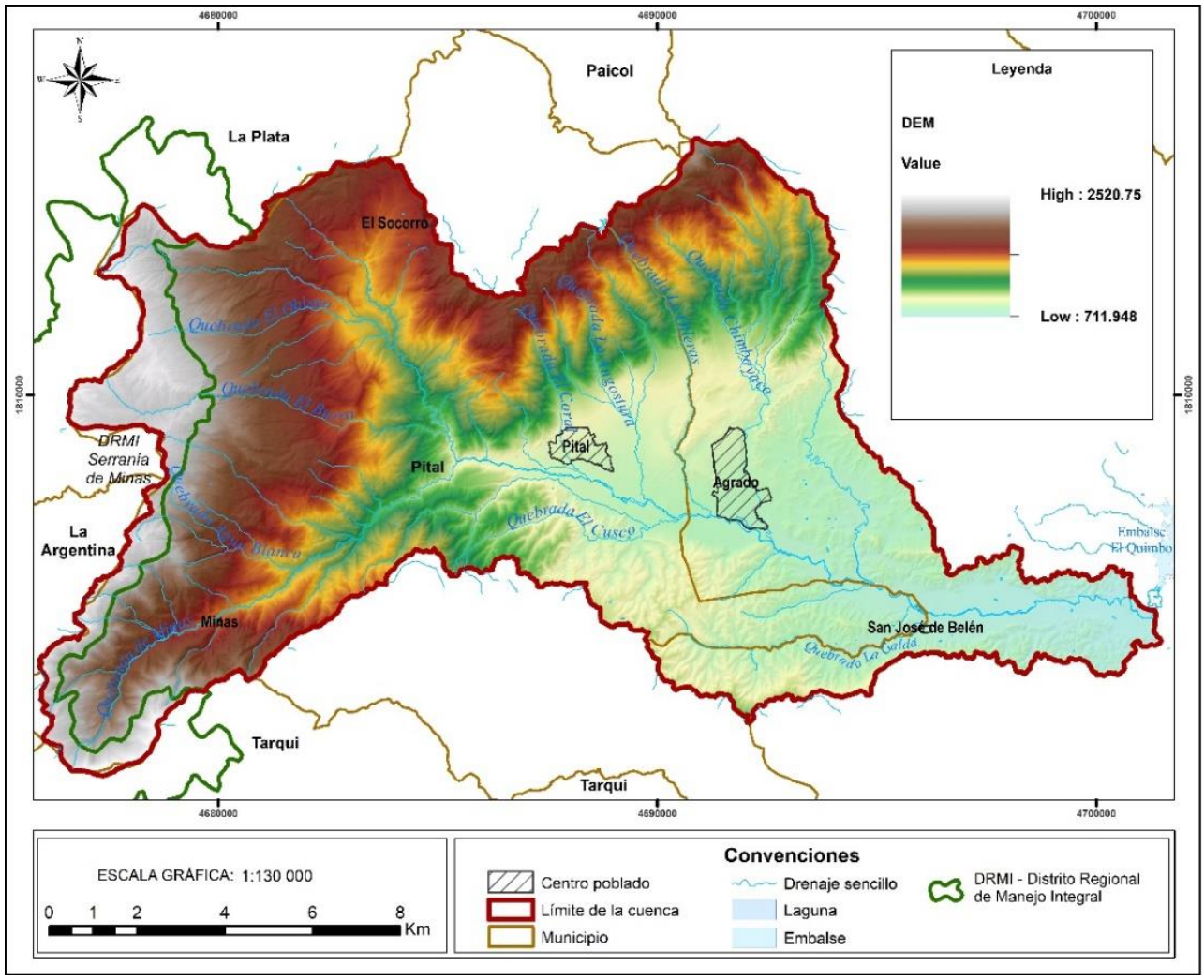
3.5.4. Factores de topografía L y S (longitud y grado de la pendiente)

Conjunto de herramientas que permitieron generar el mapa de pendientes en radianes como insumo principal para generar el factor "L y S" mediante la ecuación (Desmet y Govers, 1996), que se integra en Topographic Indices de SAGA GIS.

Los valores arrojados por el análisis espacial dieron como resultado del factor "L y S" valores que oscilan entre 0 y 8.60.

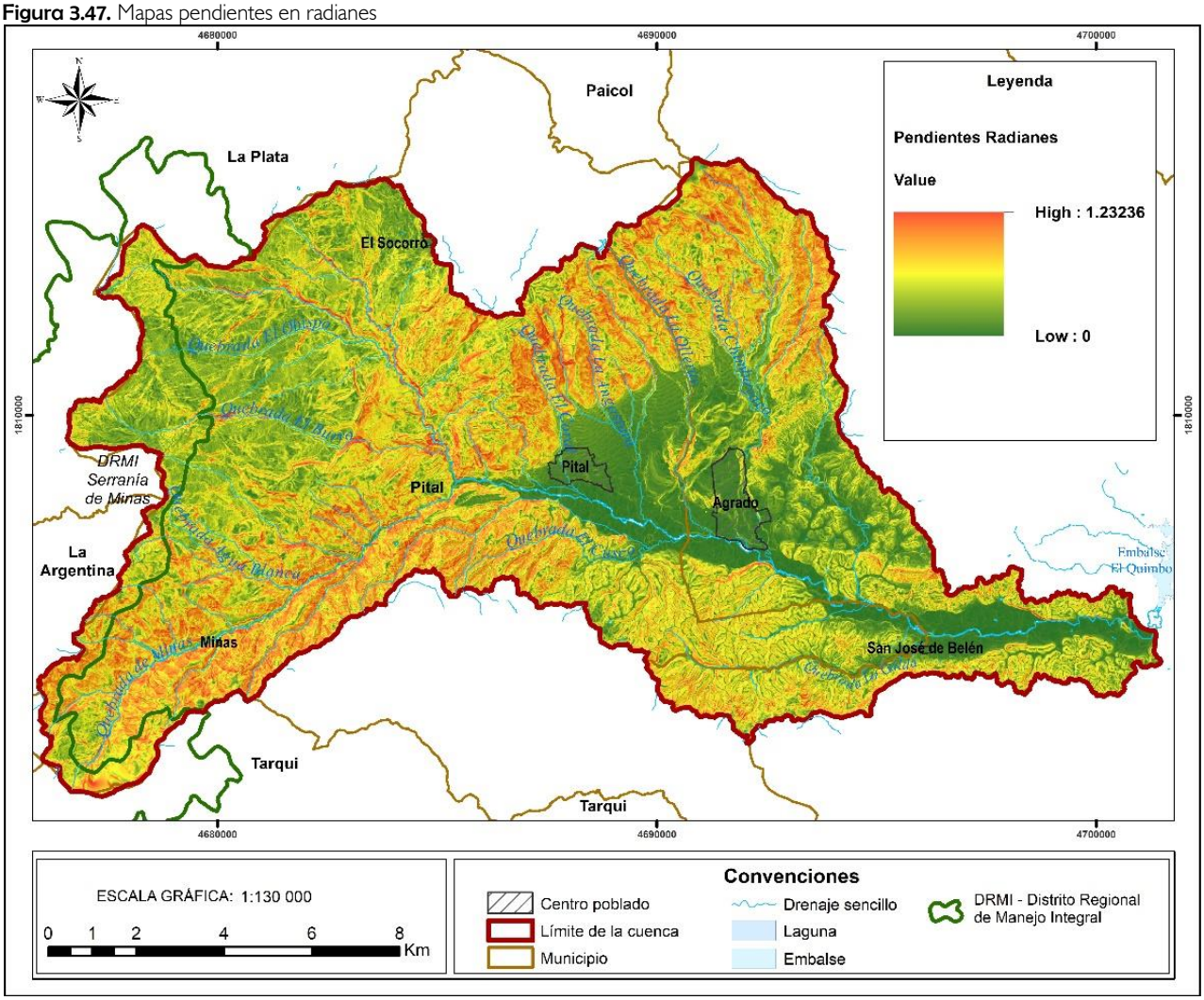
En la Figura 3.46 se observa el DEM de la cuenca, Figura 3.47 mapas pendientes expresado en radianes y Figura 3.48 mapa espacialización factor topográfico.

Figura 3.46. Modelo de elevación digital (DEM) PMAM Yaguilga



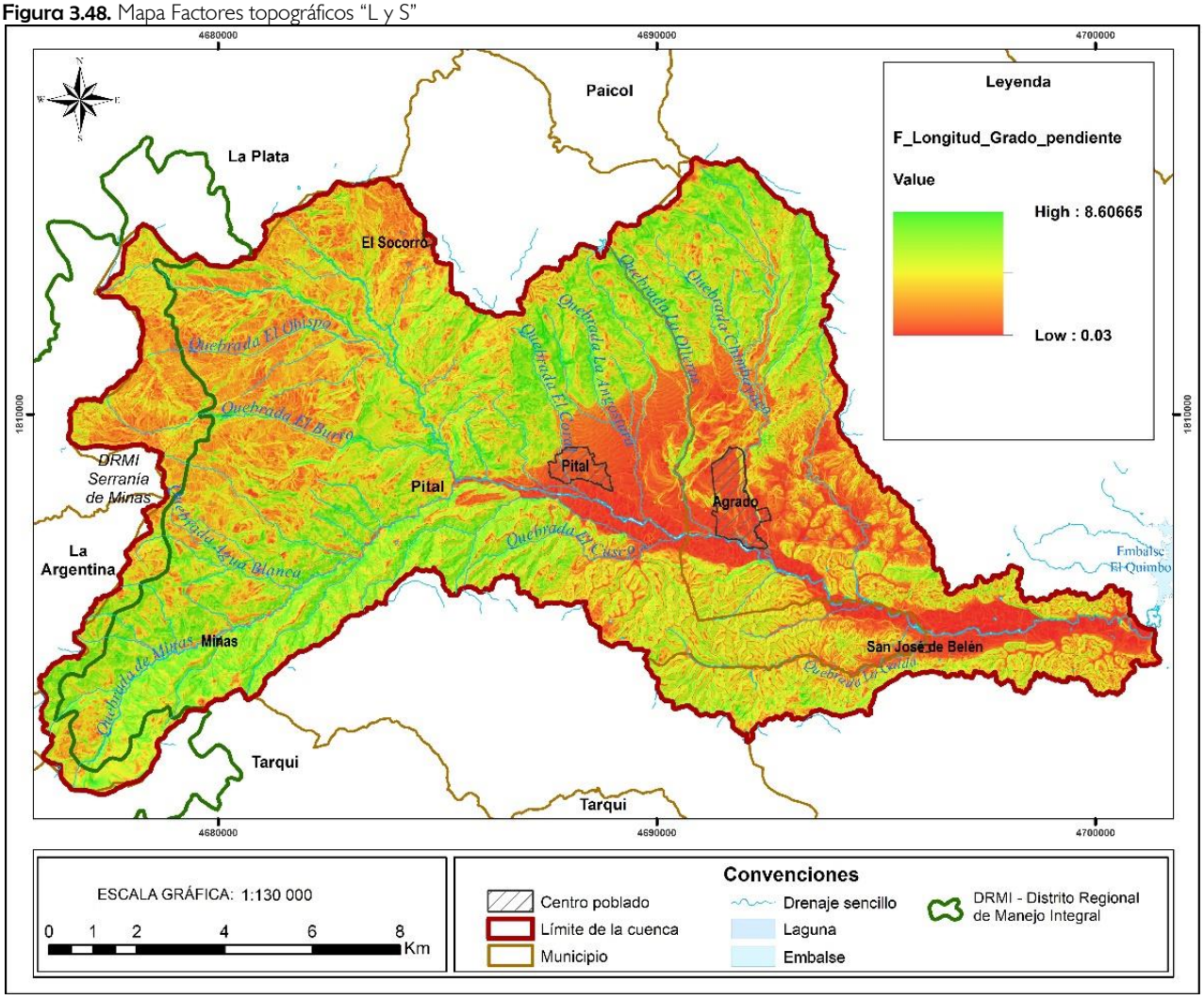
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.47. Mapas pendientes en radianes



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.48. Mapa Factores topográficos "L y S"



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

3.5.5. Factor de cobertura del suelo "C"

El factor C representa el grado de protección que un determinado tipo de cubierta vegetal ofrece al suelo, en oposición al resto de las variables que facilitan la erosión. En otras palabras, en el factor C están representados los efectos del porcentaje de cubrimiento de la vegetación, el efecto protector de los residuos vegetales incluidos en las hojarascas y la acción de la agregación que tiene las raíces en el suelo. En si el valor C aparece como el más subjetivo, especialmente en coberturas forestal, debido a que su determinación se basa en antecedentes de investigación académica.

Para el cálculo del factor de cobertura del suelo, se hizo uso del mapa de coberturas de la tierra metodología Corine Land Cover escala 1:10.000 elaborado en el marco del PMAM Yaguilga. Los valores

del Factor C fueron seleccionados mediante la codificación y nombre asignado a cada tipo de cobertura y valores teóricos para Colombia consultados en trabajos académicos tesis de maestría.

En la Tabla 3.26 se puede observar los valores del Factor "C" asignado a las diferentes coberturas presentes en la cuenca, en la Figura 3.49 se aprecia el mapa de coberturas de la microcuenca Yaguilga y en la Figura 3.50 se evidencia la espacialización del factor de cobertura del suelo.

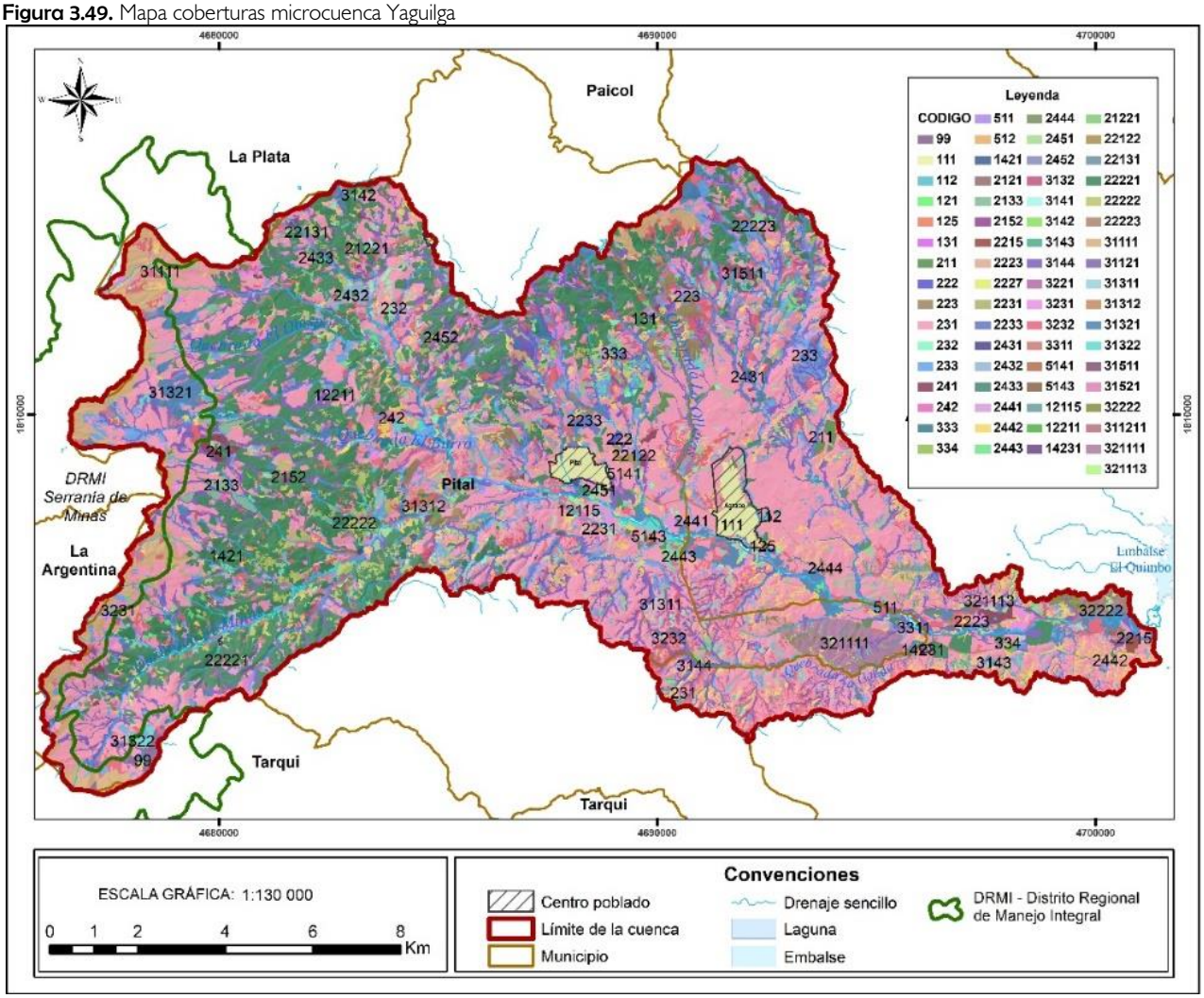
Tabla 3.26. Valores Factor "C" coberturas microcuenca Yaguilga

Código	Cobertura	Factor C
111	Tejido urbano continuo	0.1
112	Tejido urbano discontinuo	0.04
121	Zonas industriales o comerciales	0.2
125	Obras hidráulicas	0.05
131	Zonas de extracción minera	0.95
1421	Áreas culturales	0.1
12115	Agroindustrial	0.1
12211	Red vial	0.1
14231	Condominios	0.1
211	Otros cultivos transitorios	0.7
222	Cultivos permanentes arbustivos	0.4
223	Cultivos permanentes arbóreos	0.375
231	Pastos limpios	0.35
232	Pastos arbolados	0.22
233	Pastos enmalezados	0.55
241	Mosaico de cultivos	0.7
242	Mosaico de pastos y cultivos	0.3
2121	Arroz	0.19
2133	Fríjol	0.4
2152	Yuca	0.43
2215	Papaya	0.21
2223	Cacao	0.5
2227	Lulo	0.375
2231	Otros cultivos permanentes arbóreos	0.375
2233	Cítricos	0.375
2431	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos	0.1
2432	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos	0.1
2433	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	0.1
2441	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos	0.65
2442	Mosaico de pastos con espacios naturales	0.65
2442	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	0.65
2443	Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos	0.65
2444	Mosaico de pastos con otros espacios naturales	0.65
2451	Mosaico de cultivos y espacios naturales arbóreos	0.65
2452	Mosaico de cultivos y espacios naturales arbustivos	0.65
21221	Maíz blanco	0.53
22122	Caña panelera	0.82
22131	Plátano	0.25
22221	Café a plena exposición	0.09
22222	Café con semisombra	0.18
22223	Café con sombrío	0.75
333	Tierras desnudas y degradadas	1
334	Zonas quemadas	1
3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	0.6
3141	Bosque de galería de guadua	0.0136
3142	Bosque de galería con latifoliadas arbolado	0.65
3142	Bosque de galería con latifoliadas arbolado	0.65
3143	Bosque de galería con herbazal y arbustal	0.65
3144	Bosque de galería mixto	0.65
3221	Arbustal denso	0.55
3231	Vegetación secundaria alta	0.55
3232	Vegetación secundaria baja	0.55
3311	Playas	0.9
31111	Bosque denso alto de tierra firme	0.4
31121	Bosque denso bajo de tierra firme	0.3

Código	Cobertura	Factor C
31311	Bosque fragmentado alto con pastos y cultivos	0.65
31312	Bosque fragmentado bajo con pastos y cultivos	0.65
31321	Bosque fragmentado alto con vegetación secundaria	0.6
31322	Bosque fragmentado bajo con vegetación secundaria	0.6
31511	Pino	0.7
31521	Eucalipto	0.7
32222	Arbustal abierto mesófilo	0.65
311211	Bosque denso bajo de guadua	0.0136
321111	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	0.3
321113	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	0.3
511	Ríos	0.05
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0.05
514	Cuerpos de agua artificiales	0.05
5141	Embalses	0.05
5143	Estanques para acuicultura continental	0.05
99	Sin información	0.25

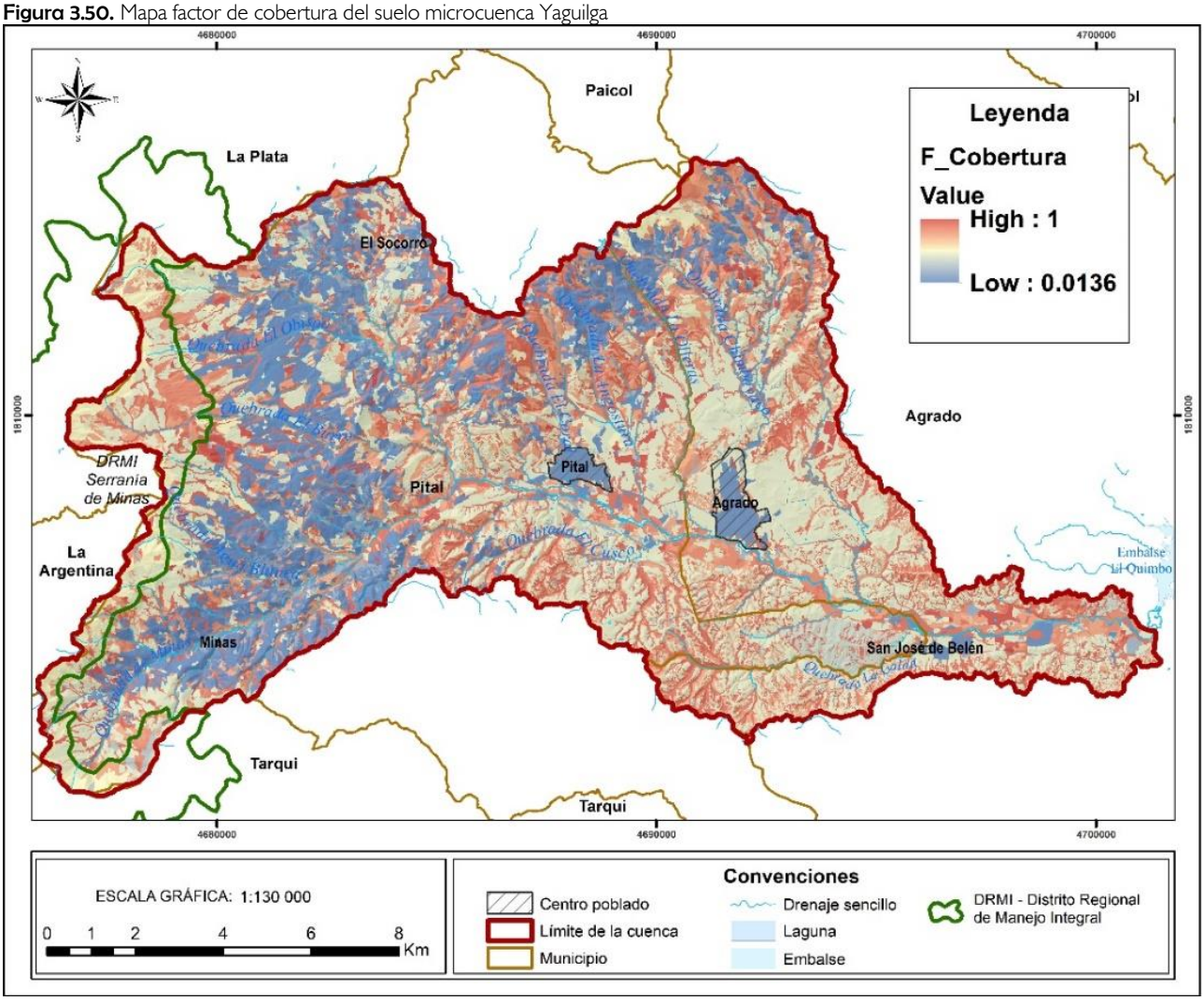
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.49. Mapa coberturas microcuenca Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.50. Mapa factor de cobertura del suelo microcuenca Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

3.5.6. Factor de prácticas de manejo "P"

Muchas veces la presencia de vegetación no evita la producción de escurrimiento superficial. En este sentido, el empleo de prácticas de conservación en el suelo minimiza el efecto del flujo del agua al respecto USLE incluye el factor P de prácticas de conservación para tres situaciones:

- El empleo de labranza siguiendo las curvas de nivel
- El empleo de fajas de cultivo en contorno
- El empleo de terrazas.

Para el caso de nuestro estudio de erosión tomaremos como factor P valor de uno (1) debido a que en la zona de influencia de la microcuenca no se evidencio prácticas de manejo.

3.5.7. Índice de erosión

A partir de la obtención de los 6 factores que componen la ecuación universal de pérdida de suelo USLE, mediante el uso de SIG (Sistemas de Información Geográficos) bajo la plataforma de ArcGIS 10.8, se procedió a combinar los mapas de cada factor con el fin de calcular un valor de índice de erosión total para toda la cuenca de estudio, con la distribución espacial de la erosión se puede iniciar a realizar análisis más puntuales sobre el comportamiento de la variable a nivel de microcuenca, municipio y vereda.

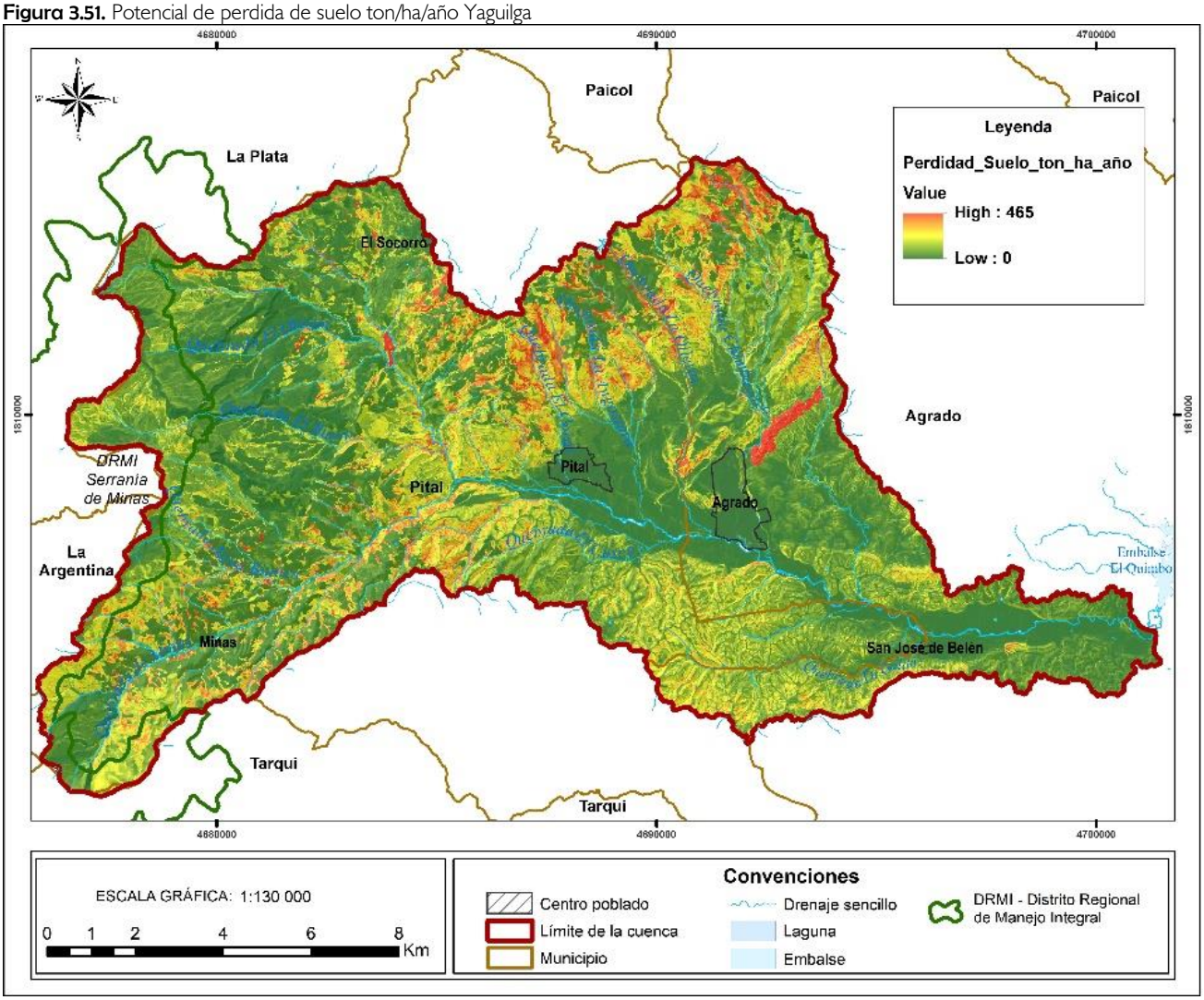
Los valores de la perdida potencial de suelos se expresan en Ton/ha/año y son agrupados en intervalos de acuerdo al postulado de (Gallardo P. 2001) quien define cinco clases de degradación de los suelos basados en las pérdidas Ton/ha/año, lo cual permite localizar de forma rápida y precisa, las zonas de máximo riesgo. Ver Tabla 3.27, Figura 3.51, Figura 3.52.

Tabla 3.27. Clases degradación del suelo

Clase de degradación	Pérdida de suelo (Ton/Ha/Año)
Ninguna o ligera	< 10
Erosión baja	10-25
Erosión moderada	25-50
Erosión alta	50-100
Erosión muy alta	> 100

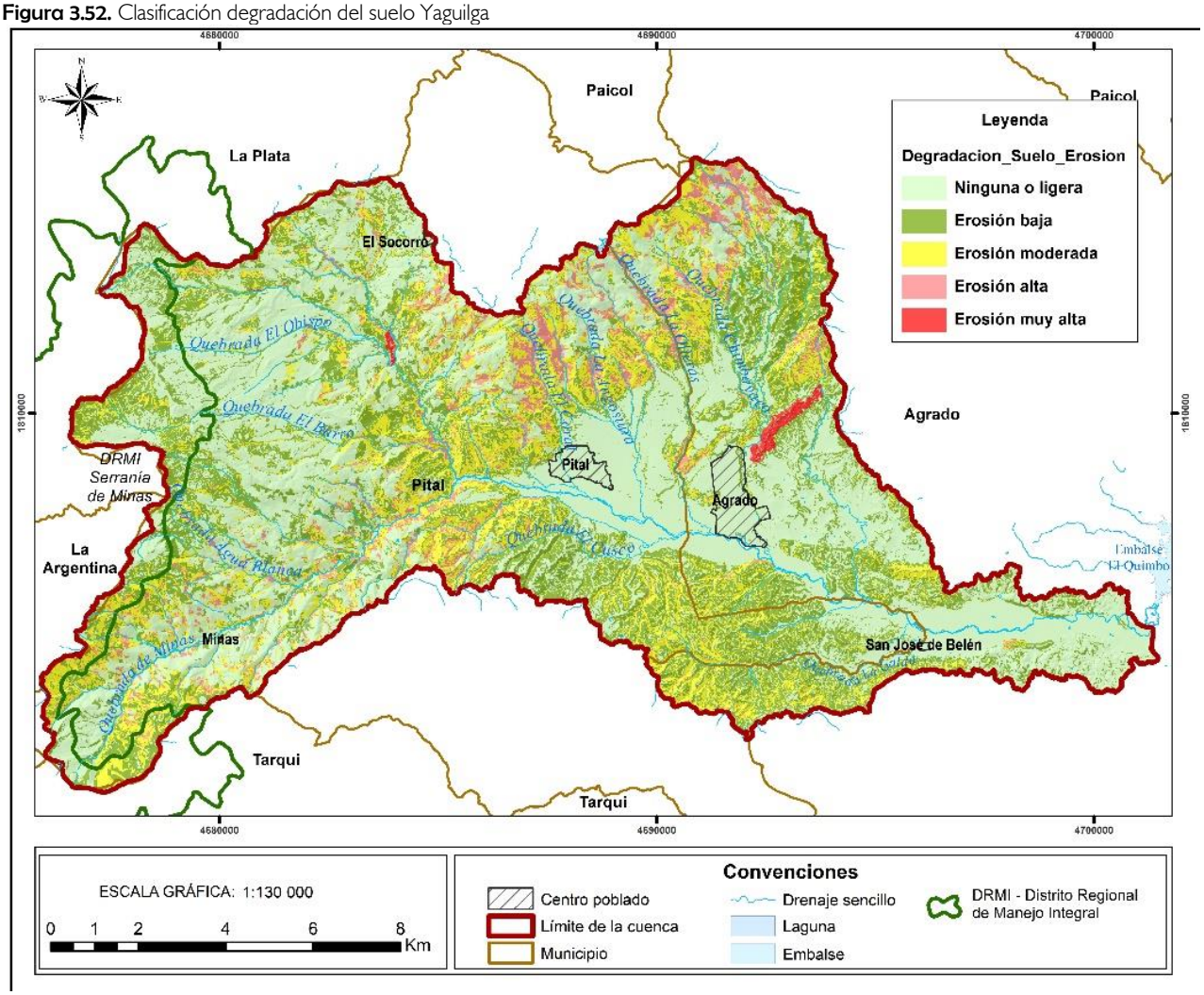
Fuente: Gallardo P. 2001, modificado Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.51. Potencial de perdida de suelo ton/ha/año Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.52. Clasificación degradación del suelo Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

De acuerdo con los resultados cartográficos del potencial de perdida de suelos ton/ha/año y las clases de degradación y mediante la aplicación de estadística usando plataformas GIS (ArcGIS 10.8) se obtuvieron los siguientes resultados.

A nivel de la microcuenca quebrada Yaguilga se tiene que el 50% del área presenta degradación ligera, el 26% erosión baja, el 18% erosión moderada, el 5% erosión alta y el 0.3% erosión muy alta. El potencial de perdida de suelo promedio anual es de 17 ton/ha/año que multiplicado por el área de la cuenca proyecta una pérdida anual de suelo alrededor de 318 064 toneladas anuales. Ver Figura 3.51.

Tabla 3.28. Áreas afectadas por erosión microcuenca Yaguilga

Clasificación degradación	Área Ha	Área Porcentaje

Ninguna o ligera	9226.3	50%
Erosión baja	4901.6	26%
Erosión moderada	3433.8	18%
Erosión alta	986.9	5%
Erosión muy alta	64.3	0.3%
Total	18612.9	100%

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Tabla 3.29. Potencial de perdida de suelo microcuenca Yaguilga

Microcuenca	Área Ha	Perdida promedio ton/ha/año	Pérdida total anual toneladas
Quebrada Yaguilga	18612.9	7	318 064

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

A nivel municipal el Agrado puede llegar a presentar pérdidas anuales de suelo que oscilan entre las 100 060 toneladas, siendo las veredas con mayor afectación por perdida de suelo: Chimbayaco con 44 023.9 ton, seguida por Yaguilga 21 567.8 ton y Bajo Buenavista 19 573.5 ton. Ver Tabla 3.30

Tabla 3.30. Potencial de perdida de suelos municipio del Agrado

Vereda	Área Ha	Perdida promedio ton/ha/año	Perdida Total, anual ton
YAGUILGA	1815.27	11.9	21 567.8
SABANETA	409.64	28.2	11 546.2
BAJO BUENAVISTA	1199.94	16.3	19 573.5
CHIMBAYACO	2243.51	19.6	44 023.9
MONTECITOS	151.33	20.0	3 024.7
EL CARMEN	153.06	2.1	323.7
Total, Municipal			100 060

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

En el municipio del Pital se proyectan perdidas anuales de suelo que se encuentran alrededor de 196 224.9 toneladas, las veredas con mayor afectación por perdida de suelos son: Chorrillos 20 555.5 ton, Peña Negra 16 852.0 ton y Alto Líbano 12 562.7 ton.

Tabla 3.31. Potencial de perdida de suelos municipio del Pital

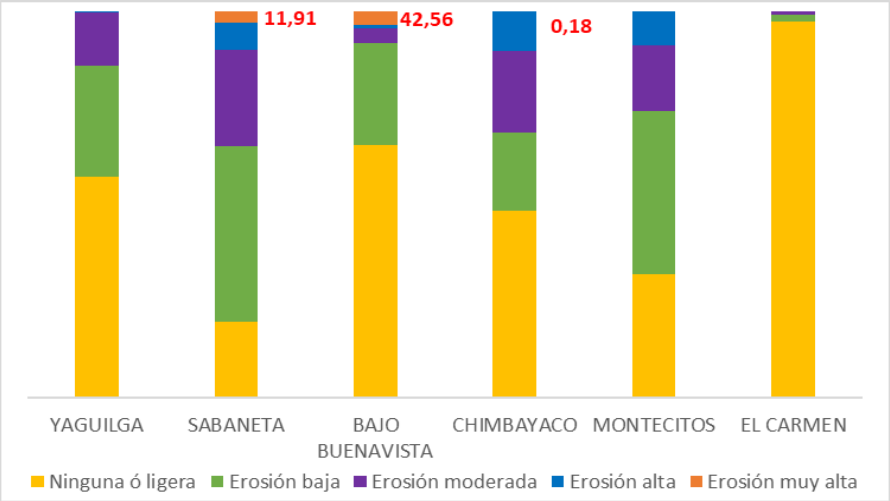
Vereda	Área Ha	Perdida promedio ton/ha/año	Perdida Total, anual ton
ARRAYAN	2.43	8.2	20.0
ALTO LÍBANO	697.01	19.5	13 594.6
LA GALDA	1219.94	14.8	18 075.1
SAN ANTONIO	303.57	18.7	5 686.7
EL CUSCO	830.9	13.7	11 409.2
FLOR AMARILLO	453.43	26.8	12 144.3
CHORRILLOS	1006.08	23.1	23 234.3

Vereda	Área Ha	Perdida promedio ton/ha/año	Perdida Total, anual ton
LA FLORIDA	455.41	9.7	4 401.5
PEÑA NEGRA	760.16	26.1	19 875.7
CAUCHAL	593.38	16.7	9 884.4
INDEPENDENCIA	9.08	15.7	142.5
EL UVITAL	358.26	13.6	4 872.6
LOS ALPES	23.11	27.4	633.8
EL SOCORRO	316.57	14.7	4 659.2
LAS MINAS	508.22	18.6	9 430.5
BAJO MINAS	183.53	18.5	3 396.5
LAS MERCEDES	255.53	21.8	5 570.5
PLAYA RICA	101.4	17.3	1 755.8
LA MESA	225.43	25.3	5 711.2
EL AMPARO	182.44	8.8	1 603.4
SANTA ROSA	487.01	21.2	10 319.6
EL CARMELO	843.2	14.4	12 176.1
EL RECREO	479.46	9.4	4 511.6
EL RETIRO	575.78	16.0	9 228.6
LOS OLIVOS	863.25	8.4	7 251.2
EL MIRADOR	293.47	33.5	9 821.4
SAN MIGUEL	341.79	23.6	8 069.8
Total, Municipal			**217 480**

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

En cuanto a susceptibilidad a la erosión representado por área afectada, para el municipio del Agrado, las veredas Sabaneta, Bajo Buenavista y Chimbayaco son las más sensibles a erosión muy alta como lo muestra en la Figura 3.53

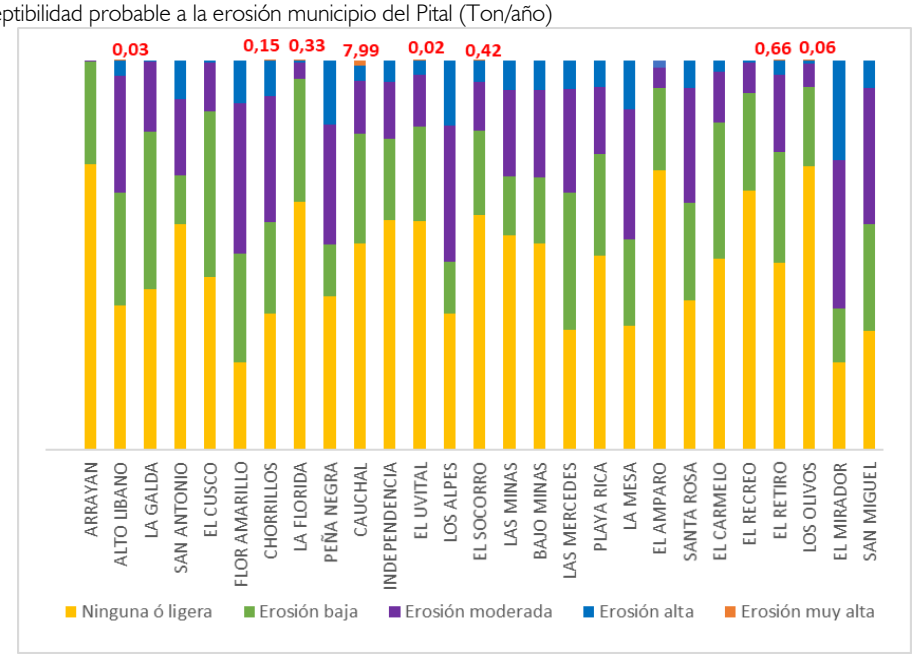
Figura 3.53. Susceptibilidad probable a la erosión municipio del Agrado (Ton/año)



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Para el municipio del Pital, las veredas Cauchal, Alto Líbano, Chorrillos, La Florida, El Uvital, El Socorro, El Recreo y El Retiro, presentan grados de susceptibilidad a la erosión muy alta, como lo muestra la Figura 3.54.

Figura 3.54. Susceptibilidad probable a la erosión municipio del Pital (Ton/año)



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

3.6. Desertificación

3.6.1. Definición

La desertificación se define como la degradación de las tierras en zonas áridas, semiáridas y zonas subhúmedas secas, como resultado de diversos factores, incluyendo variaciones climáticas y actividades humanas". Por zonas áridas, semiáridas y seco-subhúmedas se entiende "aquellas zonas en las que la relación entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial está comprendida entre 0,05 y 0,65, excluidas las regiones polares y subpolares". (CNULD, 2017).

Es un proceso gradual de pérdidas de productividad del suelo y de reducción de cubierta vegetal con importantes implicaciones sobre la economía, la sociedad y el medio ambiente. Entre las causas humanas de la desertificación se destacan: la aplicación de tecnologías inadecuadas, el sobre pastoreo, deforestación y las prácticas de regadío deficientes (Ruiz, y Febles, 2004); En la Figura 3.55 se incluyen dentro de las causas subyacentes, directas e indirectas.

De acuerdo a la información presentada en el módulo de formación Conceptos y contexto de la gestión y el riesgo de desastres y el cambio climático, organizado por el Departamento de Desarrollo Humano, Educación y Empleo (DDHEE) de la Organización de los Estados Americanos (OEA, 2017) y la plataforma Estructuralia, existen afectaciones al ambiente relacionadas con el proceso de la desertificación, que además, acelera otros procesos de deterioro del medio ambiente. Algunos postulados son:

Evidencia física

- *Los aumentos en la temperatura media global en superficie, con respecto a los niveles preindustriales, afectan a los procesos involucrados en la desertificación (escasez de agua), la degradación de la tierra (erosión del suelo, pérdida de vegetación, incendios forestales, deshielo del permafrost) y la seguridad alimentaria (rendimiento de los cultivos e inestabilidad del suministro de Riesgos asociados con la desertificación.*
- *En las zonas áridas, se prevé que el cambio climático y la desertificación causen reducciones en la productividad de los cultivos y del ganado (nivel de confianza alto), modifiquen la mezcla de especies de plantas y reduzcan la biodiversidad (nivel de confianza medio). Según la trayectoria SSP2, se prevé que la población de las zonas áridas vulnerable al estrés hídrico, a la intensidad de la sequía y a la degradación del hábitat ascienda a 178 millones de personas para 2050 con un calentamiento de 1,5 °C, y que aumente a 220 millones de personas con un calentamiento de 2 °C, y a 277 millones de personas con un calentamiento de 3 °C.*
- *Para la desertificación y la degradación de la tierra, se establecen magnitudes con respecto al extremo inferior de las estimaciones actuales de tierra degradada, de 10 a 60 millones de km^2. El umbral para la categoría de magnitud "grande" representa el 30 % de la estimación inferior. Para la seguridad alimentaria, se establecen magnitudes con respecto a los aproximadamente 800 millones de personas que actualmente están subalimentadas. El umbral para la categoría de magnitud "grande" representa el 12,5 % de ese total.*

- *Entre los riesgos crecientes asociados con la desertificación figura la exposición y vulnerabilidad de las personas a la escasez de agua en las zonas áridas. Los riesgos relacionados con la degradación de la tierra incluyen el aumento de la degradación del hábitat, la exposición de la población a incendios forestales e inundaciones y el costo de las inundaciones. E alimentos). Los cambios en esos procesos generan riesgos para los sistemas alimentarios, los medios de subsistencia, la infraestructura, el valor de la tierra y la salud humana y de los ecosistemas.*

Alternativas

- *Muchas actividades para combatir la desertificación pueden contribuir a la adaptación al cambio climático con co-beneficios de mitigación, así como a detener la pérdida de biodiversidad con co-beneficios de desarrollo sostenible para la sociedad.*
- *Evitar, reducir e invertir el proceso de desertificación mejoraría la fertilidad del suelo y aumentaría el almacenamiento de carbono en los suelos y la biomasa, al tiempo que beneficiaría a la productividad agrícola y la seguridad alimentaria.*
- *Prevenir la desertificación es preferible a intentar restaurar la tierra degradada debido a los posibles riesgos residuales y resultados no adecuados.*
- *Las medidas para combatir la desertificación pueden promover el secuestro de carbono en el suelo (nivel de confianza alto). La restauración de la vegetación natural y la plantación de árboles en tierras degradadas enriquecen, a largo plazo, el carbono de la capa superficial del suelo y el subsuelo (nivel de confianza medio). Las tasas modelizadas de secuestro de carbono tras la adopción de prácticas agrícolas de conservación en zonas áridas dependen de las condiciones locales (nivel de confianza medio). Si se pierde el carbono del suelo, las reservas de carbono pueden tardar bastante tiempo en recuperarse.*

Los principales agentes biofísicos que provocan la desertificación son la pérdida de cubierta vegetal, la reducción de materia orgánica del suelo, los cambios adversos en las propiedades físicas y químicas del suelo, y la erosión eólica e hídrica (Chen et al. 2002).

La distribución espacial de las áreas con disminución de la productividad, generalmente, suele guardar relación
con la rápida expansión de la producción de cultivos y la ganadería, en detrimento de bosques secos primarios de alto valor ecológico.

Tabla 3.32. Escaneo de información sobre degradación de suelos a nivel Global – Caso de estudio: Colombia

País	Zona degradada (km^2)	% Territorio	% Superficie degradada global	% Población total	Personas afectadas
Colombia	291295	25.58	0.818	36.02	16 309 420

Fuente: Adaptado de Bai *et. al* (2008) - Evaluación global indirecta de la degradación de las tierras

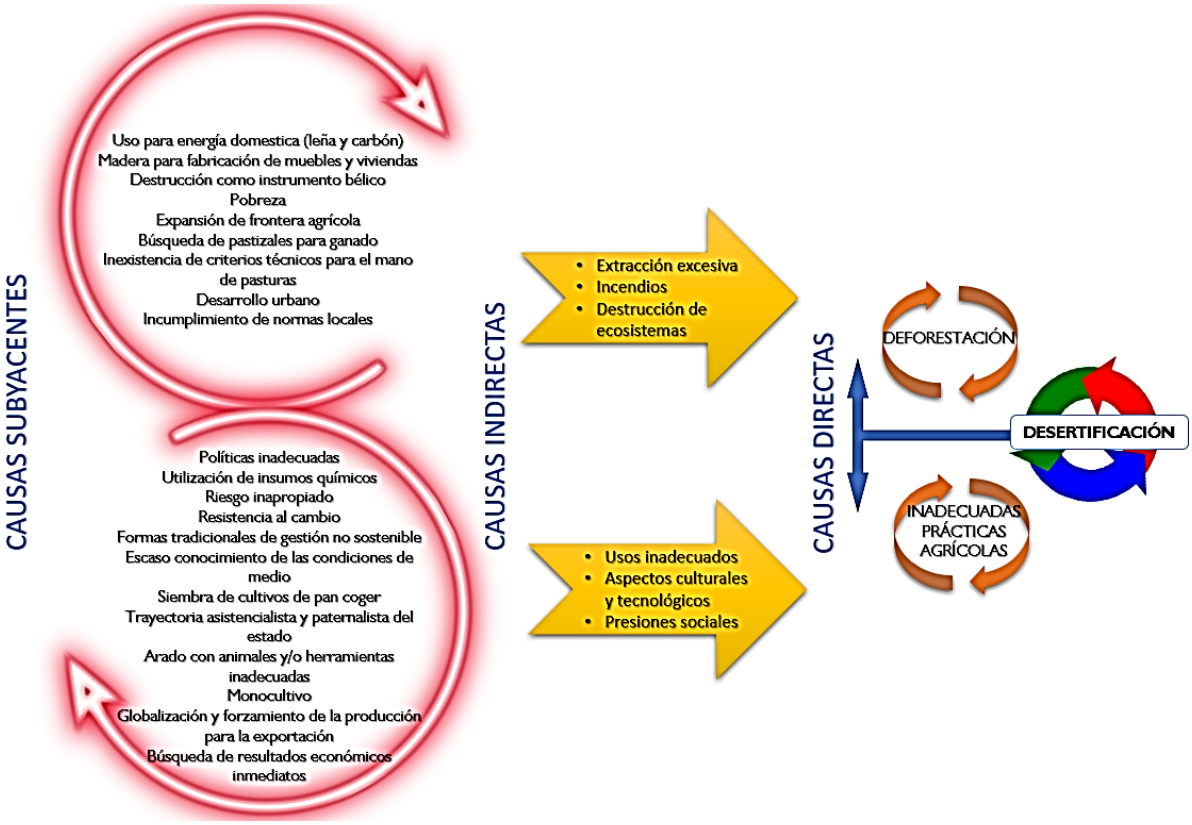
Uno de los principales mecanismos para determinar los impactos en el tiempo de la desertificación es el suelo; según La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA), el suelo posee esencialmente cuatro servicios ecosistémicos:

- Soporte: conforma la base para el ciclado de nutrientes; mediante interacciones físicas y químicas unidas a la temperatura y humedad, permite la formación de suelo fértil y soporta tanto la producción espontanea de alimentos, como la agricultura tradicional o tecnificada, así como sistemas pecuarios, silvícolas y forestales.
- Provisión: Transporta, almacena y confina agua, permite el crecimiento de especies maderables de uso doméstico e industrial, almacena combustible no refinado y es fuente de crecimiento de alimentos.
- Regulación: Captura carbono al igual que otros gases, purifica agua, es origen y destino final de sustancias en descomposición.
- Cultural: alberga escenarios naturales que se usan para la educación, la cultura y las actividades espirituales.

Asimismo, para UNCCD (2017) existen funciones de los ecosistemas naturales en la mitigación de desastres:

- Reducción de la presión (particularmente la ejercida por el pastoreo) para disminuir la formación de desierto, y
- Conservación de poblaciones de plantas resistentes a la sequía que sirvan de alimento en épocas de sequía.

Figura 3.55. Causas de la Desertificación



Fuente: Disponible en https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1591/1938

3.6.1.2. *Tipificación de la Desertificación*

El último Atlas Mundial de Desertificación, publicado en 2018 por la Comisión Europea, su propuesta es identificar aquellos lugares que pueden ser más proclives a la degradación al coincidir en ellos una serie de factores que amenazan el equilibro entre el uso de recursos y su regeneración (Martínez, Guirado y Maestre, 2021).

De acuerdo a la CLD la desertificación se presenta en zonas áridas, semiáridas, subhúmedas a secas. Para identificar estas zonas la CLD reporta un indicador climático para ubicar la desertificación en cualquier lugar del mundo. Sin embargo, la desertificación está relacionada no solo con factores climáticos sino con los procesos de degradación de suelos tales como: erosión, compactación, salinización, pérdida de la materia orgánica entre otros. En Colombia muchos de estos procesos son evidentes tanto en zonas secas cómo en las húmedas y muy húmedas (IDEAM, 2010).

Tabla 3.33. Clasificación de las zonas sensibles a la desertificación según CLD

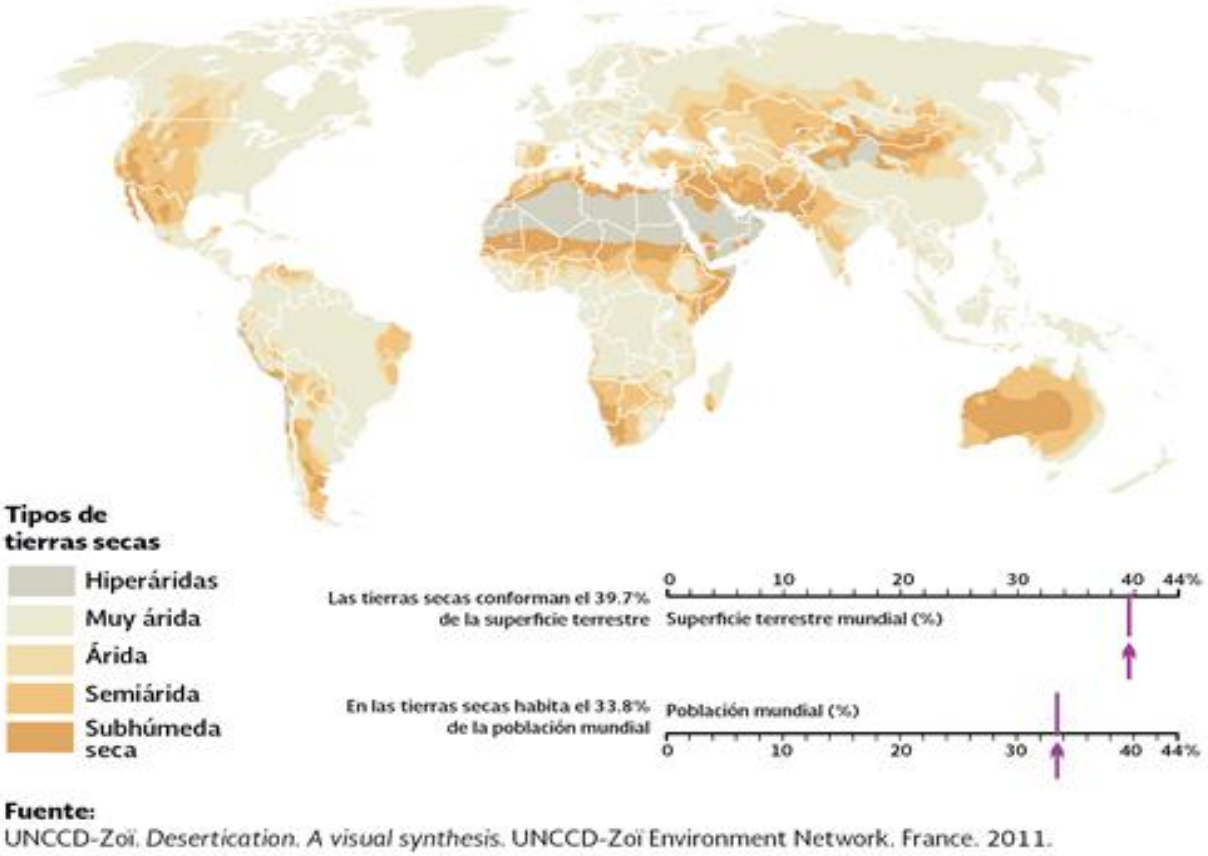
Relación P/ ETP	Tipo de Clima
Menor a 0.05	Hiperárido
De 0.05 a 0.20	Árido
De 0.20 a 0.45	Semiárido

Relación P/ ETP	Tipo de Clima
De 0.45 a 0.70	Subhúmedo seco
Mayor a 0.70	Húmedo

Fuente: IDEAM (2010).

De acuerdo a los datos reportados por la SEMARNAT (2012), el 12.1% de la superficie terrestre del planeta corresponde a zonas áridas; 17.7% a zonas semiáridas y 9.9% a subhúmedas secas. En ellas viven poco más de 2 mil millones de personas (aproximadamente 1 de cada 3 habitantes del planeta), la mayoría en países en vías de desarrollo. Además, las zonas secas albergan alrededor del 50% del ganado y el 44% de las tierras agrícolas del mundo.

Figura 3.56. Distribución de tierras secas en el mundo 2011



Fuente:
UNCCD-Zoï. *Desertication. A visual synthesis.* UNCCD-Zoï Environment Network. France. 2011.

3.6.1.3. *Principales Efectos de la desertificación*

- *En medio físico*: según el profesor Francisco Jiménez del CATIE en su módulo de enseñanza de la agroforestería (2001), los efectos de la desertificación se pueden dividir en procesos primarios (alto impacto en la producción como y modificación del ecosistema como la degradación de la cobertura vegetal, erosión, salinización y modificación) y secundarios (subordinados de los primarios como la degradación física, química y biológica del suelo).

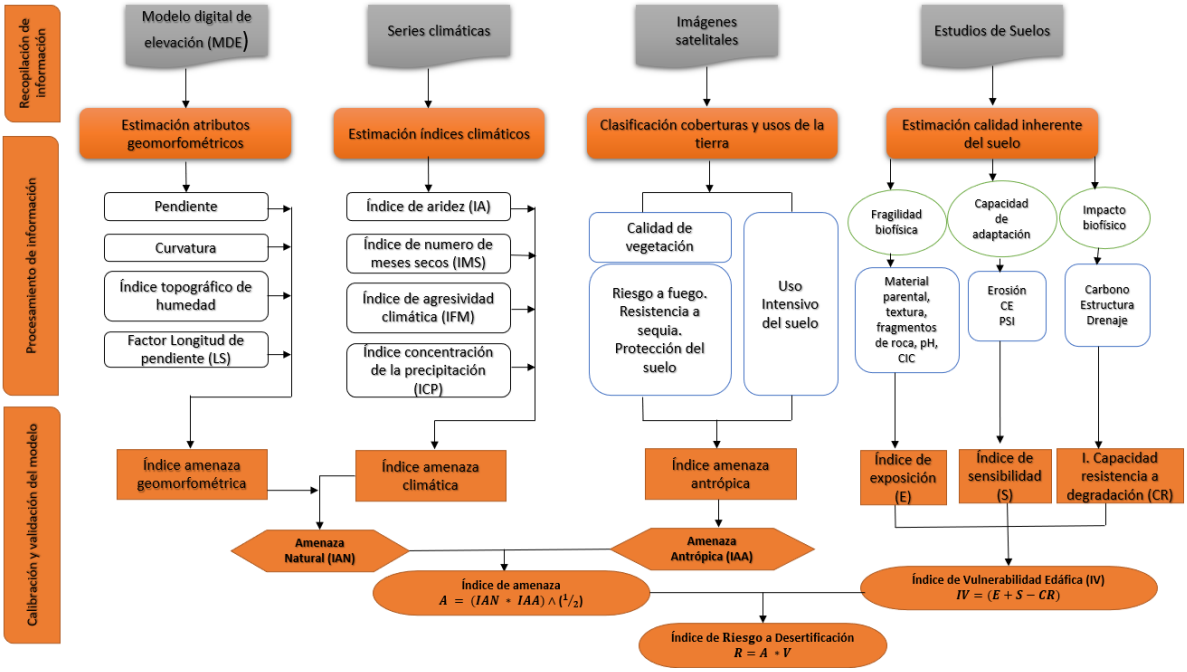
- *En sistemas organizados:* para Garay y Cabero (2013), el desplazamiento de las poblaciones es una de las principales consecuencias de la desertificación ya que cada día más de 50.000 personas en el mundo son obligadas a dejar su hábitat rural para ir a las ciudades en busca del líquido elemento. Por su parte, Posada, Salamanca y Gantiva (2020), afirman que la relación entre los instrumentos de planeación territorial y el proceso de desertificación, analizada desde lo geográfico y ambiental, sirve como marco para plantear las bases de un modelo de prospectiva a escala regional-local, requiere considerar: la categoría financiera de los municipios, su capacidad de proyección a futuro, la gestión de sus líderes y la visión ambiental.

3.6.2. Metodología

Para la inclusión de la Desertificación como un evento dentro de la gestión del riesgo, se tomó como referencia lo planteado por Correa (2015), quien expone la aplicación de un modelo fundamentado principalmente por el IPCC (2001), donde el riesgo está representado por el resultado entre amenaza, vulnerabilidad y elementos de bajo riesgo; los componentes principales del modelo se representan a través de indicadores biofísicos y socioeconómicos (las variables responden a su vez al modelo Presión, Estado, Respuesta - PER). En la Tabla 3.34 se detallan los principales insumos para la construcción de información útil dentro del modelo.

La secuencia de generación de datos viene representada en la Figura 3.57 y el resultado matemático de la multiplicación entre el índice de amenaza y el índice de vulnerabilidad edáfica, equivalen al índice de riesgo a la desertificación.

Figura 3.57. Modelo metodológico para el análisis del riesgo a desertificación (MARD)



Fuente: Correa (2015)

En la obtención del índice de riesgo a desertificación, Correa incluye el cálculo de:

- **Amenaza:** definida como un peligro latente o factor de riesgo externo climático o antrópico, de un sistema o de un sujeto expuesto; mientras que la Amenaza Natural basa su cálculo en indicadores como las tendencias climáticas locales, atributos geomorfométricos, la Amenaza Antrópica, se fundamenta en patrones de desarrollo humano estrictamente relacionados con el uso y manejo de la tierra, y
- **Vulnerabilidad:** descrita como el grado en que un sistema es susceptible o incapaz de afrontar los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad y extremos climáticos; se representa por el Índice de vulnerabilidad edáfica (IV), que es proporcional al índice de exposición (E), índice de sensibilidad (S) y la capacidad resistencia a degradación (CR).

Tabla 3.34. Indicadores y atributos y su relación con amenazas naturales, antrópicas y vulnerabilidad en el MARD

Indicador o atributo climático	Relación con la amenaza natural	Indicador o atributo climático	Relación con la amenaza antrópica	Indicador o atributo edáfico	Relación con la vulnerabilidad
Índice de aridez (IA) (UNEP, 1997)	Indicadores de aridez / déficit hídrico	Calidad de la vegetación	Riesgo a fuego y capacidad de recuperación / Protección a	Material Parental pH Capacidad de Intercambio catiónico	Fertilidad del suelo

Indicador o atributo climático	Relación con la amenaza natural	Indicador o atributo climático	Relación con la amenaza antrópica	Indicador o atributo edáfico	Relación con la vulnerabilidad
Índice de numero de meses secos (IMS)			erosión / Resistencia a Sequia	Textura	Fertilidad del suelo / Retención de humedad
Índice de concentración de precipitaciones (ICP)	Indicadores de la variabilidad e intensidad de regímenes de aridez / Blance hídrico / Escorrentía	Uso intensivo del Suelo	Detección de factores que aceleren la degradación	Fragmentos Rocosos	Retención de humedad / Protección a escorrentía
Índice de Fourier modificado (IFM) o índice de agresividad climática				Erosión (E)	Degradación física
				Conductividad electica (CE) Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	Degradación química
				Profundidad efectiva	Disponibilidad de agua / enraizamiento
				Drenaje	Balance y almacenamiento de agua
				Estructura	Flujo de agua y aire
				Carbono (%)	Almacenamiento de Carbono

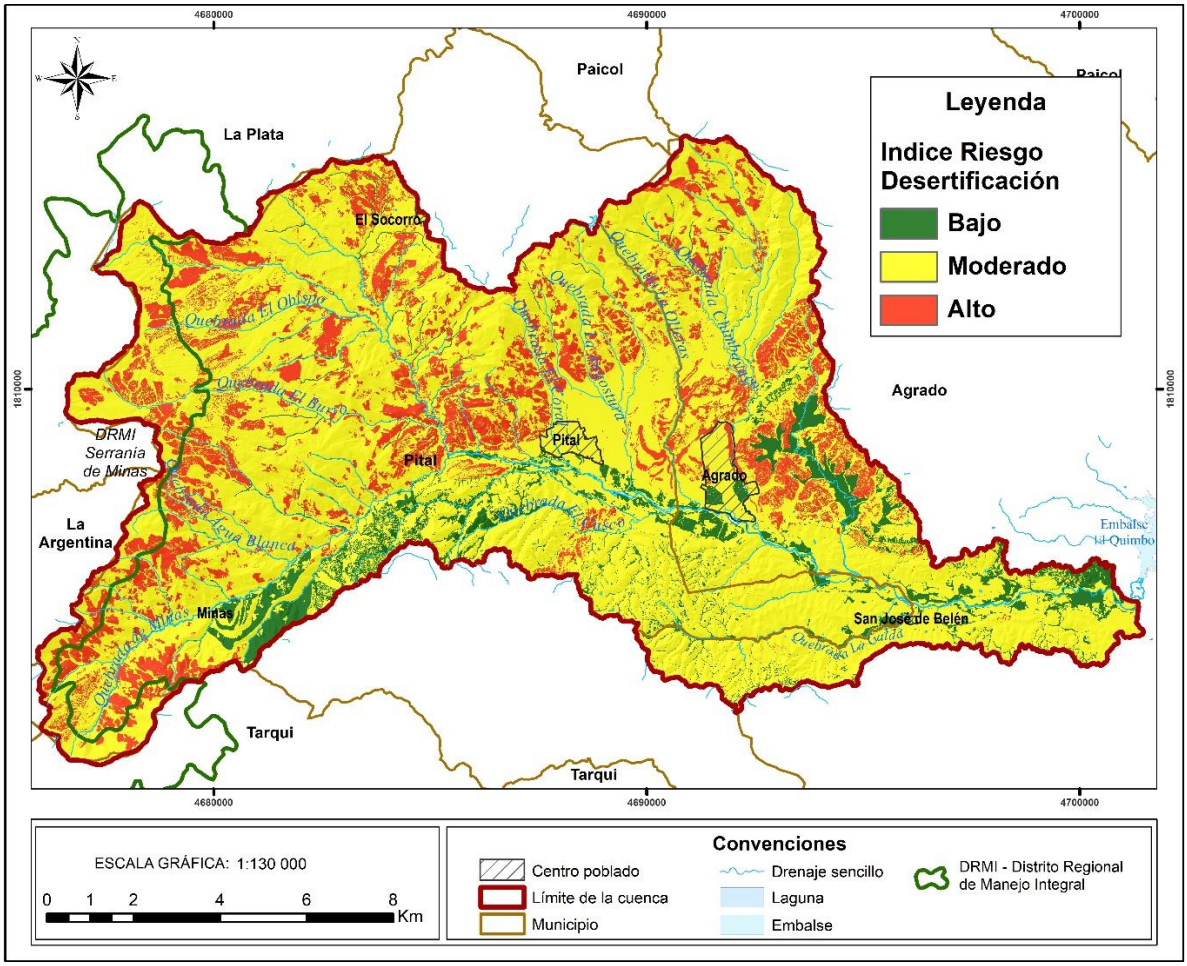
Fuente: Adaptado por el consorcio PMAM Yaguilga a partir de datos de Correa (2015)

3.6.3. Resultados Desertificación

A partir de la obtención de las capas tipos ráster, amenaza natural, amenaza antrópica, índice de amenaza y índice de vulnerabilidad edáfica, que componen la ecuación del riesgo a desertificación (amenaza *vulnerabilidad), mediante el uso de SIG (Sistemas de Información Geográficos) bajo la plataforma de ArcGIS 10.8, se procedió a combinar las capas anteriormente mencionados con el fin de calcular el índice de riesgo a desertificación para toda la cuenca de estudio, con la distribución espacial de la desertificación se pueden realizar análisis puntuales sobre el comportamiento del riesgo a nivel de microcuenca, municipio y vereda.

Los valores del índice de riesgo a desertificación se agrupan en intervalos de acuerdo al postulado de Correa, D. (2015), quien definió tres clases de riesgo a desertificación riesgo bajo (< 1.5), riesgo moderado (1.501 – 2.5), riesgo alto (> 2.5), lo cual permite localizar de forma rápida y precisa, las zonas de máximo riesgo. Ver Figura 3.58.

Figura 3.58. Índice de riesgo a desertificación



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

De acuerdo con la cartográficos del índice de riesgo a desertificación y mediante la aplicación de estadística usando plataformas GIS (ArcGIS 10.8) se obtuvieron los siguientes resultados.

A nivel de la microcuenca quebrada Yaguilga se tiene que el 17% del área presenta riesgo alto a desertificación, 75% riesgo moderado, 8% riesgo bajo. Se observa que el 92% de la microcuenca presenta riesgo a desertificación en los niveles moderado y alto, si la tendencia sigue en aumento, se puede ver afectadas las comunidades que habitan en la cuenca y los sistemas agrícolas, agroforestales y pecuarios de los cuales dependen dichas comunidades. Ver Tabla 3.35 , Figura 3.59.

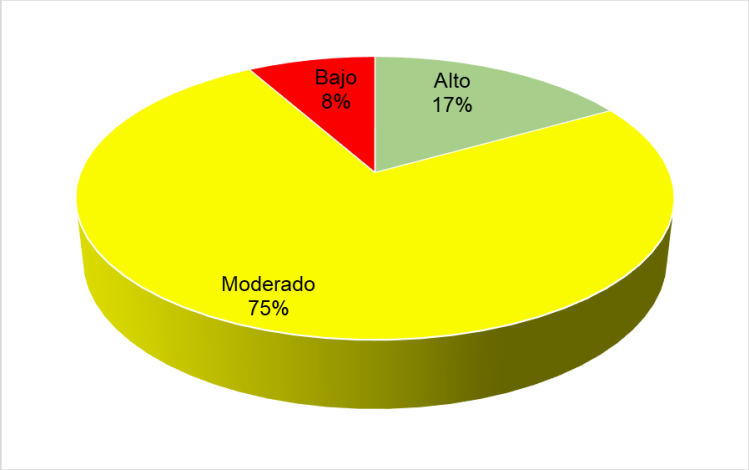
Tabla 3.35. Áreas con riesgo a desertificación microcuenca Yaguilga.

Riesgo Desertificación	Área Ha	Área Porcentaje
Alto	3130.15	17%

Riesgo Desertificación	Área Ha	Área Porcentaje
Moderado	13955.10	75%
Bajo	1527.58	8%
Total	18612.83	100%

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 3.59. Distribución porcentual riesgo a desertificación microcuenca Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

A nivel municipal el Agrado presenta riesgo alto en 737.69 Ha, riesgo moderado en 4303.04 Ha y riesgo bajo 669.05 ha, siendo las veredas que presentan mayor área con riesgo alto, Bajo buena vista, Chimbayaco, Sabaneta. Ver Tabla 3.36

Tabla 3.36. Riesgo a desertificación municipio del Agrado

Vereda	Riesgo a desertificación		
	Bajo	Moderado	Alto
Bajo Buenavista	231.93	649.62	317.55
Chimbayaco	31.86	1355.07	314.15
El Carmen		1.04	0.76
La Galda	95.93	337.89	1.05
Montecitos	1.63	146.34	2.99
Sabaneta	10.59	310.06	89.02
Yaguilga	297.11	1503.03	12.18

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

En el municipio del Pital el riesgo a desertificación muestra que 2376.75 Ha presentan riesgo alto, riesgo moderado 9421.17 ha y riesgo bajo 822.78 ha, siendo las veredas que presentan mayor área con riesgo alto, Alto Líbano, Chorrillos y el Carmelo. Ver Tabla 3.37.

Tabla 3.37. Riesgo a desertificación municipio del Pital

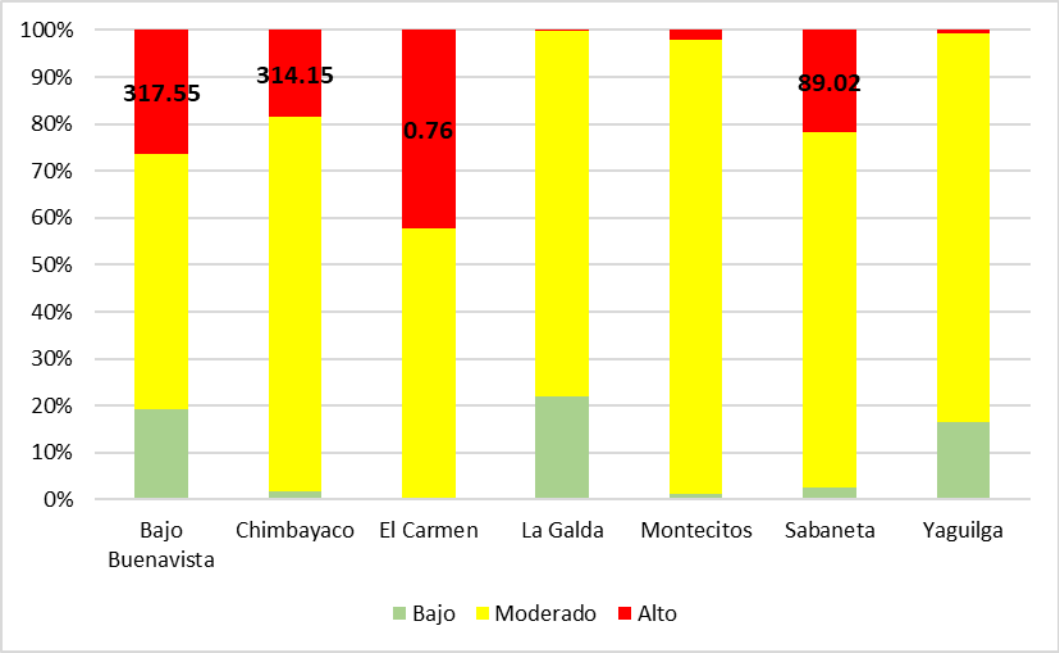
Vereda	Riesgo a desertificación

	Bajo	Moderado	Alto
Alto Líbano	1.09	471.68	223.39
Arrayan	0.35	1.93	
Bajo Minas	75.90	102.07	5.68
Cauchal	11.48	494.89	86.26
Chimbayaco	0.20	464.21	77.78
Chorrillos	30.21	664.45	311.41
El Amparo	2.88	162.05	17.51
El Carmelo	9.84	616.18	216.43
El Carmen	36.60	108.92	5.64
El Cusco	88.35	700.24	41.71
El Mirador	2.11	221.08	70.16
El Recreo	10.02	371.14	98.38
El Retiro	16.83	417.78	140.98
El Socorro	8.68	218.30	89.31
El Uvital	9.10	249.88	98.64
Flor Amarillo	123.12	329.77	0.05
Independencia	0.13	7.73	1.09
La Florida	0.98	345.79	108.35
La Galda	83.00	700.72	1.12
La Mesa	49.35	158.03	18.07
Las Mercedes	2.53	137.49	115.37
Las Minas	52.65	384.33	70.86
Los Alpes	0.24	21.35	0.99
Los Olivos	9.51	662.66	190.83
Peña Negra	9.53	604.60	145.90
Playa Rica	3.15	83.28	14.99
San Antonio	169.45	133.62	
San Miguel	4.17	225.22	112.03
Santa Rosa	11.32	361.78	113.82

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Las veredas que presentan mayor riesgo a desertificación alta, en el municipio de Agrado son Bajo Buenavista, Chimbayaco, El Carmen, Sabaneta.

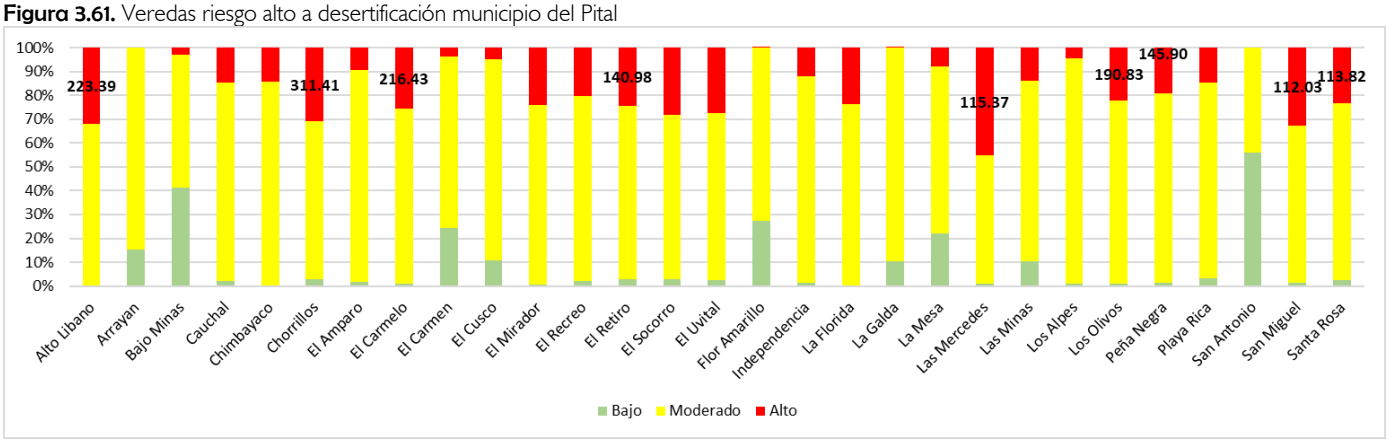
Figura 3.60. Veredas riesgo alto a desertificación municipio del Agrado



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Las veredas que presentan mayor riesgo a desertificación alta, en el municipio del Pital son: Alto Líbano, Chorrillos, El Carmelo, El Retiro, Las Mercedes, Los Olivos, Peña Negra, San Miguel, Santa Rosa.

Figura 3.61. Veredas riesgo alto a desertificación municipio del Pital



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

4. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

La identificación, clasificación, caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza correspondiente con la Evaluación y zonificación de la Amenaza, se presenta a continuación, para los tipos de eventos evaluados en el plan de manejo

4.1. Movimientos en masa

4.1.1. Metodología

El desarrollo metodológico de la zonificación de amenaza por movimientos en masa, está fundamentado en el Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas; en el cual, se analizan solamente las áreas categorizadas como de susceptibilidad media y alta, mediante un análisis determinístico.

El análisis determinístico tiene como base los modelos hidrológicos y de estabilidad que consideran la información detallada de las pendientes fundadas en la mecánica de suelos. Este método, busca eliminar la subjetividad cuantificando los grados de riesgo en valores absolutos (Barredo et al., 2000). Es un modelo que incluye gran variedad de parámetros geotécnicos, supeditando su desempeño a la calidad y cantidad de los datos recolectados. Para la cuenca objeto de ordenación, se considera el equilibrio mecánico de una ladera, en términos de un parámetro denominado factor de seguridad (FS), en el cual se comparan las fuerzas que tienden a desestabilizarla y las fuerzas que resisten la inestabilidad (Cheng & Lau, 2008). Basado en el FS, un talud es inestable cuando las fuerzas que resisten son superadas por las que desestabilizan, es decir si el FS < 1. De otra manera, si las fuerzas consideradas son iguales, el FS $= 1$, se encuentra en un equilibrio límite.

Figura 4.1. Esquema para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa para la microcuenca Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga con base en MADS (2014)

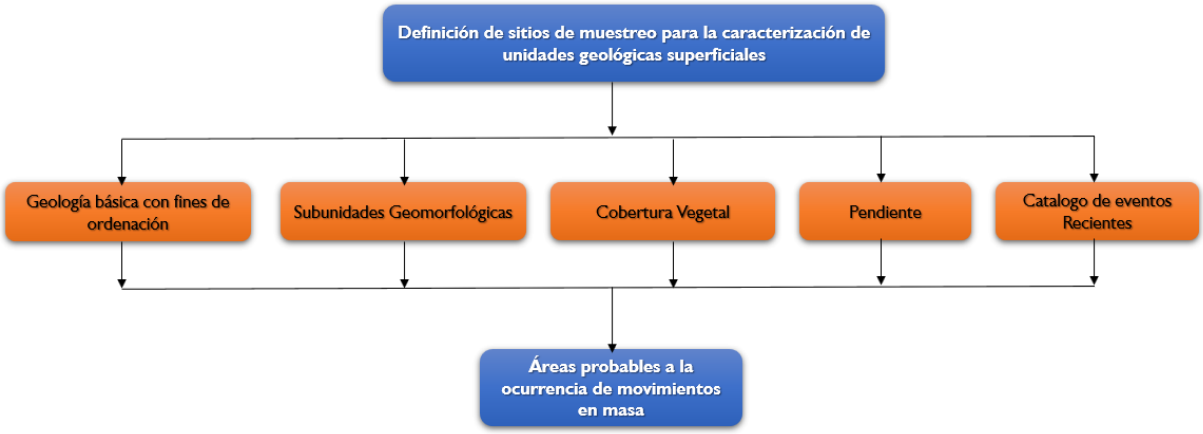
Uno de los métodos de mejor implementación para el cálculo del FS en zonificaciones y análisis de estabilidad de laderas homogéneas, es el método de talud infinito, el cual se puede aplicar a una unidad

de trabajo tipo celda, la cual contiene tanto las características geométricas del talud, como sus propiedades geo mecánicas (SGC, 2015). En la Figura 4.1 se presenta el mapa conceptual para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa.

- Determinación de parámetros geológico – geotécnicos: Este análisis se realiza a partir de las cartografías temáticas de geología, geomorfología y UGS modelados en el sistema biofísico y de los resultados del programa de exploración del suelo en campo y los ensayos de laboratorio realizados.

- Parámetros geomecánicos para unidades de roca y unidades de suelo: La microcuenca Quebrada la Yaguilga, en la cual se define el proceso metodológico para la selección de los sitios de gran relevancia para el control litológico de los depósitos, teniendo en cuenta el grado de inclinación de las laderas (Pendiente), el mapa de geología básica con fines de ordenación, las subunidades geomorfológicas, la cobertura vegetal y el catálogo de eventos por movimientos en masa activos recientes, lo cual permite identificar las zonas potenciales a la generación de movimiento en masa.

Figura 4.2. Esquema conceptual para la definición de las zonas para caracterización de UGS



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga con base en MADS (2014).

Este proceso permitió definir zonas críticas a visitar en toda el área de la cuenca, donde se efectuaron los muestreos mediante exploración directa con base en afloramientos, apiques, trincheras, en los mismos puntos en los cuales se requiera la toma de muestras representativas de las UGS verificadas.

Figura 4.3. Ejemplo de Resultados de Laboratorio de parámetros geomecánicos para unidades de roca y unidades de suelo.

ENSAYO CARGA POR PUNTA PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91) | AREANDINA

DATOS DEL PROYECTO

PROYECTO: Plan de Manejo Ambiental de la Microcuenca de la Quebrada Yaguilga
SOLICITA: Andrés José Córdoba Corzo
LOCALIZACIÓN: El Pital y El Agrado
CIUDAD: Huila
FECHA: 3/03/2022

N° Fragmento	1
Tipo de ensayo	Irregular
Muestra	1 - Formación Caballo
Tipo de Roca	Arenisca
D (mm)	4.80
W (mm)	5.20
L (mm)	–
A (mm^2)	24.96
De^2	31.78
P (KN)	0.30
Is (MPa)	9.44
F (Factor corr.)	0.37
$Is_{(50)}$ (MPa)	3.54

P: Carga aplicada a la roca en KN
IS: Indice de Carga Puntual
F: Factor de corrección
$Is_{(50)}$ (MPa): Indice de Carga Puntual para diametros de 50 mm F*Is
W: Valor medio del ancho de los bloques irregulares
D: Distancia entre los puntos de aplicación de la carga
De^2 El diámetro equivalente
A (mm^2) D*W

Jesus Miguel Cabana Diaz
Geotecnista

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

En el área de la cuenca hidrográfica se realizaron validaciones geomecánicas de los materiales (Caracterización de UGS), de las cuales se tomaron 5 muestras representativas para la realización de los ensayos de laboratorio necesarios para la obtención de los parámetros geotécnicos, resultados que se adjunta en el Anexo 07. Ensayos de Laboratorio.

Los materiales geológicos superficiales que se distribuyen en el área de la Microcuenca de la Quebrada Yaguilga, se caracterizan y clasifican en unidades de roca y suelo. Las unidades de roca se categorizaron en duras, intermedias y blandas, teniendo en cuanta su génesis, litologías y propiedades geomecánicas obtenidas en campo y ensayos de carga puntual realizados a muestra seleccionada por unidad, mientras

que las unidades de suelo se clasificaron en transportado, coluviales y residuales, subdivididas de acuerpo a su génesis y litología, teniendo en cuenta las observaciones realizadas en campo.

El comportamiento de los materiales frente a los agentes naturales y antrópicos es un parámetro esencial en el análisis de la estabilidad de taludes. Los datos se generan para cada unidad homogénea del mapa de Unidades geológicas superficiales cuantitativo (UGS) con base en los análisis de los registros y muestras de campo (sondeos y apiques). Para cada unidad geológica superficial se determinan los siguientes parámetros de los ensayos de laboratorio: Ángulo de Fricción (Ø'), Cohesión (C), Peso Unitario (ɣ) y Espesor (h).

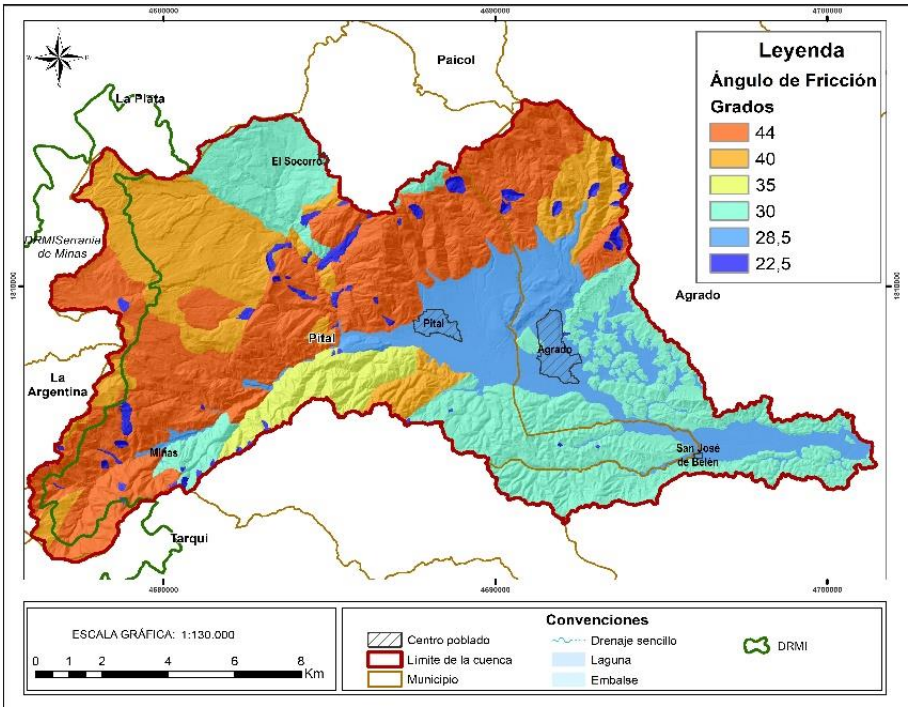
Tabla 4.1. Parámetros geomecánicos aplicados en las unidades de roca y suelo para la microcuenca Quebrada La Yaguilga

Nomenclatura	Nombre		Cohesión	Angulo de Fricción (Grados)	Peso Unitario
Ridma	Roca Dura	Roca Ígnea Dura Monzodiorita de El Astillero	35 – 55 Mpa	35° y 45°	25 – 30 KN/m^3
Riimn	Roca intermedia	Roca Ignea Intermedia Monzodiorita de las Minas	35 – 55 Mpa	35° y 45°	25 – 30 KN/m^3
Rmimm	Roca intermedia	Roca Metamorfica Intermedia Migmatita de las Minas	20 – 40 Mpa	30° y los 40°	25 a 28 KN/m^3
Rsbfh	Roca Blanda	Roca Sedimentaria Blanda Formación Hondita	1 – 20 Mpa	25° a 35°	17 – 23 KN/m^3
Rsbfl	Roca Blanda	Roca Sedimentaria Blanda Formación Lomagorda	1 – 20 Mpa	25° a 35°	17 – 23 KN/m^3
Rsbflt	Roca Blanda	Roca Sedimentaria Blanda Formación La Tabla	1 – 20 Mpa	25° a 35°	17 – 23 KN/m^3
Rsbft	Roca Blanda	Roca Sedimentaria Blanda Formación Tesalia	1 – 20 Mpa	25° a 35°	17 – 23 KN/m^3
Rsbgh	Roca Blanda	Roca Sedimentaria Blanda Grupo Honda	1 – 20 Mpa	25° a 35°	17 – 23 KN/m^3
Rsifc	Roca intermedia	Roca Sedimentaria Intermedia Formación Caballos	10 – 30 Mpa	35° a 45°	23 – 28 KN/m^3
Rsifg	Roca intermedia	Roca Sedimentaria Intermedia Formación Gigante	1 – 20 Mpa	25° a 35°	17 – 23 KN/m^3
Rsifh	Roca intermedia	Roca Sedimentaria Intermedia Formación El Higado	1– 20 Mpa	25° a 35°	17 – 23 KN/m^3
Rvifs	Roca intermedia	Roca Volcanosedimentaria Intermedia Forrmación Saldaña	25 - 50 Mpa*	Arena densa, seca y bien graduada: ** 42° a 46°	21 - 22 KN/m^3***
Srfs	Residual	Suelo Residual Formación Saldaña	Blando: 0,025 - 0,05 Mpa* Firme: 0,05 - 0,10 Mpa*	Arena densa y grava**: 25° a 35°	17 - 21 KN/m^3***
Stal	Aluvial	Suelo Transportado Aluvial	Blando: 0,025 - 0,05 Mpa* Firme: 0,05 - 0,10 Mpa*	Limo seco y suelto**: 27° a 30°	Suelto: 15 - 18 KN/m^3***
Stfab	Aluvial	Suelo Transportado de Abanico Aluvial Reciente	Blando: 0,025 - 0,05 Mpa* Firme: 0,05 - 0,10 Mpa*	Limo seco y suelto**: 27° a 30°	Suelto: 15 - 18 KN/m^3***

Nomenclatura	Nombre		Cohesión	Angulo de Fricción (Grados)	Peso Unitario
Stflli	Aluvial	Suelo Transportado Aluvial de Llanura de Inundación	Blando: 0,025 - 0,05 Mpa* Firme: 0,05 - 0,10 Mpa*	Limo seco y suelto**: 27° a 30°	Suelto: 15 - 18 KN/m^3***
Stftz	Aluvial	Suelo Transportado Aluvial de Terraza	Blando: 0,025 - 0,05 Mpa* Firme: 0,05 - 0,10 Mpa*	Limo seco y suelto**: 27° a 30°	Suelto: 15 - 18 KN/m^3***
Strc	Coluvial	Suelo Transportado Coluvial	Consistente: 0,10 - 0,25 Mpa* Muy Consistente: 0,25 - 0,50 Mpa*	Arcilla media**: 15° a 30°	Muy Suelto: 14 - 17 KN/m^3***

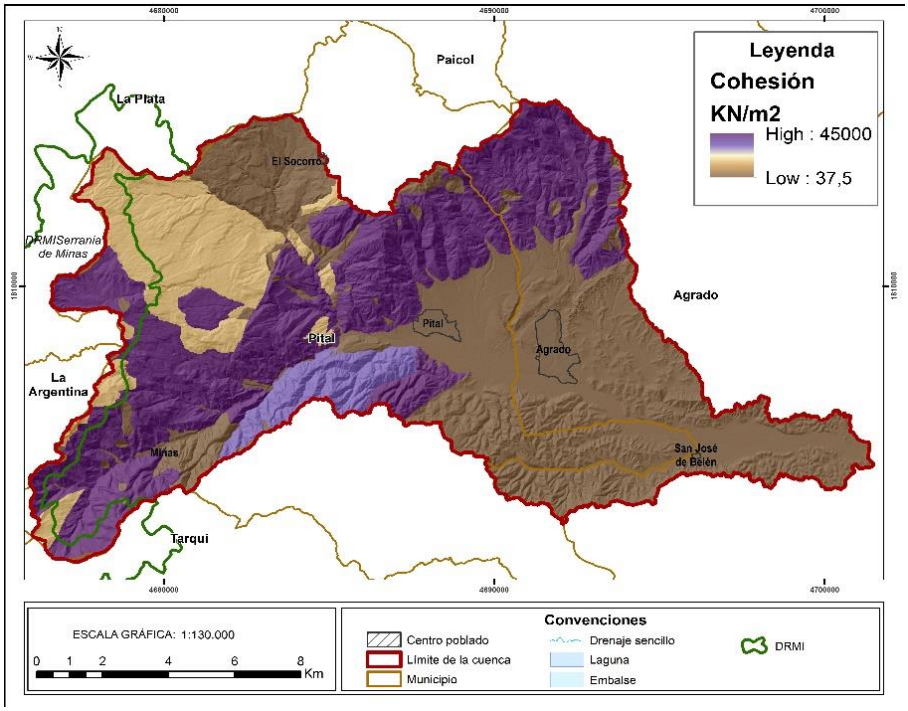
** Ramírez Oyanguren, Pedro y Alejano Monge, Leandro R. (2004). Mecánica de rocas : fundamentos e ingeniería de taludes.*
*** Valores de referencia de diversas fuentes bibliográficas.*
**** GMS Ingenieros Consultores S.A.S Estudio Geológico – Geotécnico PPAP Sopetrán agosto De 202*
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga, 2022

Figura 4.4. Angulo de fricción



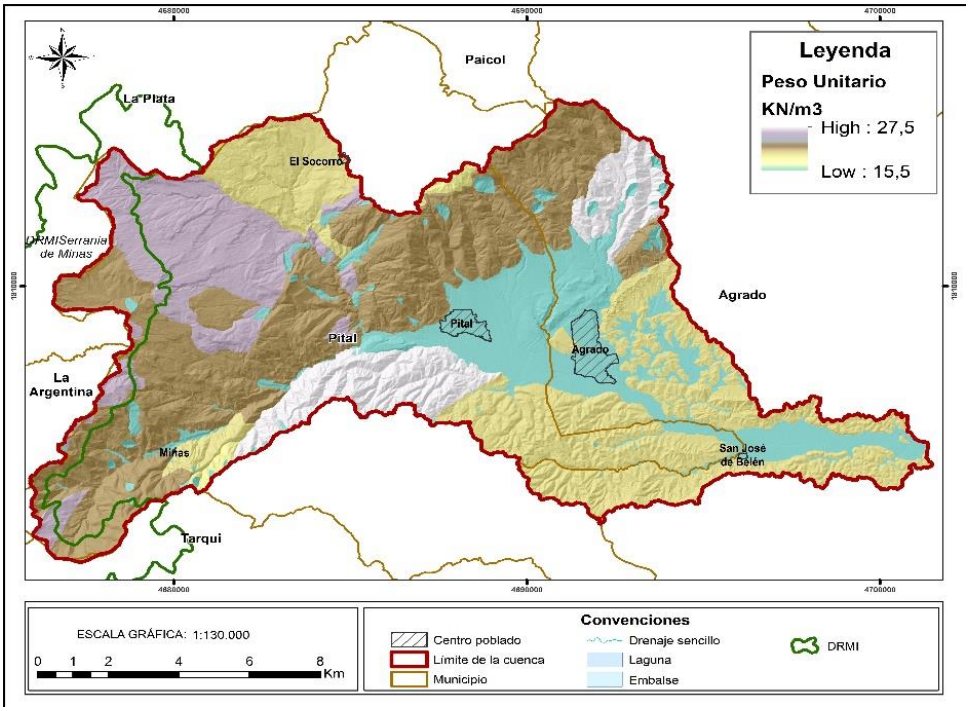
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.5. Cohesión



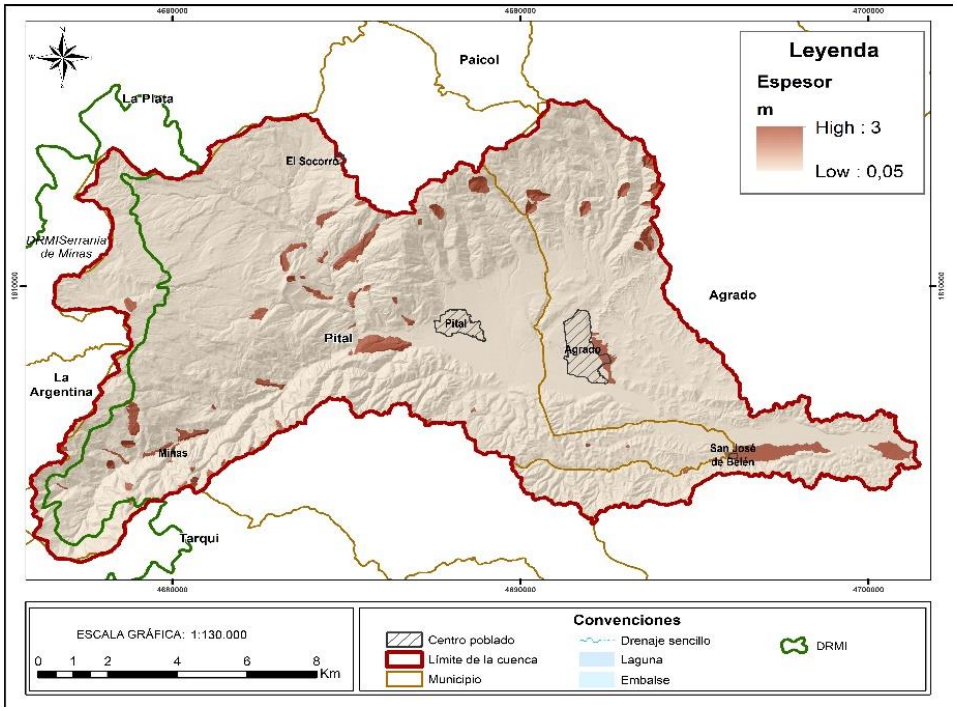
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.6. Peso unitario



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

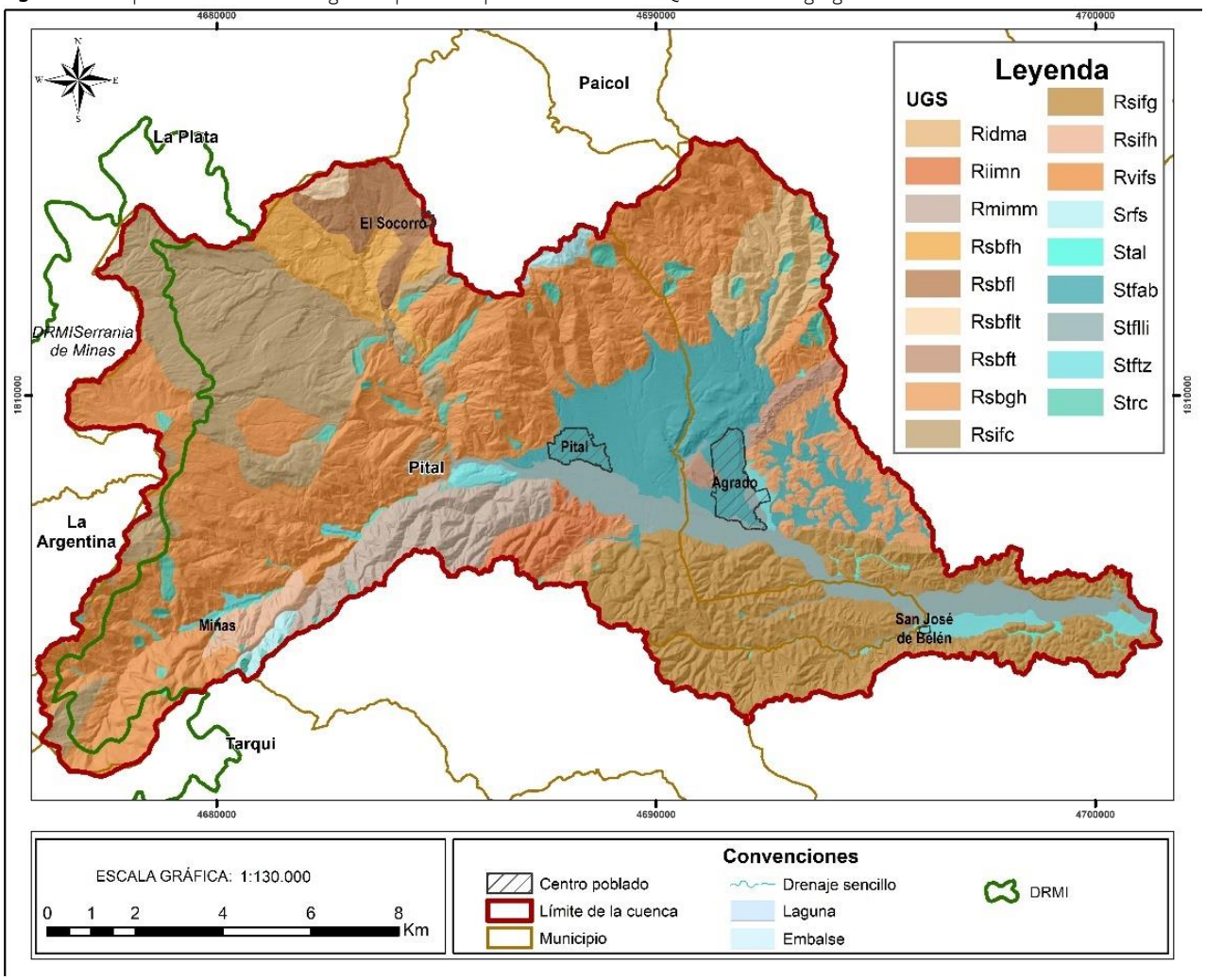
Figura 4.7. Espesor



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

A partir del mapa de unidades geológicas superficiales, y tomando los parámetros de resistencia definidos para cada material se presenta el mapa geológico-geotécnico para el área de la microcuenca Quebrada La Yaguilga como se muestra en la Figura 4.8.

Figura 4.8. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales para la Microcuenca Quebrada La Yaguilga



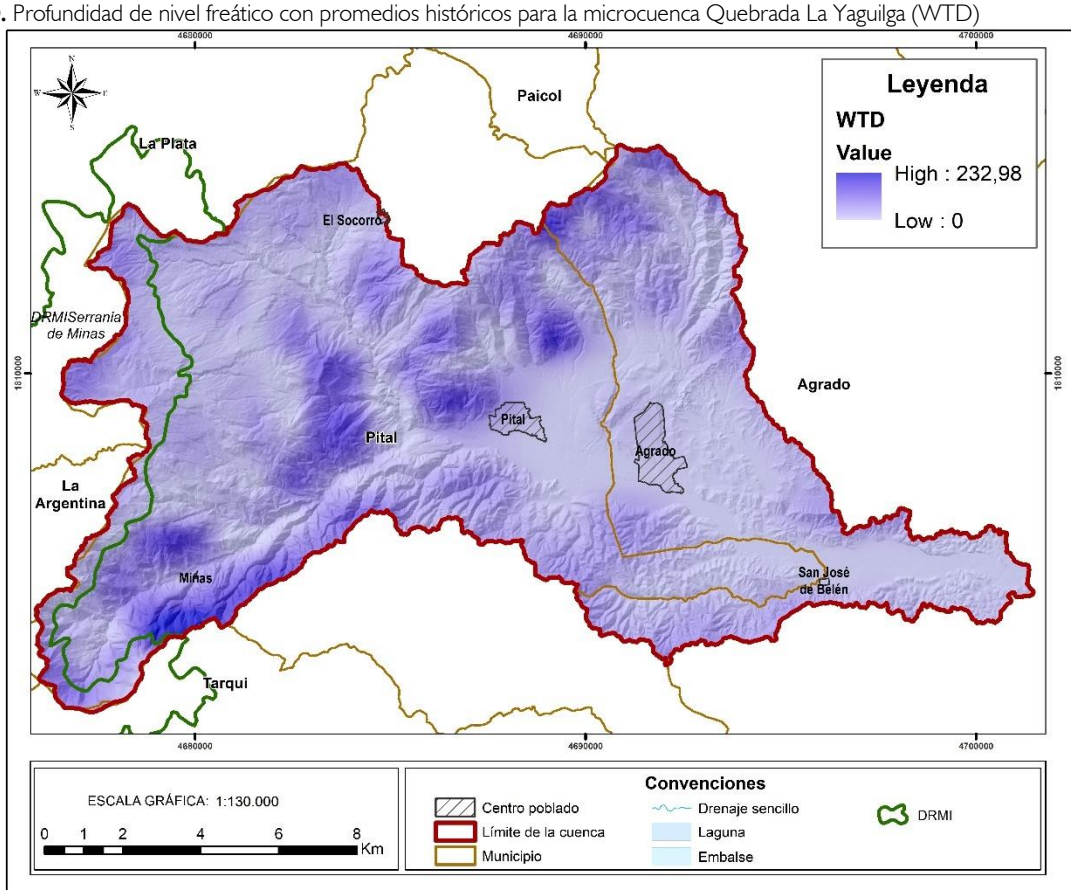
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

4.1.1.2. *Determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios: nivel freático por período de retorno*

Para el caso del nivel freático, se adquiere ráster (resolución 12,5m x 12,5m) de profundidad de nivel freático (WTD) con promedios históricos para la microcuenca, obtenidos de una modelación realizada para la Agencia mundial contra la escasez de agua con una resolución de 1Km x 1Km, el cual fue

remuestreado con una interpolación cúbica para transformar la información acorde con la escala de trabajo como se muestra en la Figura 1.88.

Figura 4.9. Profundidad de nivel freático con promedios históricos para la microcuenca Quebrada La Yaguilga (WTD)



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Esta información fue corregida por periodo de retorno, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$WTD(Tr) = WTDmedia * \frac{Pmedia}{P(Tr)}$$

Donde,

WTD(Tr): Nivel freático por cada periodo de retorno
WTD(Media): Nivel freático promedio reportado por la agencia mundial contra la escasez de agua
Pmedia: Precipitación media diaria
P(Tr): Precipitación máxima diaria por periodo de retorno.

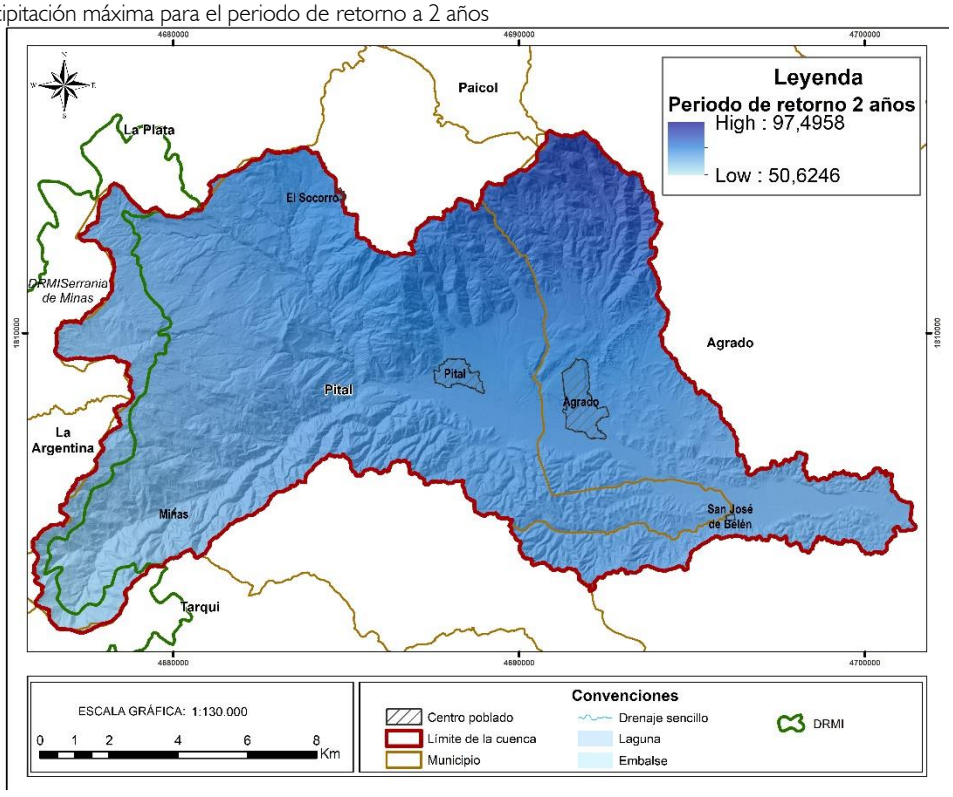
La posición de nivel freático (hw) que requiere la fórmula de factor de seguridad, se obtiene restando la WTD(Tr) del espesor del suelo.

La determinación de la precipitación media diaria se obtuvo a partir de la precipitación media anual. Para ampliar el análisis climatológico de la cuenca con información regional, se obtuvo la información del IDEAM de las rosas de los vientos de los municipios aledaños, teniendo en cuenta que este parámetro climatológico es considerado de difícil espacialización. En el análisis de precipitación de la cuenca requerido, se utilizaron las estaciones disponibles para el desarrollo del presente estudio, categorizadas todas como Pluviométricas, localizadas en la cuenca y en sus alrededores, para mayor detalle sobre la caracterización temporal y espacial del clima, se remite al lector al Componente Biofísico, capitulo clima.

Para establecer el valor de P(Tr), se extrajo de las series pluviométricas, la precipitación máxima de cada estación según el periodo de retorno analizado.

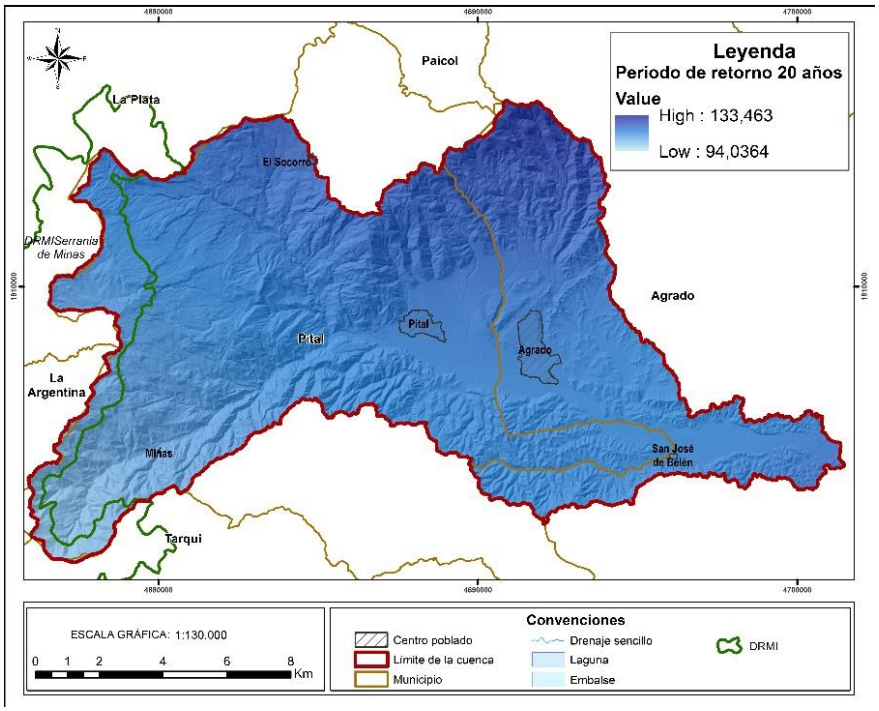
Estos valores fueron interpolados con ayuda de la herramienta Surfer 13, a fin de obtener un cubrimiento total de la cuenca, para cada periodo de retorno establecido en el protocolo, a 2 años (Figura 4.10), a 20 años (Figura 4.11), a 50 años (Figura 4.12) y a 100 años (Figura 4.13).

Figura 4.10. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 2 años



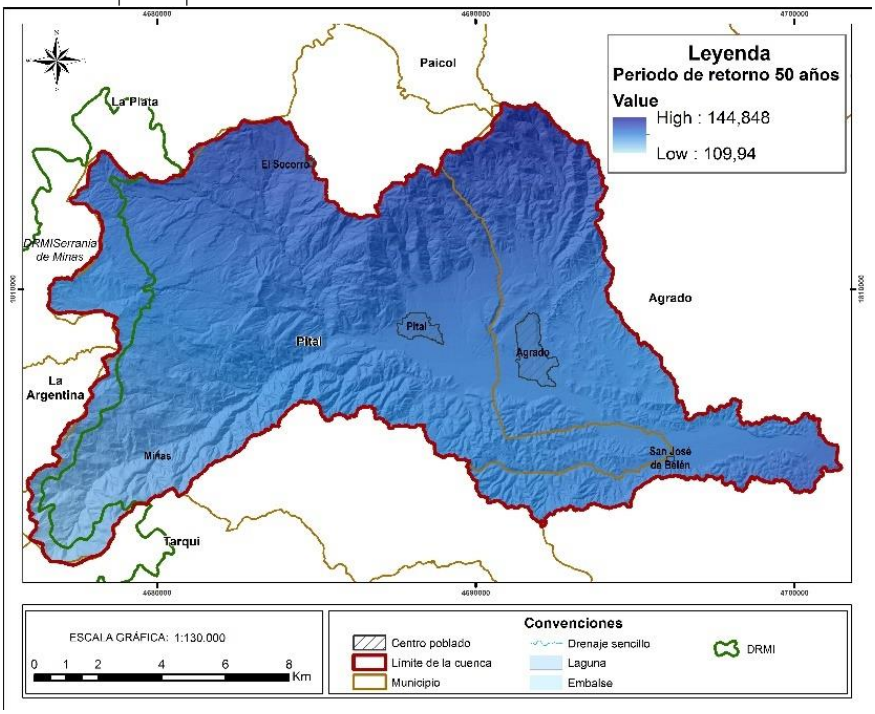
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.11. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 20 años



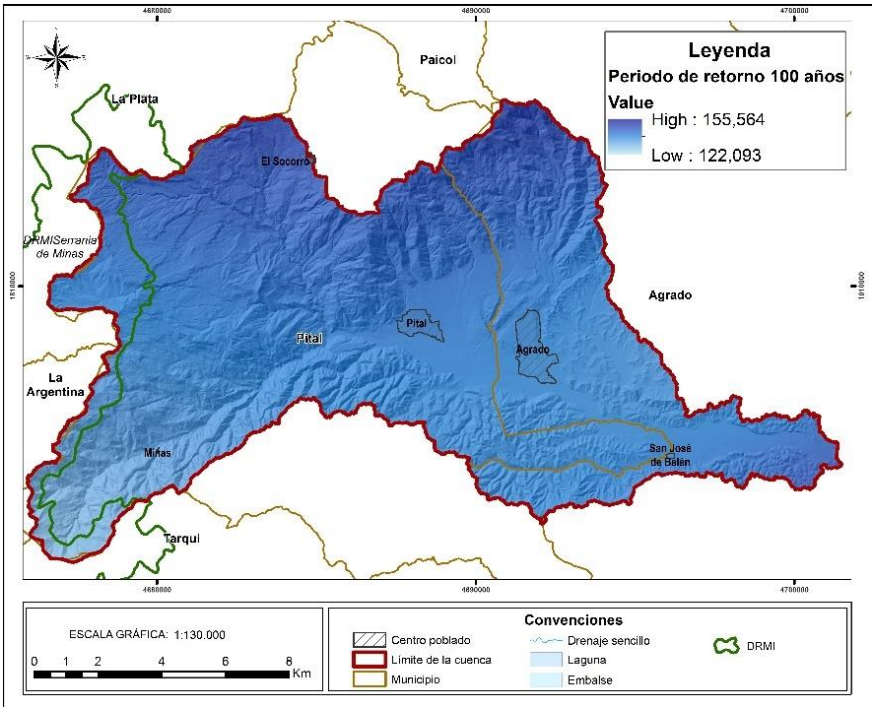
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.12. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 50 años



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.13. Precipitación máxima para el periodo de retorno a 100 años



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

4.1.1.3. *Determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios: amplificación sísmica La aceleración sísmica*

Se estimó partiendo de los valores regionales de amenaza según el estudio de Amenaza Sísmica Nacional (SGC, 2017) y posteriormente estimando la aceleración horizontal pico efectiva en superficie considerando la respuesta local o el efecto de sitio.

La sismicidad dentro la cuenca depende de mecanismos locales y regionales, los primeros más influyentes en el fracturamiento y diaclasamiento de los materiales rígidos de la cuenca mientras que la sismicidad proviene de los grandes sistemas geotectónicos del país.

El análisis sísmico se aplica por la probabilidad a la generación de movimientos en masa, lo cual ocasiona dependiendo de la magnitud rompimientos o activación de fallas locales, suspendiendo materiales meteorizados considerablemente y llegar a la falla por esfuerzo cortante en los macizos rocosos o suelos (Depósitos) superficiales. En el análisis se deben tener en cuenta varios aspectos fundamentales en taludes expuestos a posibles fenómenos sísmicos, tales como el valor de la fuerza sísmica aplicada en materiales latentes a tener procesos de inestabilidad, lo cual genera una disminución en la resistencia de los mismos y por gravedad o por saturación se produzcan eventos de movimientos en masa.

Un sismo, se considera la liberación de energía acumulada durante la fricción entre las placas y fallas. La importancia de la onda en cada sitio ha sido demostrada en los sismos recientes, habiéndose usado los resultados de estos estudios para desarrollar recomendaciones específicas de espectro de diseño que se aplican en los códigos.

Un sismo, se considera la liberación de energía acumulada durante la fricción entre las placas y fallas. La importancia de la onda en cada sitio ha sido demostrada en los sismos recientes, habiéndose usado los resultados de estos estudios para desarrollar recomendaciones específicas de espectro de diseño que se aplican en los códigos.

Para la microcuenca Quebrada la Yaguilga, la obtención de la aceleración sísmica aplicada para la zonificación de amenaza por movimientos en masa, se genera a partir de la norma sismo resistente NSR-10 y demás lineamientos que se contemplan en ella, por lo cual se utiliza la expresión que se presenta a continuación:

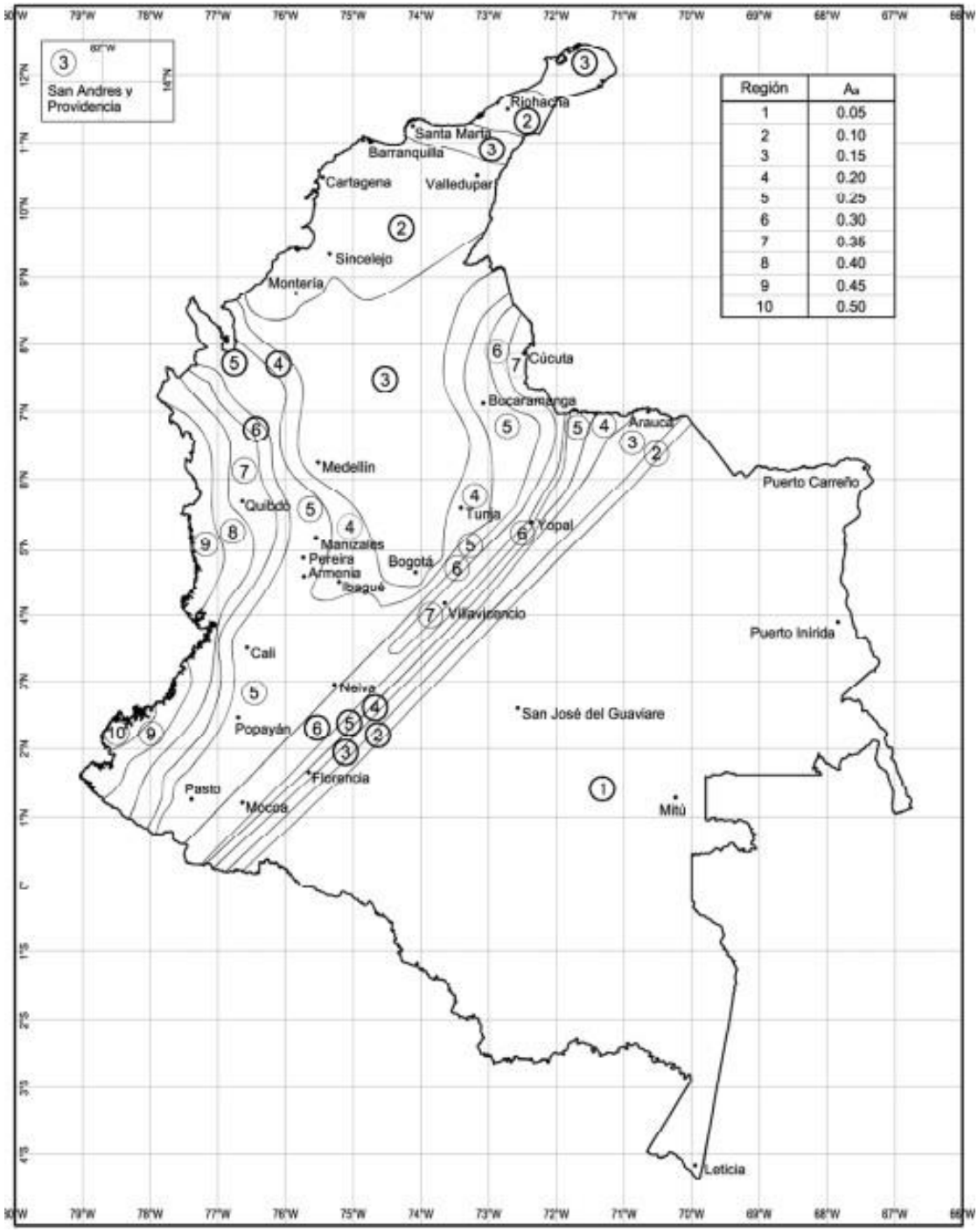
$$\boldsymbol{Sa = ST\ x\ Aa\ x\ Fa\ x\ I}$$

Donde:
ST: Coeficiente de amplificación sísmica.
Aa: Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva.
Fa: Coeficiente de amplificación.
I: Coeficiente de importancia.

4.1.1.3.1. *Coeficiente de Aceleración Horizontal Pico Efectiva (Aa)*

Este coeficiente se determina a partir del número en la región donde se encuentra localizada la cuenca hidrográfica, usando el Aa propuesto en la NSR-10 como se muestra en la Figura 4.14.

Figura 4.14. Valores Aa tomado de la Norma Sismo Resistente



Fuente: Tomado de NSR-10. Figura A.2.3-2, Pag A-18.

A partir del mapa de aceleración sísmica establecido en la NSR-10, para el área de la cuenca se obtiene un coeficiente de 0,3 localizado en la región seis (6).

4.1.1.4. *Definición del Tipo de Perfil de Suelo*

Para la definición del perfil de suelo, se establece a partir de la clasificación propuesta en la tabla A.2.4-1 de la NSR-10 (ver Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Clasificación de los perfiles de suelo para Colombia.

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de Roca Competente	Vs ≥ a 1500
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > Vs ≥ 760 m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante o	760 m/s > Vs ≥ 360 m/s
	Perfiles de suelo muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	Ñ ≥ 50, o Su ≥ 100 kPa (≈ 1 kgf/cm2)
D	Perfiles de suelo rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante o	360 m/s > Vs ≥ 180 m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	50 > Ñ ≥ 15, o 100 kPa (≈ 1 kgf/cm2) > Su ≥ 50 kPa (≈ 0,5 kgf/cm2)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s > Vs
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w ≥ 40% 50 kPa (≈ 0,5 kgf/cm2) > Su
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2 10. Se contemplan las siguientes subclases: F1 – Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F2 – Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F3 – Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F4 – Perfiles de gran espesor de arcillas de rígidez mediana a blanda (H > 36m)	

Fuente: Tomado de NSR-10. Tabla A.2.4-1. Pag. 22

Tabla 4.3. Definición del perfil de suelo por UGS

Nomenclatura	Tipo de Suelo	Tipo de Perfil
Ridma	Roca Dura	A
Riimn	Roca intermedia	B
Rmimm	Roca intermedia	B
Rsbfh	Roca blanda	C

Nomenclatura	Tipo de Suelo	Tipo de Perfil
Rsbfl	Roca blanda	C
Rsbflt	Roca blanda	C
Rsbft	Roca blanda	C
Rsbgh	Roca blanda	C
Rsifc	Roca blanda	C
Rsifg	Roca intermedia	B
Rsifh	Roca intermedia	B
Rvifs	Roca intermedia	B
Srfs	Residual	D
Stal	Aluvial	D
Stfab	Aluvial	D
Stflli	Aluvial	D
Stftz	Aluvial	D
Strc	Coluvial	D

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

4.1.1.4.1. *Coeficiente de Amplificación (Fa)*

Los valores de Fa están consignados en la , coeficiente que se encuentra en función de Aa y del tipo de perfil previamente definido. Para valores intermedios de Aa se permite interpolar entre los valores del mismo tipo de perfil.

Tabla 4.4. Valores del coeficiente Fa para la zona de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de Movimientos Sísmicos				
	Aa ≤ 0,1	Aa = 0,2	Aa = 0,3	Aa = 0,4	Aa ≥ 0,5
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	Véase Nota	Véase Nota	Véase Nota	Véase Nota	Véase Nota
Nota: Para el tipo de perfil **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10					

Fuente: Tomado de NSR-10. Tabla A.2. 4-3, Pág. A-23

4.1.1.4.2. *Coeficiente de Importancia (I)*

El coeficiente de importancia hace referencia a la relación entre el grupo de uso establecido y el valor asignado para cada categoría de acuerdo a sus condiciones, parámetros establecidos en la NSR-10 y se muestran en la Tabla 4.5

Tabla 4.5. Coeficiente de Importancia a partir del grupo de Uso

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia
IV Edificaciones indispensables	1,50
III Edificaciones indispensables	1,25
II Estructuras de ocupación especial	1,10
I Estructuras de ocupación normal	1,00

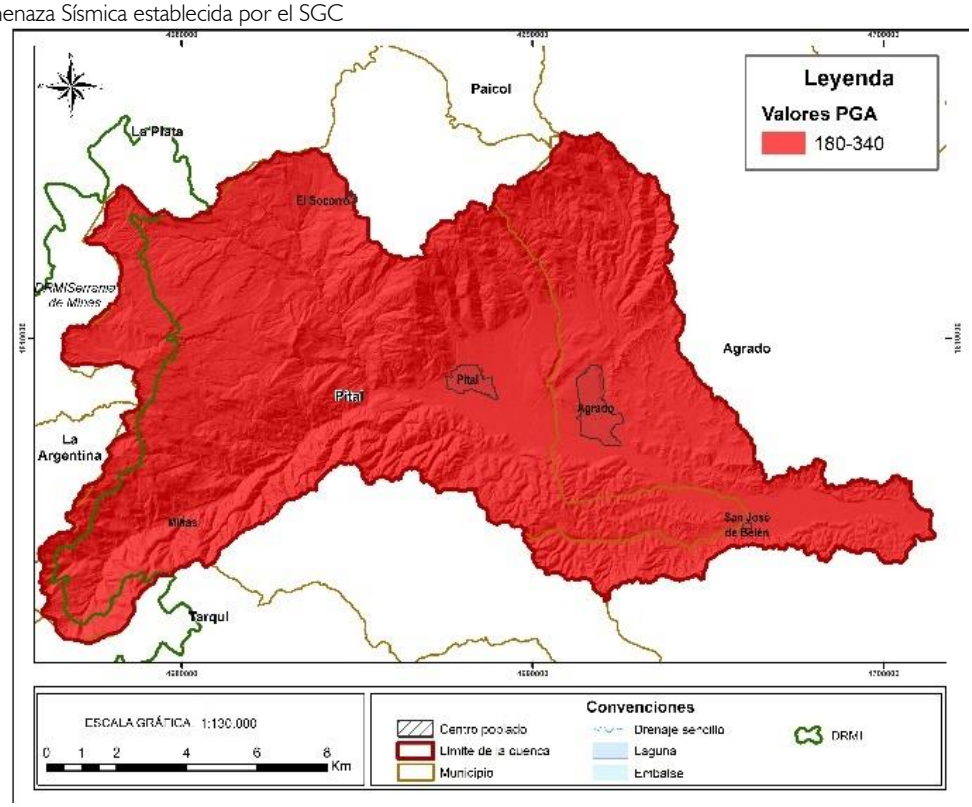
Fuente: Tomado de la NSR-10, Tabla A.2. 5-1, Pág. A-26

Para el área de la microcuenca Quebrada La Yaguilga, teniendo en cuenta la escala de trabajo y las recomendaciones establecidas metodológicamente, se asigna un coeficiente de 1,00 a partir del grupo de uso establecido de forma homogénea.

4.1.1.4.3. *Amplificación Sísmica (ST)*

La amplificación sísmica se definió a partir de la metodología establecida en el Euro Código, para lo cual se asigna un valor de amplificación tomando como referencia la inclinación de las laderas (pendiente) que se presenten en el área de evaluación, es decir, para pendientes entre los 15° y 30° se determina un factor de amplificación sísmica de 1.2, y para las pendientes mayores a 30° un valor de amplificación de 1.4.

Figura 4.15. Amenaza Sísmica establecida por el SGC

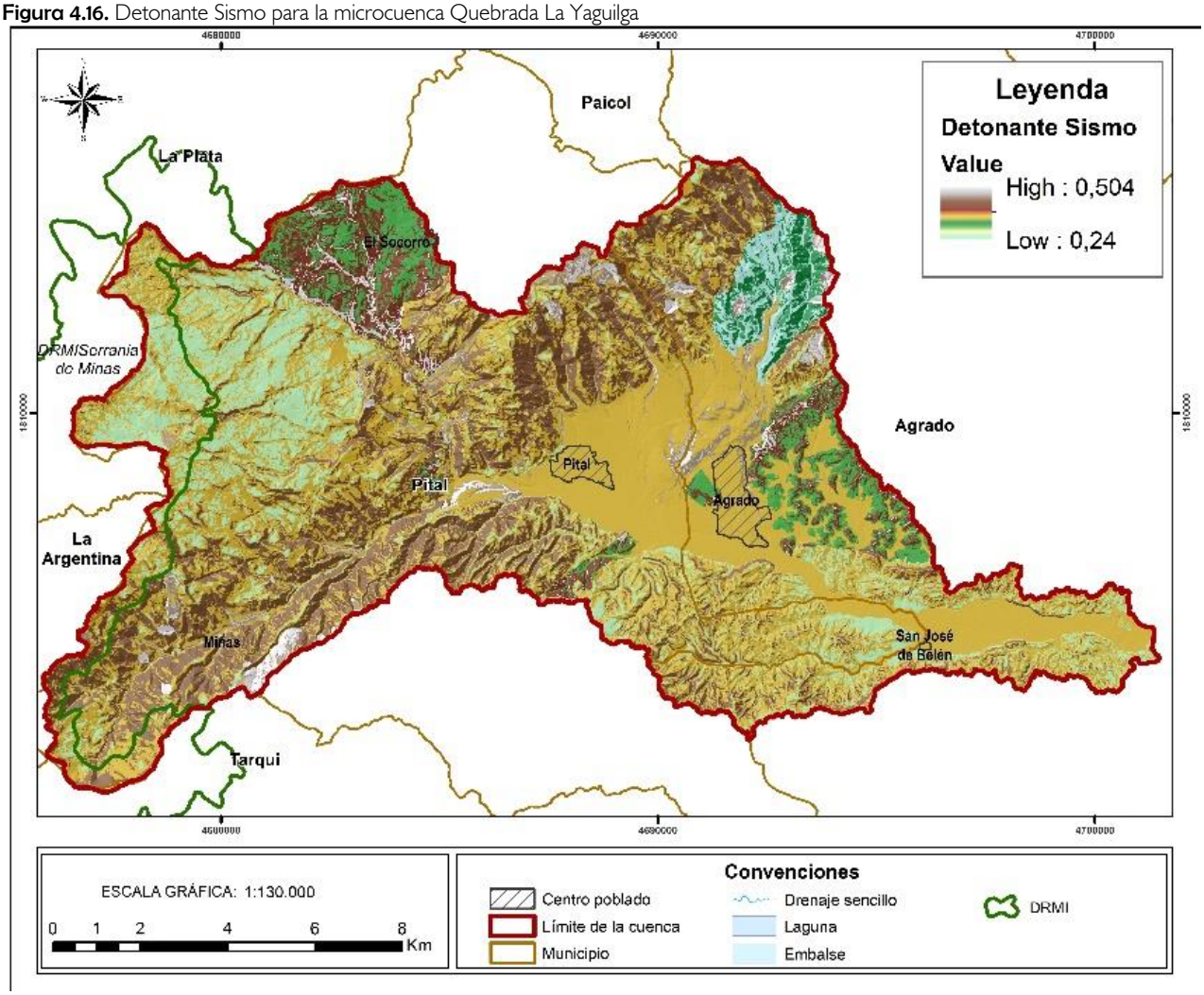


Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Junto a este resultado se genera una relación con los valores de PGA establecidos en el mapa de amenaza sísmica generado por el Servicio Geológico Colombiano para su validación (Figura 4.15), obteniendo así

el detonantes sismos para el área de la microcuenca y su aplicación en la zonificación de amenaza por movimientos en masa (Figura 4.16).

Figura 4.16. Detonante Sismo para la microcuenca Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

4.1.1.4.4. *Cálculo del factor de seguridad por período de retorno*

Consideradas estas variables que se introducen en la fórmula propuesta por el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA, se calcula el factor de seguridad por celda, para determinar los escenarios de amenaza por movimientos en masa utilizando el método de talud infinito con el fin de lograr determinar la estabilidad de las laderas, obteniendo los 10 escenarios de amenaza por periodo de retorno y sismicidad tal como se presenta en la Tabla 4.6.

$$FS = \frac{c' + \left(\gamma h \cos^2\beta - \alpha h \gamma \sin\beta\cos\beta - m\gamma_\omega h \cos^2\beta\right)\tan\phi'}{\gamma h \sin\beta\cos\beta + \alpha\gamma h\cos^2\beta}$$

Donde:
c´ = intercepto de cohesión Ø' = ángulo de fricción
ɣ = peso unitario de la capa de suelo
β = inclinación del terreno
α = coeficiente de aceleración horizontal y amplificación sísmica
h = espesor de la capa de suelo
mh = Zw: Profundidad de la tabla de agua o posición del nivel freático que posteriormente será definida su obtención.
FS = Factor de seguridad

Tabla 4.6. Escenarios de análisis de escenarios de evaluación de amenaza por MM

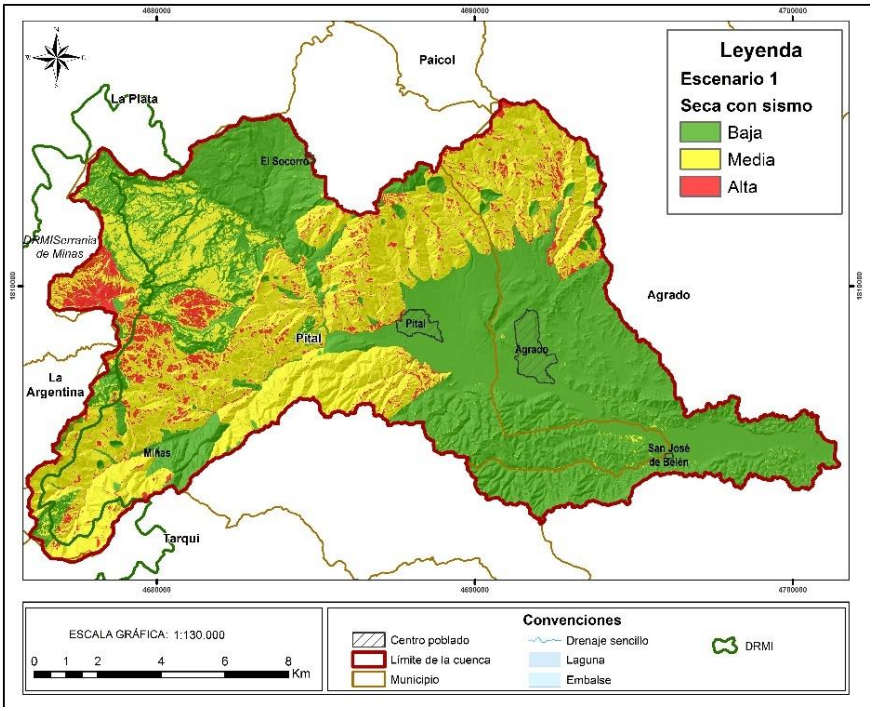
Escenario	Periodo de Retorno	
	Precipitación	Sismicidad
1	Seca	Con Sismo
2	Seca	Sin Sismo
3	2	Con Sismo
4	2	Sin Sismo
5	20	Con Sismo
6	20	Sin Sismo
7	50	Con Sismo
8	50	Sin Sismo
9	100	Sin Sismo
10	100	Con Sismo

Fuente: Adaptado del protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA, 2014

En cada uno de los escenarios obtenidos, se establece de acuerdo al factor de seguridad categorías de amenaza, determinando las zonas potencialmente estables o inestables para cada uno de los escenarios evaluados.

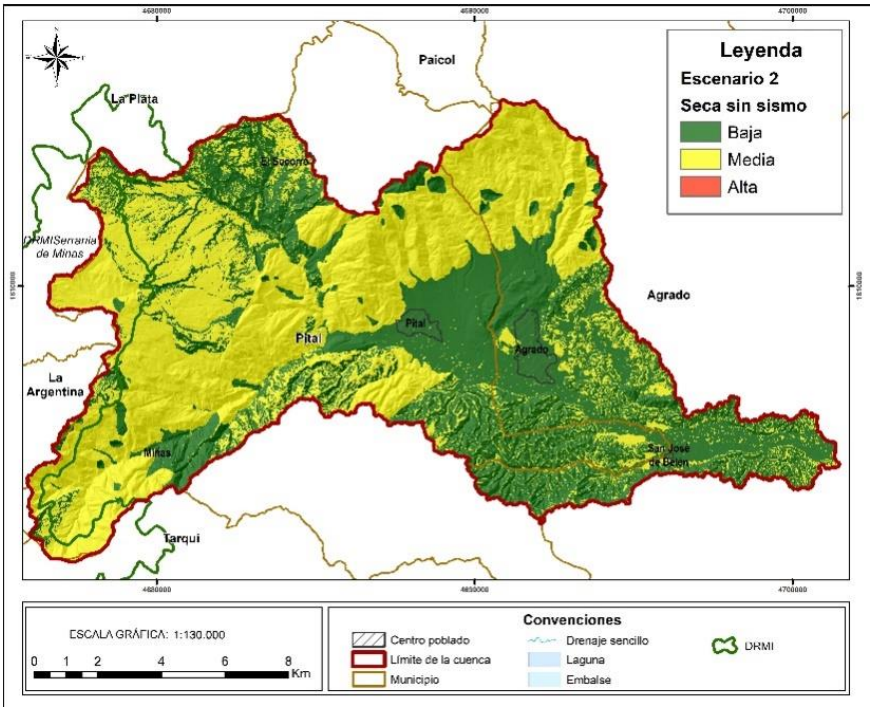
A partir del cálculo del factor de seguridad, integrado con el análisis de susceptibilidad, a continuación se presentan los 10 escenarios de amenaza por movimientos en masa para el área de la microcuenca Quebrada La Yaguilga (Figura 4.17 a Figura 4.26).

Figura 4.17. Escenario de amenaza 1, seco con sismo



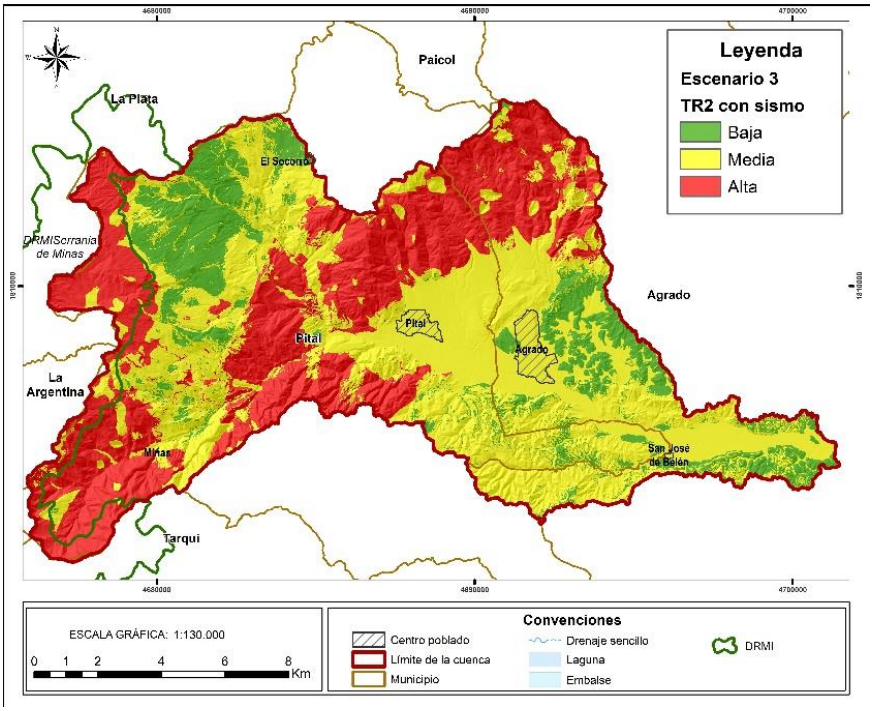
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.18. Escenario de amenaza 2, seco sin sismo



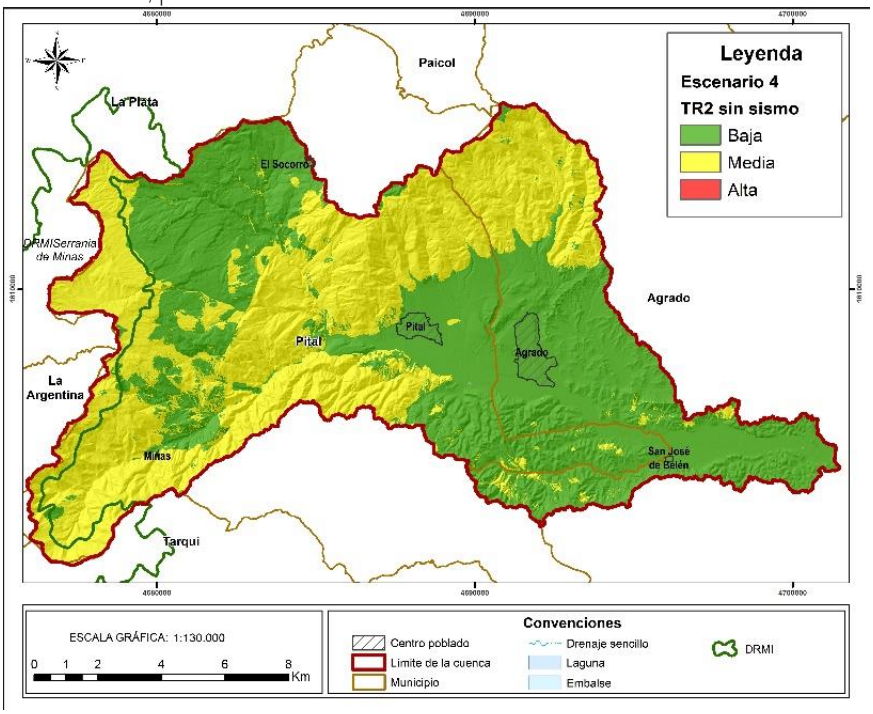
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.19. Escenario de amenaza 3, periodo de retorno a 2 años con sismo



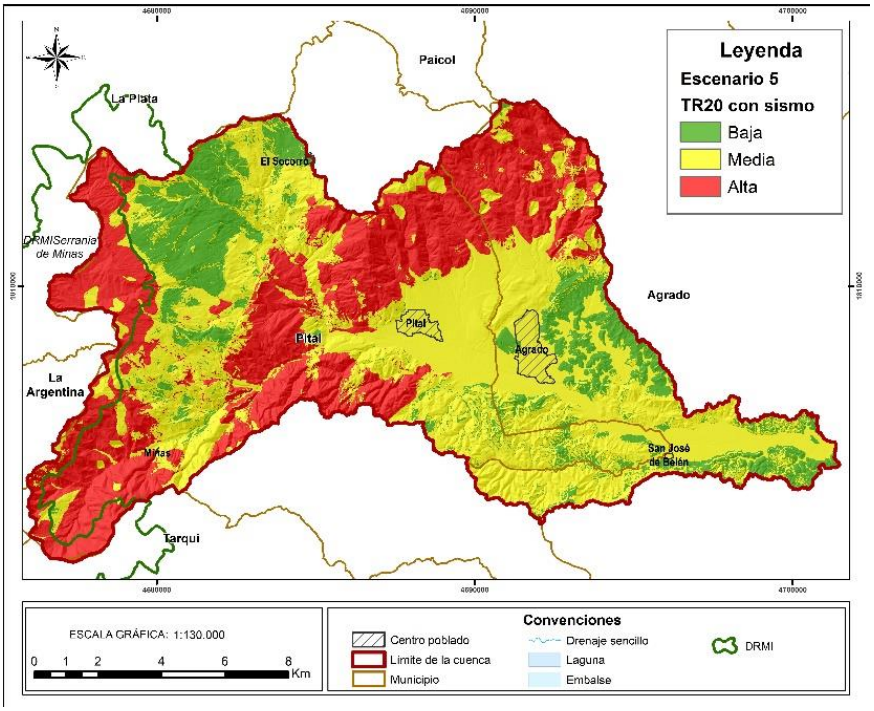
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.20. Escenario de amenaza 4, periodo de retorno a 2 años sin sismo



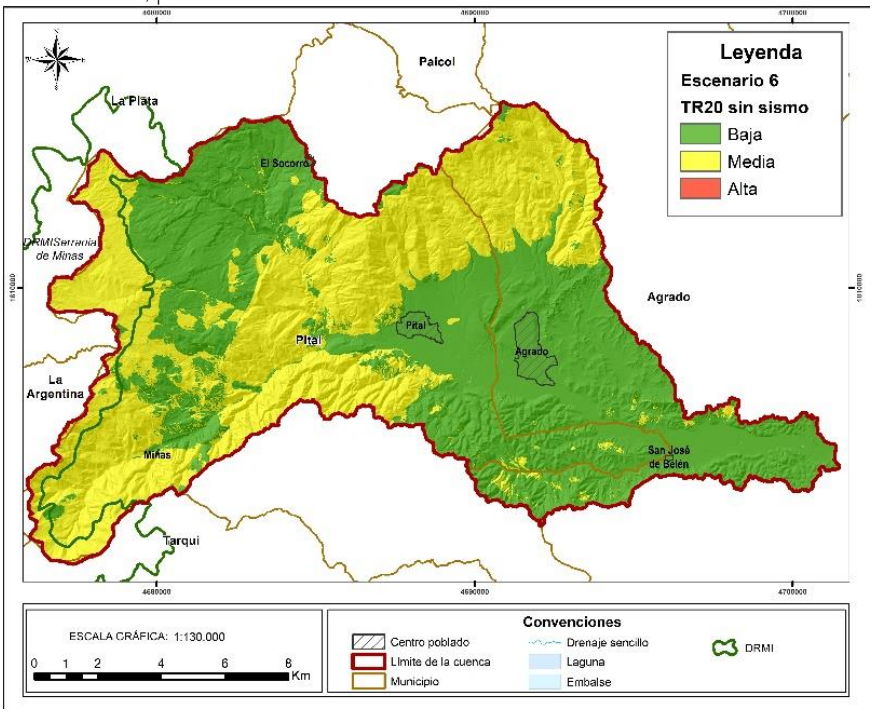
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.21. Escenario de amenaza 5, periodo de retorno a 20 años con sismo



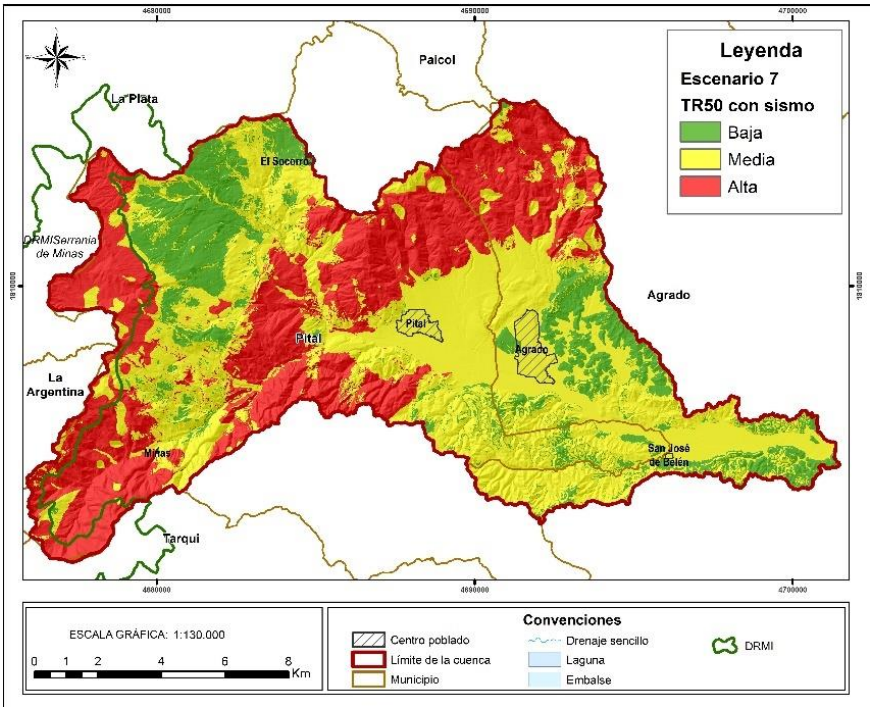
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.22. Escenario de amenaza 6, periodo de retorno a 20 años sin sismo



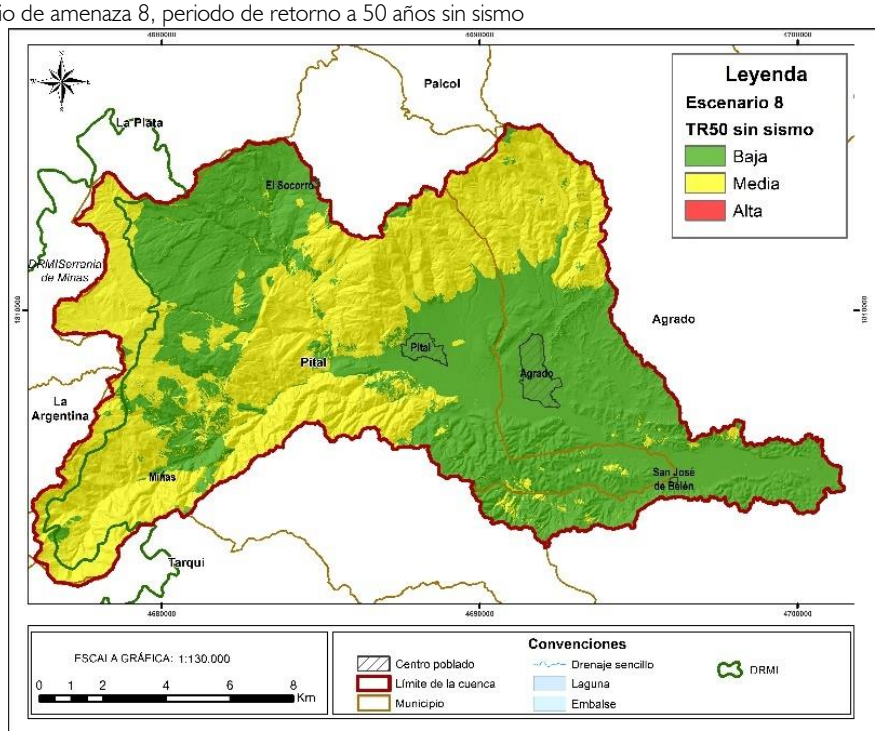
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.23. Escenario de amenaza 7, periodo de retorno a 50 años con sismo



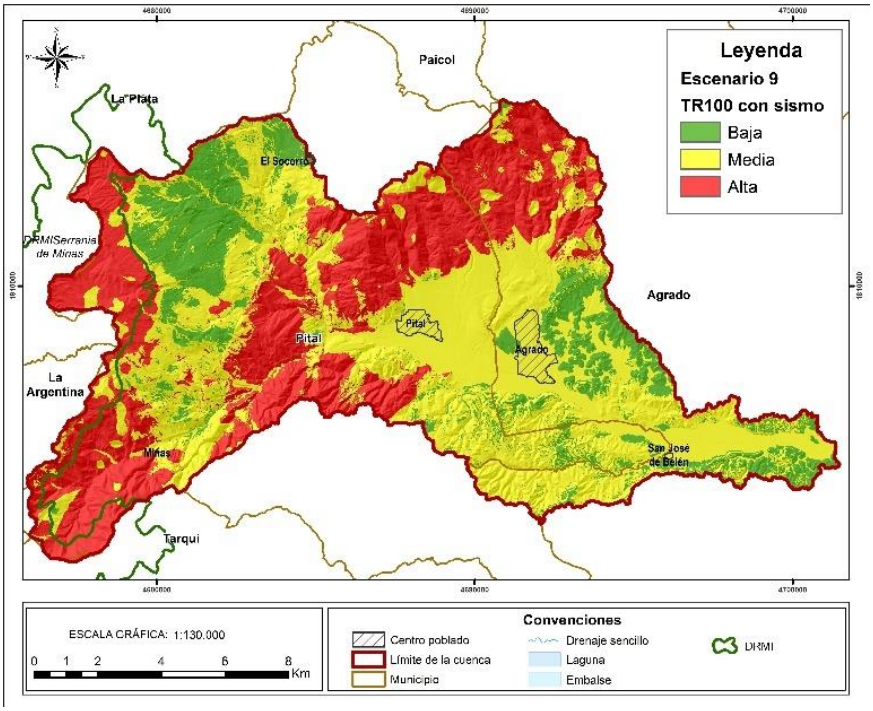
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.24. Escenario de amenaza 8, periodo de retorno a 50 años sin sismo



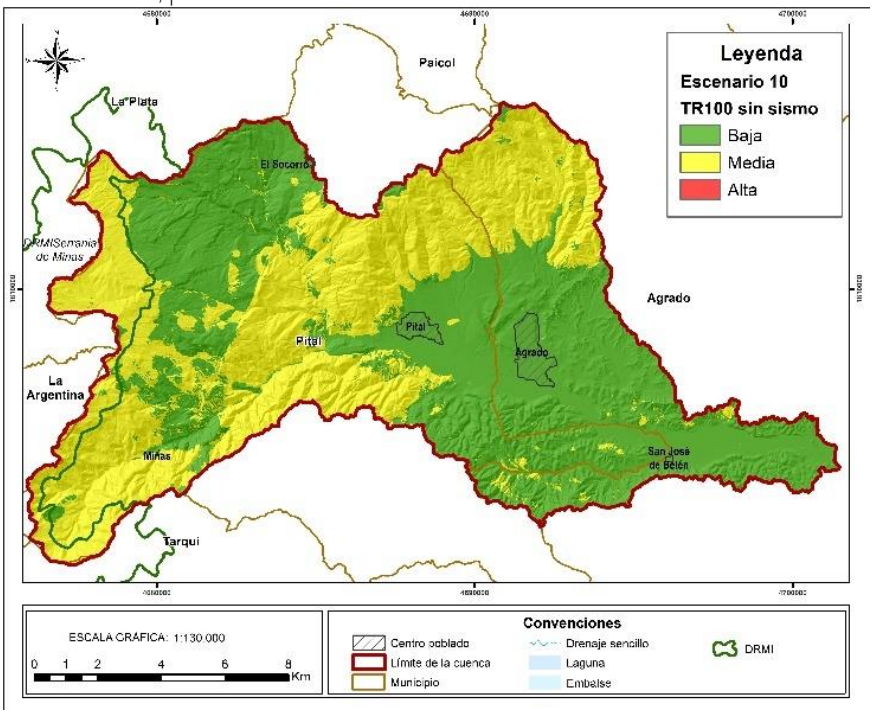
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.25. Escenario de amenaza 9, periodo de retorno a 100 años sin sismo



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.26. Escenario de amenaza 10, periodo de retorno a 100 años con sismo



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

4.1.1.4.5. *Cálculo de la amenaza final*

Al determinar la zonificación de amenaza planteado mediante el análisis de los factores de seguridad permite identificar escenarios críticos teniendo en cuenta las variaciones en el espesor de los materiales, junto a los parámetros geomecánicos de los mismos, justificando todas las condiciones posibles de acuerdo a la incidencia directa que ocasiona la saturación mediante el detonante, lluvia y las fuerzas sísmicas que actúan en el aumento de la probabilidad de falla.

En condiciones donde no se presenta saturación o incidencia del detonante sismo corresponde a escenarios con zonas de mayor estabilidad, sin embargo, a medida que se incrementan los valores de saturación con un grado de incidencia a causa de los sismos, se obtiene un aumento en las zonas de amenaza media y alta.

Con el factor de seguridad obtenido para los 10 escenarios, se determina la probabilidad a partir de la varianza del factor de seguridad. Con este valor se obtiene la desviación estándar y el área bajo la curva normal, calculando así, la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{1 - Fs}{\sigma Fs}$$

$$\mathbf{P} = (0.5 + Z)\ 100$$

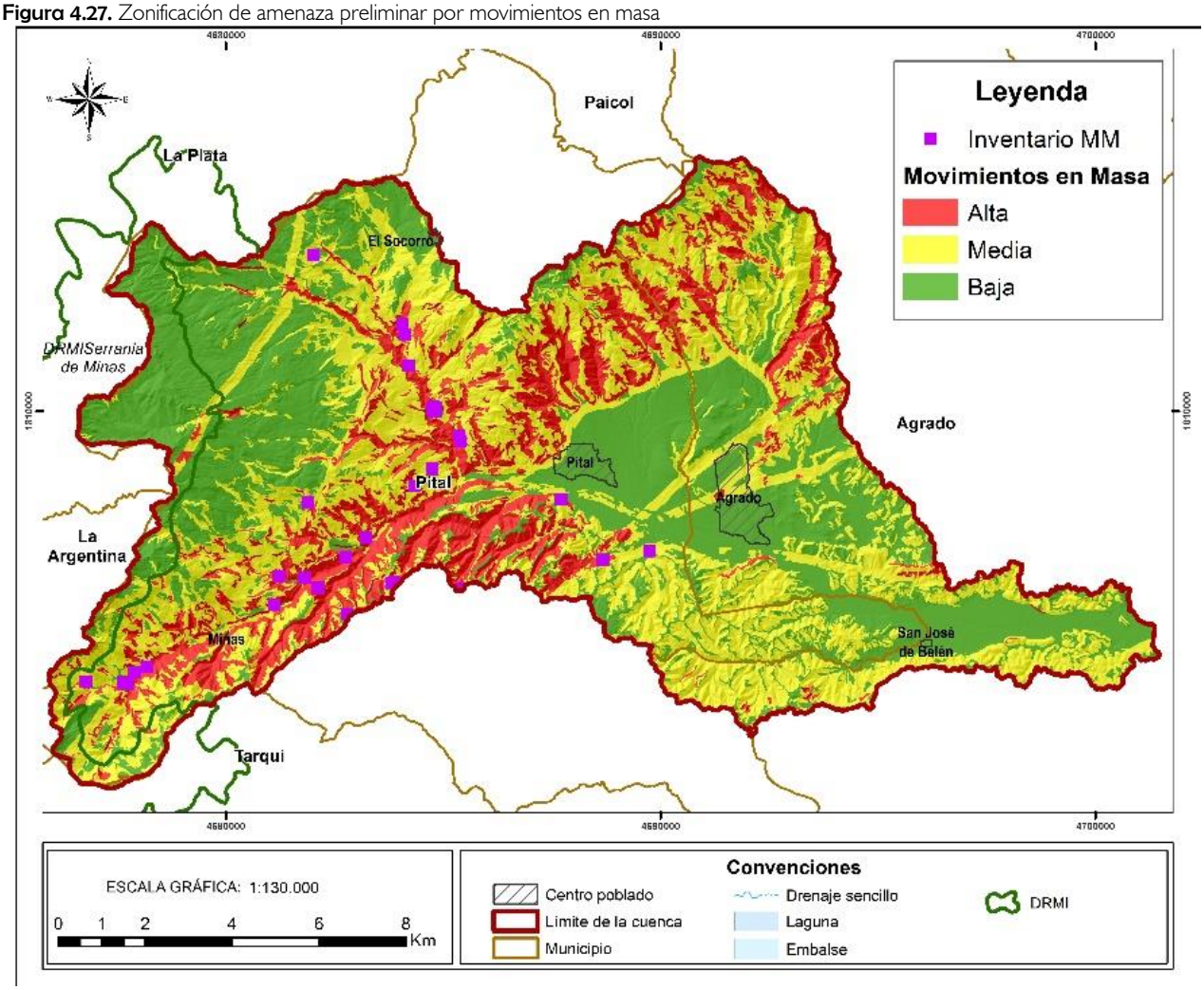
$$\mathbf{P} = (0.5 - Z)\ 100$$

Donde:

- Z = distancia entre el Factor de Seguridad y la ordenada en la curva normal. Siempre representa un área menor a 1.
- σ (FS) = Desviación estándar del Factor de Seguridad.
- P = Probabilidad de ocurrencia de falla.

Teniendo esto, mediante el software ArcGis se obtiene el mapa preliminar de la zonificación de amenaza por movimientos en masa para la microcuenca Quebrada La Yaguilga (Figura 4.27).

Figura 4.27. Zonificación de amenaza preliminar por movimientos en masa

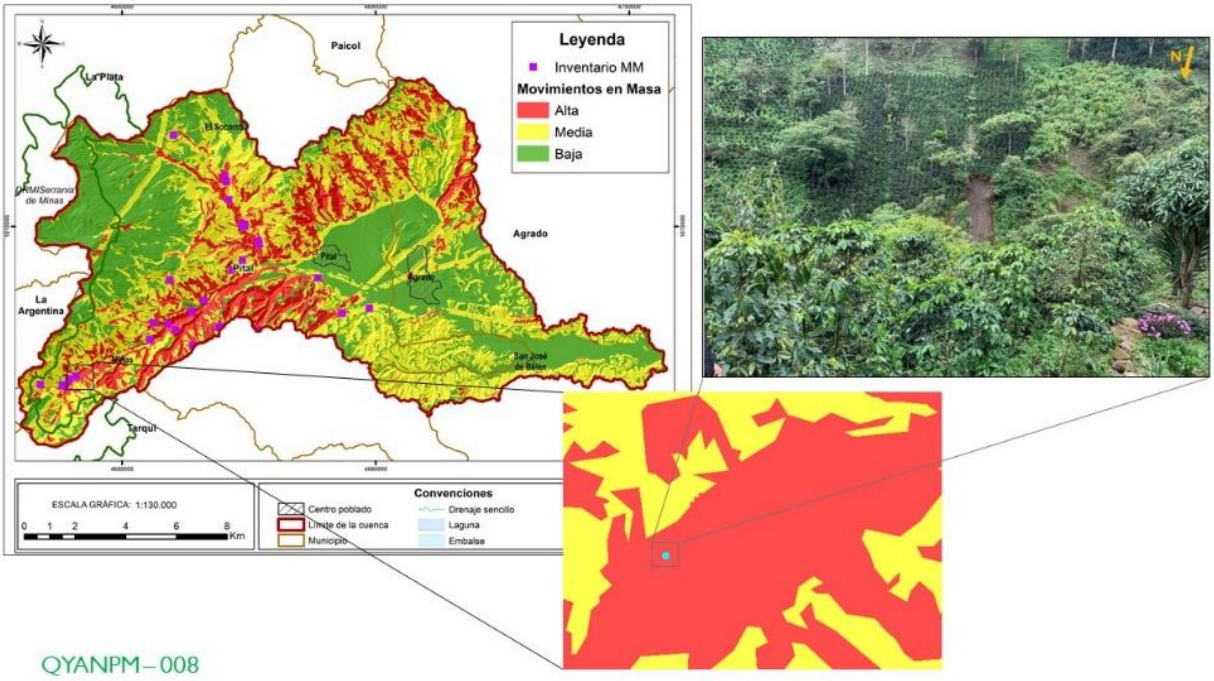


Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

4.1.1.4.6. *Calibración en campo de la condición de amenaza por movimientos en masa para la microcuenca Quebrada La Yaguilga*

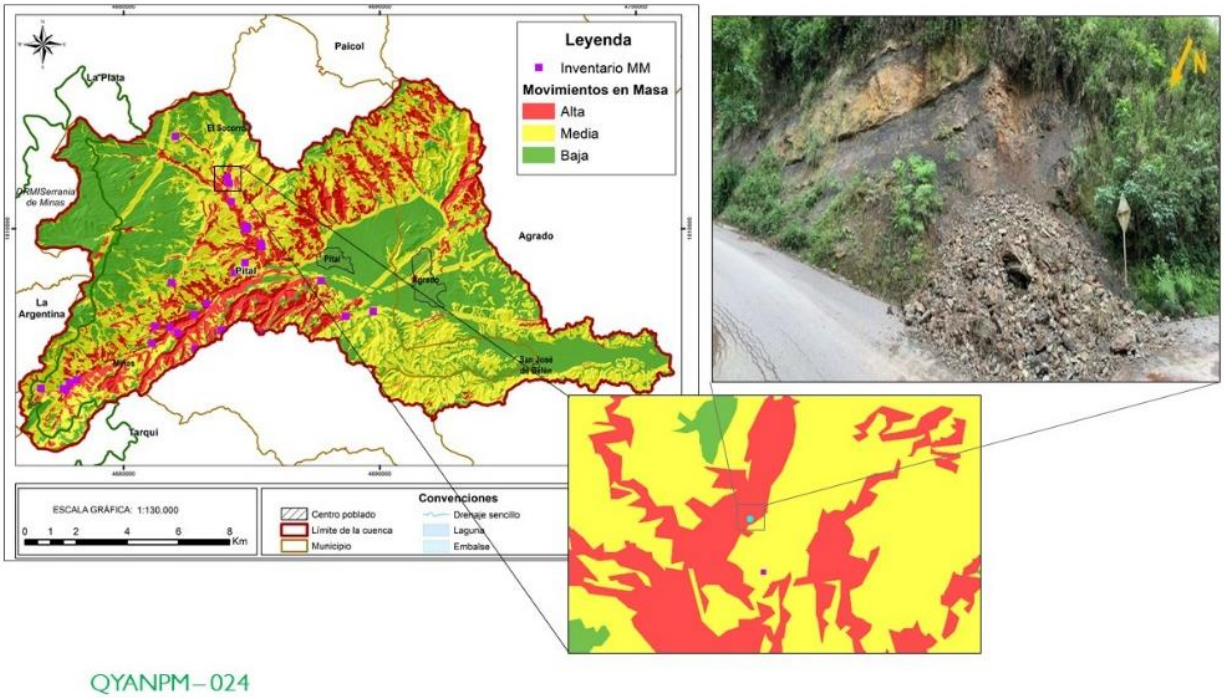
Obtenida la zonificación preliminar, se procede a realizar la calibración de los resultados en las zonas críticas resultantes y de allí, integrar las categorías obtenidas de acuerdo al modelo de susceptibilidad, para esto se tomaron los eventos activos recientes inventariados en campo, junto al registro histórico de eventos, y validar las condiciones actuales del terreno como se muestra en la Figura 4.28 y Figura 4.29.

Figura 4.28. Movimientos en masa QYANPM-008



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 4.29. Movimientos en masa QYANPM-024

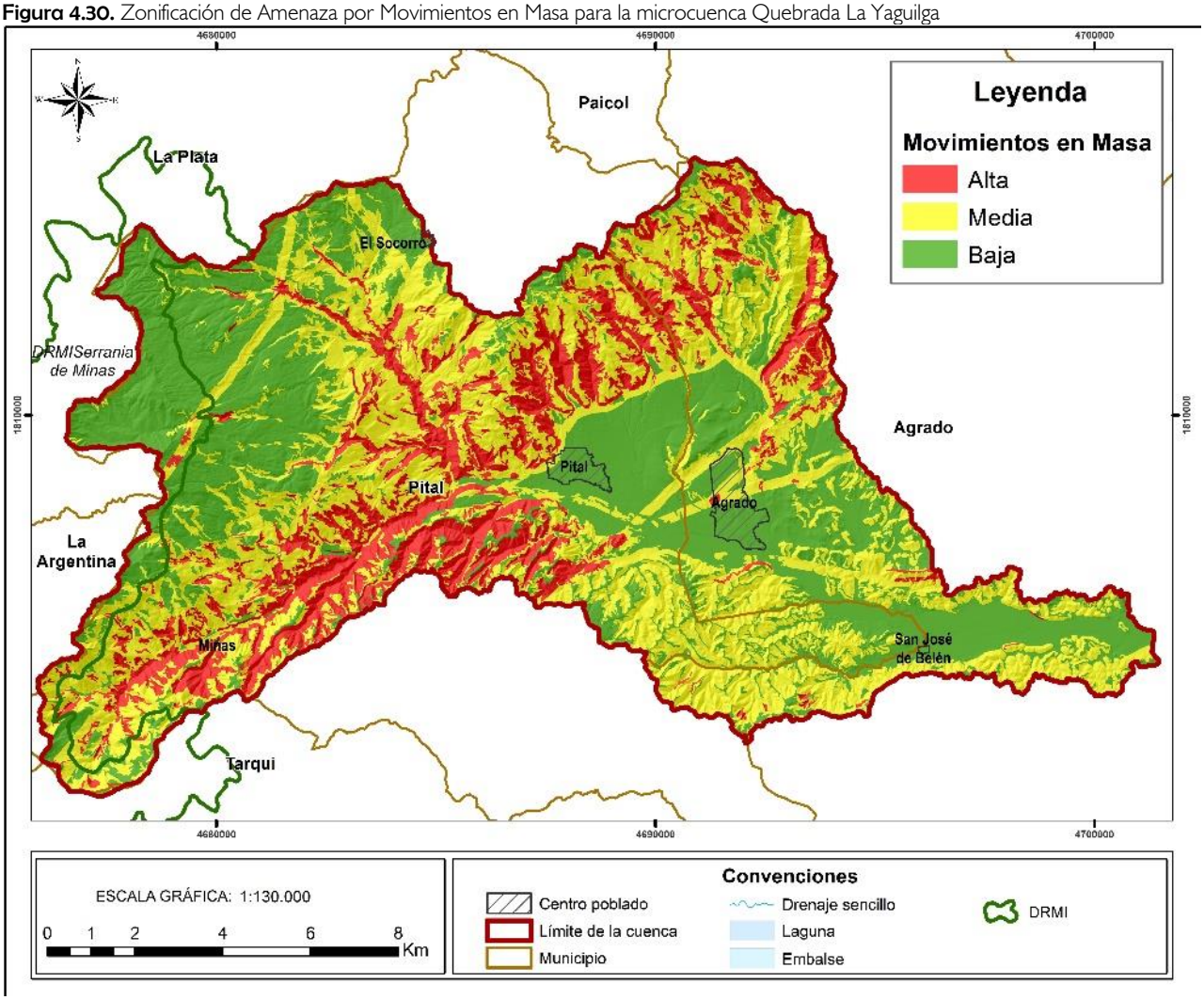


Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

4.1.2. Resultados

A partir de la validación de los puntos de inventario recopilados en campo, en conjunto con el registro histórico de eventos, se calibra el modelo obteniendo como resultado la zonificación final de amenaza por Movimientos en Masa para la microcuenca Quebrada La Yaguilga y adjunta en el Anexo 8. Mapas Amenaza.

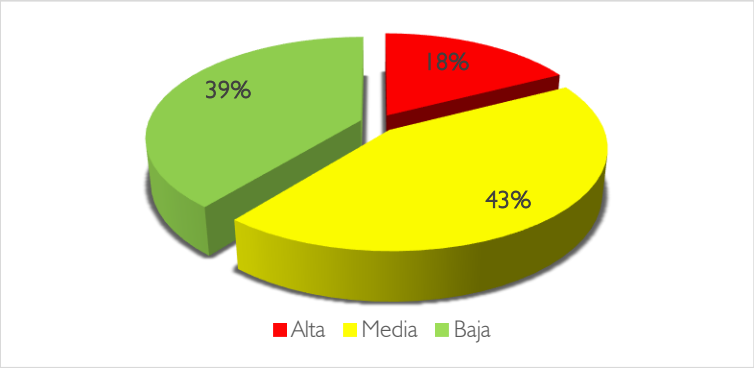
Figura 4.30. Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa para la microcuenca Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

La muestra la distribución porcentual en cada categoría de amenaza por movimientos en masa para la microcuenca Quebrada La Yaguilga.

Figura 4.31. Porcentajes de cada categoría de amenaza por movimientos en masa



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Tabla 4.7. Valores y porcentajes para la amenaza por movimientos en masa en la microcuenca Quebrada La Yaguilga

Amenaza por movimientos en masa	Área (ha)	%A
Alta	3252,00	17,47
Media	8078,52	43,40
Baja	7282,11	39,12
	18612,62986	100

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

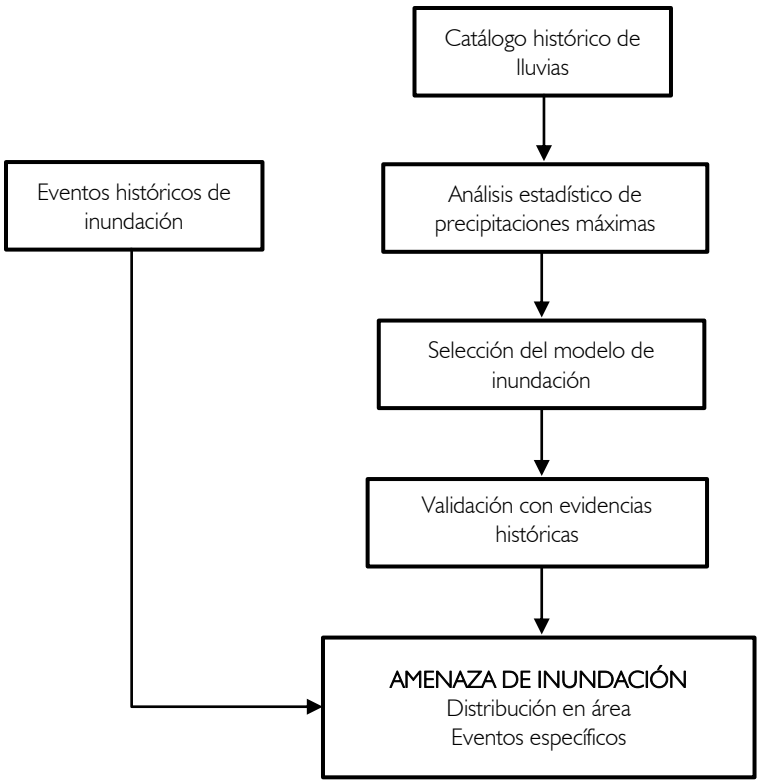
4.2. Inundaciones

La amenaza por inundación se suele expresar mediante medidas de intensidad distribuidas en el espacio geográfico analizado y según la probabilidad de ocurrencia del evento pluvial que origina la inundación. Dicha intensidad viene a ser una función de la profundidad y la velocidad del agua, así como de la duración de los eventos; por lo tanto, en la definición de la amenaza se debe tener en cuenta tanto la probabilidad de ocurrencia del evento de lluvia extremo como de los niveles o altura tirante del agua (ERN, 2011)

4.2.1. Metodología

A modo general, la Figura 1.1, se presenta la metodología que se emplea para la evaluación de la amenaza por inundación. De acuerdo con la información disponible, se describe a continuación la actividad realizada en cada una de las etapas.

Figura 1.1. Diagrama de flujo para la aplicación de un modelo de amenaza por inundación



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga, adaptado de ERN (2011)

- Análisis estadístico de precipitaciones máximas. A partir de la evolución histórica de los datos máximos de precipitación diaria, se realiza el ajusta según la distribución de probabilidad más apropiada. Esta etapa se surtió en el análisis de eventos extremos del capítulo de Clima contenido en el Volumen 1 del presente Informe de Diagnóstico. Este análisis ofrece el valor de la precipitación máxima de 24 horas por cada período de retorno en 2, 2.33, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años. Finalmente, con ayuda de los Polígonos de Thiessen para las estaciones climatológicas, se determina el régimen promedio de lluvia para los períodos de retorno de interés (15, 100 y 500 años).

- Selección del modelo de inundación: Tomando en consideración la escala semidetallada de trabajo y la configuración de la red de drenaje, se optó por trabajar con un modelo simplificado para la descripción de las inundaciones. En esencia, el criterio decisivo en la decisión tomada corresponde al porcentaje del área total de la microcuenca en categorías alta y/o media de susceptibilidad a inundaciones, y la viabilidad de disponer de datos topobatimétricos o su levantamiento en campo.

En los modelos simplificados, la intensidad de la lluvia se traduce a profundidad de precipitación efectiva, a través del modelo de escorrentía del SCS (Chow, 1994 citado por ERN, 2011), de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$P_e = \frac{[P_m - P_0]^2}{P_m + 4P_0}$$

En donde P_e es la precipitación efectiva en cm, P_m es la precipitación de la tormenta en mm y P_0 es el "umbral de escorrentía", determinado mediante la calibración del modelo de crecientes descrita en el capítulo de Hidrología del Volumen 1 del presente Diagnóstico.

Dicha precipitación efectiva corresponde a la intensidad de lluvia remanente luego que, de la profundidad total de precipitación aportada por la tormenta, se ha gastado una porción en los procesos hidrológicos de infiltración y evapotranspiración (Chow, 1994 citado por ERN, 2011)

Para la modelación de amenaza en la microcuenca se tomó el mismo hietograma empleado para el análisis de crecidas por microcuenca, aplicándolo a cada unidad hidrográfica de segundo nivel subsiguiente (subcuenca).

Para la construcción del hietograma efectivo instantáneo se debe agregar el resultante de la tabla anterior por intervalos de tiempo, considerando que hay escorrentía sólo si se cumple la siguiente condición:

$$P_m \geq P_0$$

Con este hietograma instantáneo se programó una simulación en 2D desacoplado con ayuda de la herramienta informática HEC-RAS 5.0.3. El HEC-RAS es un modelo de dominio público desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU., el cual soluciona las ecuaciones de St. Venant para flujo no permanente en canales abiertos y resuelve de manera aproximada mediante esquemas de Preissman las ecuaciones básicas de momentum y continuidad (Matgen *et al.*, 2007, citado por ERN, 2011)

Esta herramienta cuenta con la opción de realizar la simulación en un entorno 2D desacoplado de manera que representa el escurrimiento de la precipitación sobre un modelo de terreno previamente definido, con la opción de incluir hidrogramas obtenidos para los cauces principales en un análisis de crecientes como el que se ilustra en el capítulo de Hidrología del Volumen 1 del presente Informe de Diagnóstico. Con esta opción se realizaron las simulaciones hidráulicas y de inundación en llanura para la determinación de la amenaza por inundación.

- Integración de la amenaza: Como paso final se procesan los resultados espaciales obtenidos en el modelo para cada período de retorno de interés, y con la ayuda de herramientas SIG se discriminan las áreas de amenaza alta, media, baja dentro de la Cuenca, de acuerdo con la siguiente tabla

Tabla 4.8. Integración de la amenaza

PELIGROSIDAD	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (PERÍODO DE RETORNO)

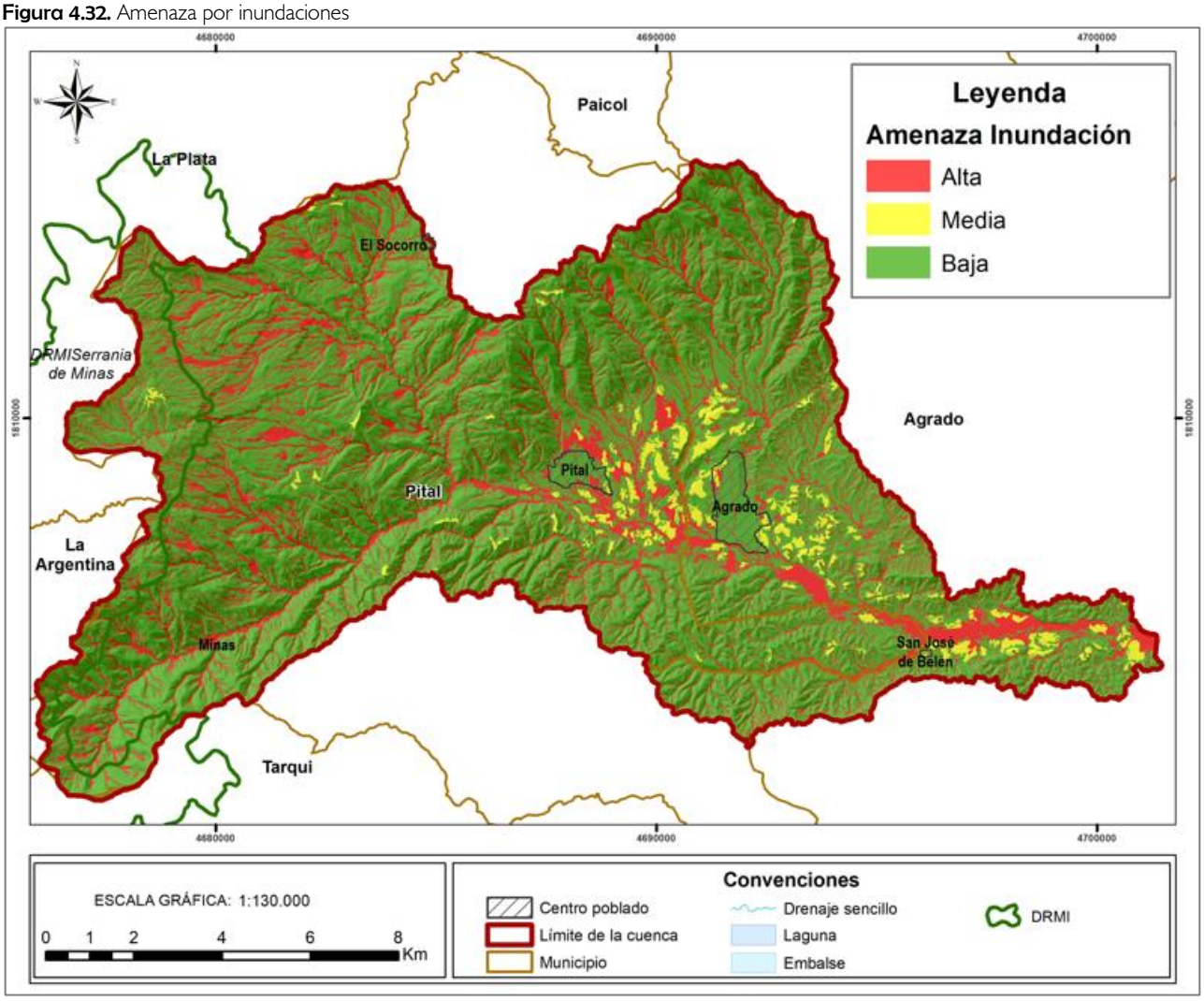
Profundidad, z (m)	Velocidad, v (m/s)	6,7% (TR = 15 años)	1% (TR = 100 años)	0,2% (TR = 500 años)
0,0 < z ≤ 0,5	v ≤ 1,5	Baja	Baja	Baja
	1,5 < v ≤ 2,0	Media	Media	Baja
	v > 2,0	Alta	Alta	Media
0,5 < z ≤ 1,0	v ≤ 1,5	Alta	Media	Baja
	1,5 < v ≤ 2,0	Alta	Media	Media
	v > 2,0	Alta	Alta	Alta
z > 1,0	v ≤ 1,5	Alta	Alta	Media
	1,5 < v ≤ 2,0	Alta	Alta	Alta
	v > 2,0	Alta	Alta	Alta

Fuente: Adaptado de Gobierno de Australia (2005), Escuder-Bueno et al. (2012), Cancado et al. (2008); Kalyanapu et al. (2012), Russo et al. (2014), Plan PLUIES (2006), Wasser (2006), Drbal and Masaryk (2007), EXIMAP (2007), Mapping (2007), Merz et al. (2007), Panayotis Prinos (2008), Spachinger et al. (2008), y Moel et al. (2009)

4.2.2. Resultados

Una vez, se realizó la integración de las categorías de amenaza de los tres periodos de retorno, se obtuvo como resultado la zonificación final de amenaza por inundaciones, tal como se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 4.32. Amenaza por inundaciones



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

- Amenaza alta: Corresponde con zonas con geoformas asociadas a procesos activos (el. Valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardones, además de evidencias e inundaciones resientes o actividad fluvial reiterada identificadas en el análisis multitemporal de eventos históricos. Ocupa el 21,3% de la cuenca, equivalentes a 3.963,03 Ha.

- Amenaza media: Se asocia con geoformas producto de procesos intermitentes (ej. Terrazas medias, meandros), procesos erosivos o sedimentarios suavizados (micro topografía irregular con limites suavizados de baja pendiente) o flujos secundarios representados por evidencias de morfologías canaliformes de poca definición y continuidad identificables en campo. Se extiende por el 2,9% de la superficie del territorio, equivalentes a 536,94 Ha.

- Amenaza baja: Se determina con base en el análisis de eventos históricos que señale una unidad inundable con una sola evidencia de evento ocurrido; también con las evidencias topográficas en campo que señalen terrenos

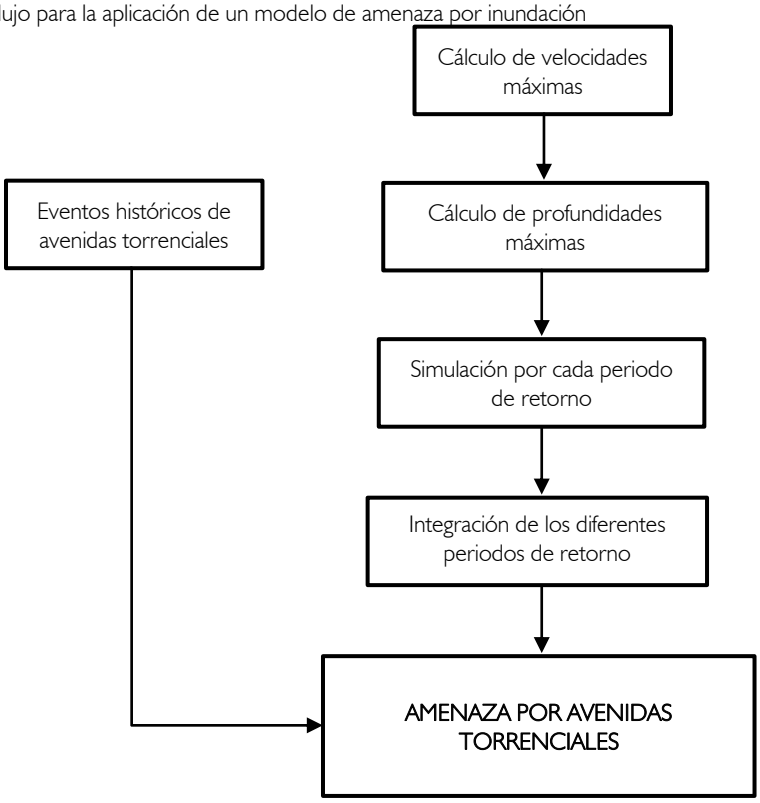
topográficamente más altos que los involucrados en las dos categorías anteriores y que coincidan con geoformas asociadas a procesos fluviales antiguos (terrazas altas). Abarca el 75,8% de la superficie de la cuenca, equivalentes a 14.112,66 Ha.

4.3. Avenidas Torrenciales

4.3.1. Metodología

Para la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales, se tomó como referencia los aspectos metodológicos descritos por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) para la modelación fluviodinámica a escala 1:25.000. En el siguiente diagrama, se muestran los pasos requeridos para la construcción del modelo de amenaza por avenidas torrenciales.

Figura 1.2. Diagrama de flujo para la aplicación de un modelo de amenaza por inundación



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga, adaptado de SGC

- Análisis estadístico de precipitaciones y velocidades máximas. A partir de la evolución histórica de los datos máximos de precipitación diaria, se realiza el ajusta según la distribución de probabilidad más apropiada. Esta etapa se surtió en el análisis de eventos extremos del capítulo de Clima contenido en

el Volumen 1 del presente Informe de Diagnóstico. Este análisis ofrece el valor de la precipitación máxima de 24 horas por cada período de retorno en 15, 100 y 500 años.

- Simulación por periodo de retorno. En concordancia con el modelo empleado en la zonificación de amenazas por inundaciones, se programó una simulación en 2D desacoplado con ayuda de la herramienta informática HEC-RAS 5.0.3. Con esta opción se realizaron las simulaciones hidráulicas y de las zonas que pueden ser ocupadas ante la ocurrencia de un evento torrencial.

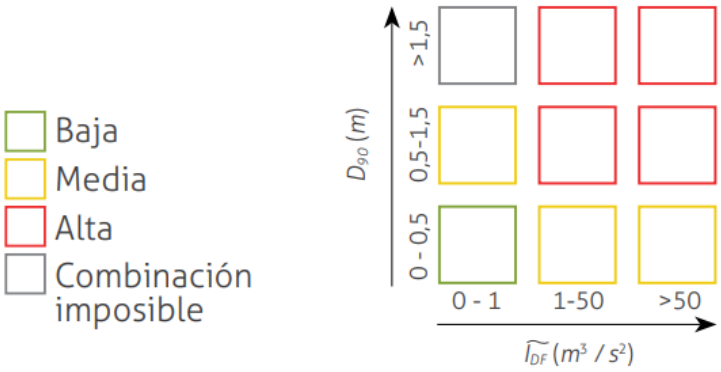
- Integración de los diferentes periodos de retorno. La combinación de los periodos de retorno se efectúa mediante el cálculo del índice de intensidad de la lluvia, de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$I_{DF} = \frac{\sum_{i=I}^{n} I_{DF,i}\left(\frac{I}{Ti}\right)}{\sum_{i=I}^{n}\left(\frac{I}{Ti}\right)}$$

En donde I_{DF} es el índice de intensidad de la lluvia, $I_{DF,i}$ es dice de intensidad de flujo que corresponde con el periodo de retorno, Ti es el periodo de retorno y n es el número de periodos de retorno del análisis.

- Integración de la amenaza: Como paso final se procesan los resultados espaciales obtenidos en el modelo para cada período de retorno de interés, y con la ayuda de herramientas SIG se discriminan las áreas de amenaza alta, media, baja dentro de la Cuenca, de acuerdo con la siguiente figura

Tabla 4.9. Integración de la amenaza

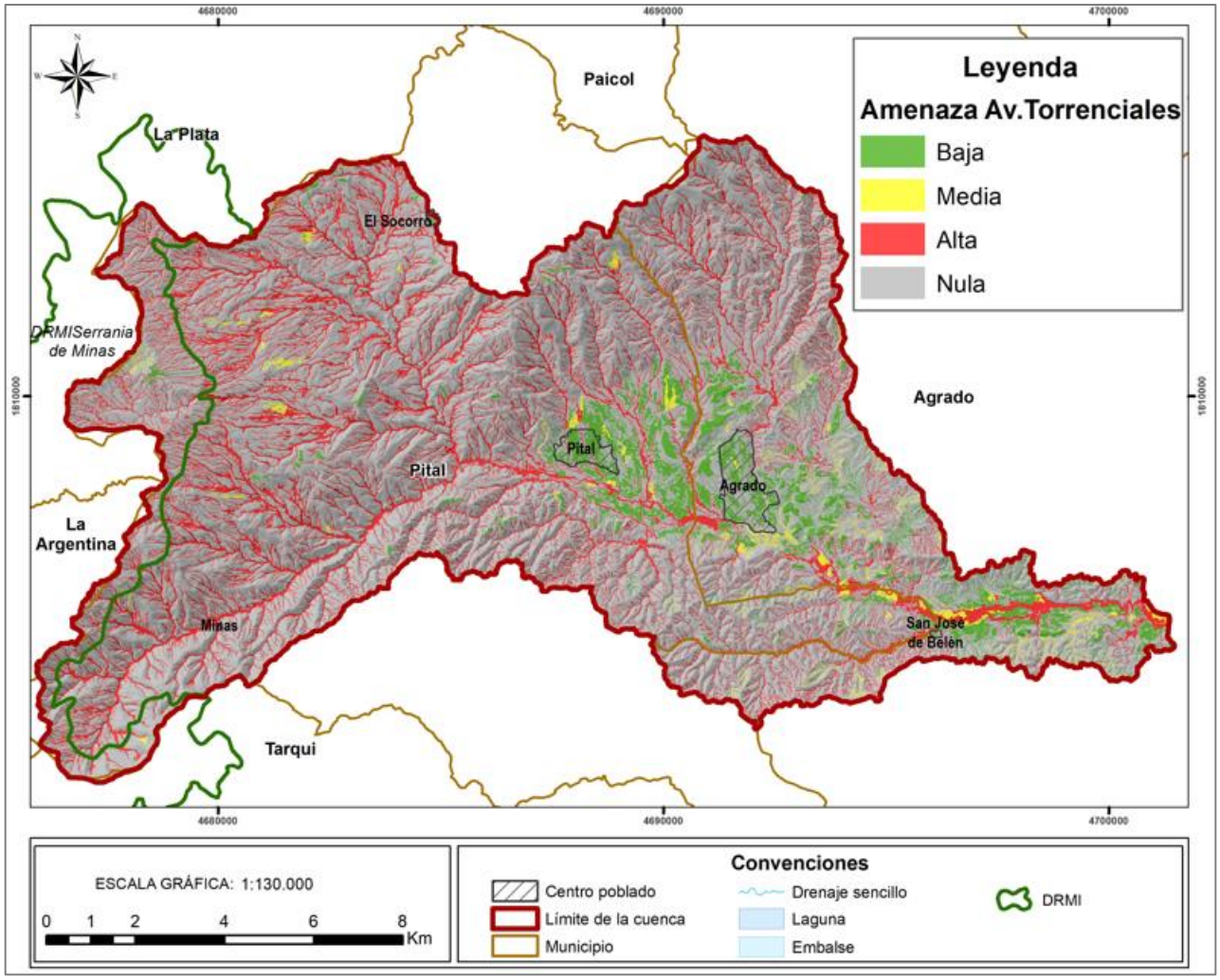


Fuente: SGC (2021)

4.3.2. Resultados

Una vez, se realizó la integración de las categorías de amenaza de los tres periodos de retorno, se obtuvo como resultado la zonificación final de amenaza por avenidas torrenciales, tal como se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 4.33. Amenaza por avenidas torrenciales



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Tabla 4.10. Área según condición de amenaza por avenidas torrenciales

Amenaza por Avenidas Torrenciales	Área (ha)	%A
Alta	3077,84	16,54
Moderada	241,89	1,3
Baja	1055,24	5,67
Nula	14237,66	76,49

4.4. Incendios de Cobertura Vegetal

4.4.1. Metodología

4.4.1.1. *Factores Climáticos*

Teniendo en cuenta que la susceptibilidad de la vegetación se ve afectada por factores externos de tipo climático que están íntimamente ligados a ella generando variaciones intrínsecas de sus cualidades principalmente en lo que hace referencia a la humedad contenida en los tejidos vegetales (influida directamente por la precipitación, humedad del suelo y temperatura ambiental), se considera necesario generar una calificación de la susceptibilidad bajo las condiciones normales de precipitación y temperatura imperantes en el país.

Para el cálculo de la amenaza por incendios forestales, deben haberse superado cuatro pasos: a) generación de datos y mapas del tipo de combustible, b) Generación de datos y mapas sobre la duración de combustible, c) Generación de datos y mapas sobre la carga de combustible y, por último, d) Construcción de datos y mapas de susceptibilidad de la vegetación a incendios. Una vez consolidada la información total, se realizará la incorporación de variables climáticas (precipitación – temperatura) y pendientes (factor histórico - accesibilidad), calculando finalmente la ecuación de amenaza. Los resultados se presentan de acuerdo a las directrices consignadas en el Protocolo Para La Realización De Mapas De Zonificación De Riesgos A Incendios De La Cobertura Vegetal - Escala 1:100.000 publicado en 2011 calificando de acuerdo a las Tabla 4.11 y Tabla 4.12.

Tabla 4.11. Ponderados para la incorporación de la Precipitación en el análisis de amenaza

Precipitación media anual (mm)	Categoría de amenaza	Calificación
Árido (0-500)	MUY BAJA	1
Pluvial (>7000)	MUY BAJA	1
Muy húmedo (300-7000)	MODERADA	2
Húmedo (2000-3000)	MODERADA	3
Seco (1000-2000)	ALTA	4
Muy seco (500-1000)	MUY ALTA	5

Fuente: IDEAM y MADS, 2011

Tabla 4.12. Ponderados para la incorporación de la Temperatura en el análisis de amenaza

Temperatura media anual (°C)	Categoría de amenaza	Calificación
Nival (<1.5)	MUY BAJA	1
Extremadamente frío (1.5 - 6)	MUY BAJA	1
Muy frío (6 – 12)	MODERADA	2
Frío (12 – 18)	MODERADA	3
Templado (18 – 24)	ALTA	4
Cálido (>24)	MUY ALTA	5

Fuente: IDEAM y MADS, 2011

4.4.1.2. *Factor de relieve*

A partir del mapa de curvas de nivel se genera el modelo digital del terreno y a partir de éste el mapa de pendientes en porcentaje. El mapa de pendientes en porcentaje se reclasifica y se le asigna una clasificación según la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Ponderados para la incorporación de Pendientes en el análisis de amenaza

Pendiente media (%)	Categoría de amenaza	Calificación
0 – 7%	MUY BAJA	1
7 – 12 %	BAJA	1
12 – 25%	MODERADA	2
25 – 75%	ALTA	3
>75%	MUY ALTA	4

Fuente: IDEAM y MADS, 2011

4.4.1.3. *Factor histórico*

A partir de la información de estadísticas históricas sobre incendios que se tengan a nivel regional y/o municipal el siguiente paso, consiste en el cálculo de los índices de frecuencia y causalidad de dichos fenómenos.

4.4.1.4. *Incorporación de información de carácter histórico sobre los incendios forestales en la evaluación de la amenaza*

El análisis de la frecuencia-causalidad, se realizan mediante la aplicación de las ecuaciones que se presentan a continuación:

$$Fi = \frac{1}{a}\sum_{1}^{a}.$$

$$Ci = \frac{1}{a}\sum_{1}^{a} * \frac{\sum_{1}^{a} Cnic}{ni}$$

Donde,
Fi: Frecuencia de incendio
a: Número de años
ni: número de incendios de cada año
Ci: índice de causalidad
C: Causa especifica de cada incendio
nic: Número de incendios por cada causa por cada año

Una vez calculado los dos índices presentados, se procede a realizar la normalización de los datos su posterior calificación y categorización.

4.4.1.5. *Accesibilidad*

Para este proceso, se debe realizar a partir del mapa vial (vías principales y secundarias), la generación de 4 zonas buffer cada una de 500 m de grosor; una vez generados los buffers, se procede a su calificación para la generación de las amenazas que se pueden presentar sobre la cobertura por efecto de la mayor o menor posibilidad de acceso que se tenga sobre ellas, de acuerdo a los siguientes criterios:

Tabla 4.14. Ponderados para la incorporación de criterios de Accesibilidad

Distancia a la Vía (Grosor del Buffer en m)	Categoría de amenaza	Calificación
0 – 500	MUY ALTA	5
500 - 1000	ALTA	4
1000 - 1500	MODERADA	3
1500 - 2000	BAJA	2
Más de 2000	MUY BAJA	1

Fuente: IDEAM y MADS, 2011

4.4.1.6. *Generación del mapa de amenaza por incendios forestales*

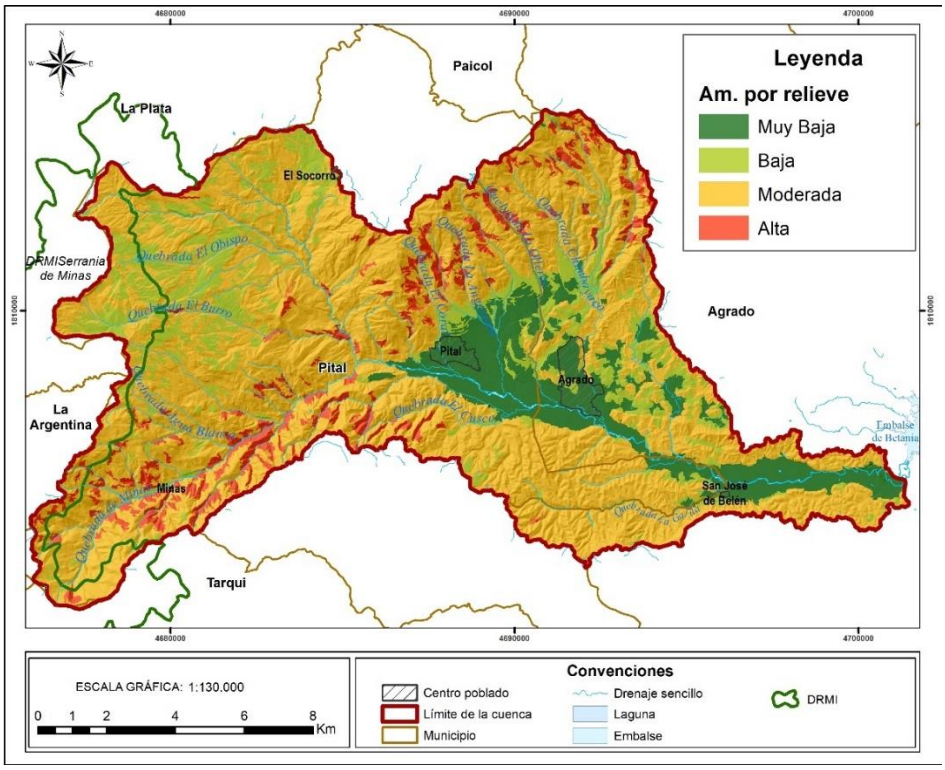
Con la información generada durante los pasos 1 al 8 mediante procesos de algebra de mapas se genera una suma ponderada la cual equivale a la amenaza total por incendios forestales.

$$\boldsymbol{Amenaza = susceptibilidad\ de\ la\ vegetación\ X\ (0.17) + precipitación\ X\ (0,25) + temperatura\ X\ (0,25) + pendientes\ X\ (0,03) + frecuencia\ X\ (0.05) + accesibilidad\ x\ (0,03)}$$

Una vez realizada la respectiva suma ponderada, se procede a realizar una distribución de frecuencias en 5 rangos para así llegar a categorizar el grado de amenaza entre muy baja (rango menor) a muy alta (rango mayor), considerando las categorías intermedias de baja, moderada y alta, respectivamente.

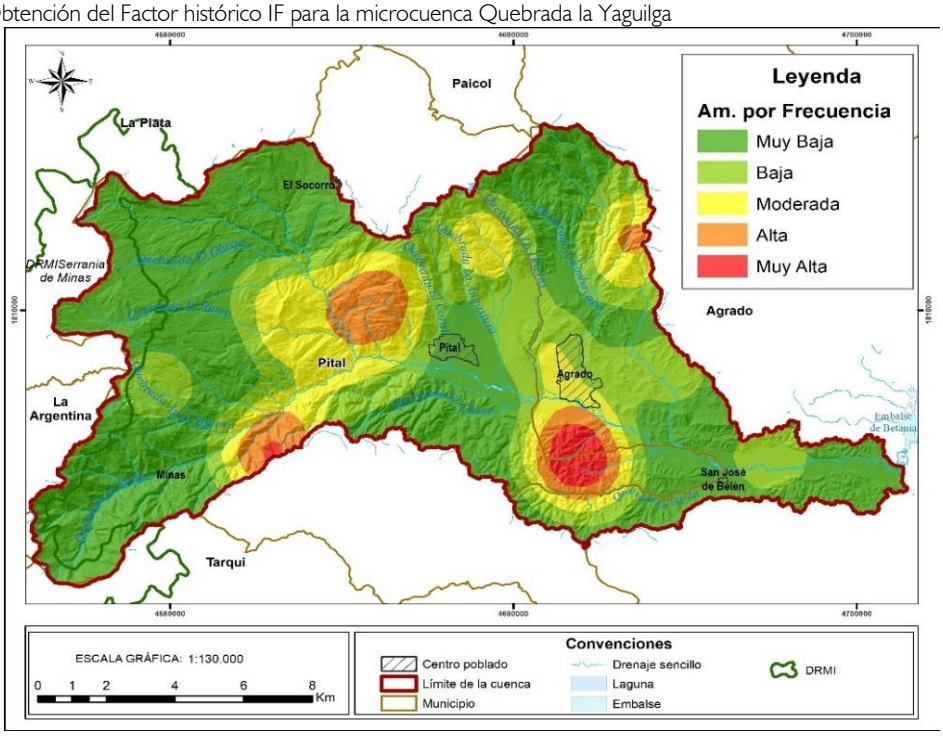
4.4.2. Resultados de Amenaza por incendios de la cobertura vegetal

Figura 4.34. Obtención del Factor de Relieve IF para la microcuenca Quebrada la Yaguilga



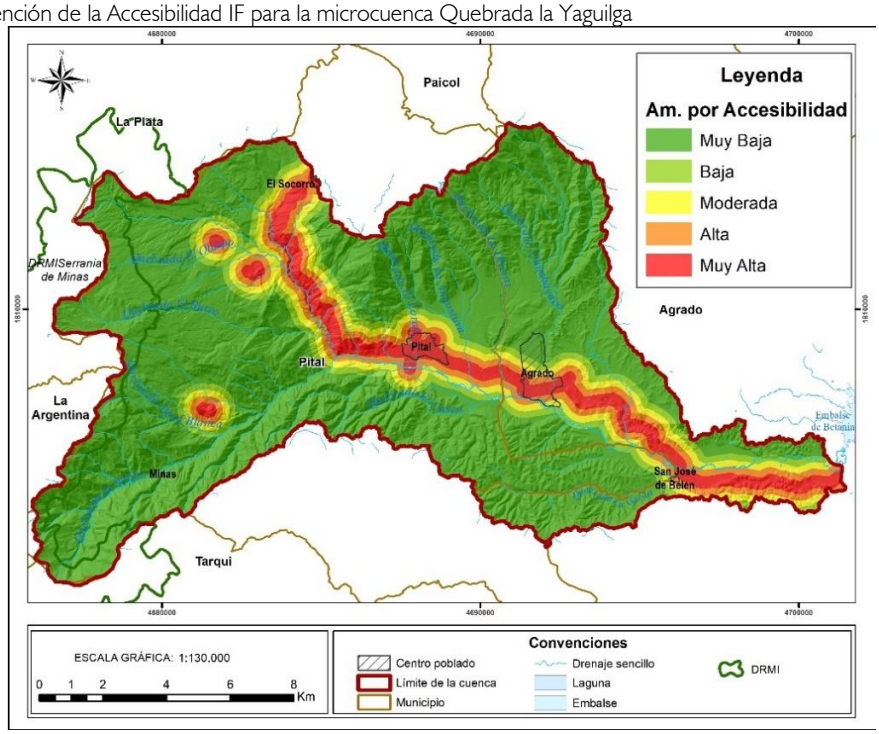
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga, 2022

Figura 4.35. Obtención del Factor histórico IF para la microcuenca Quebrada la Yaguilga



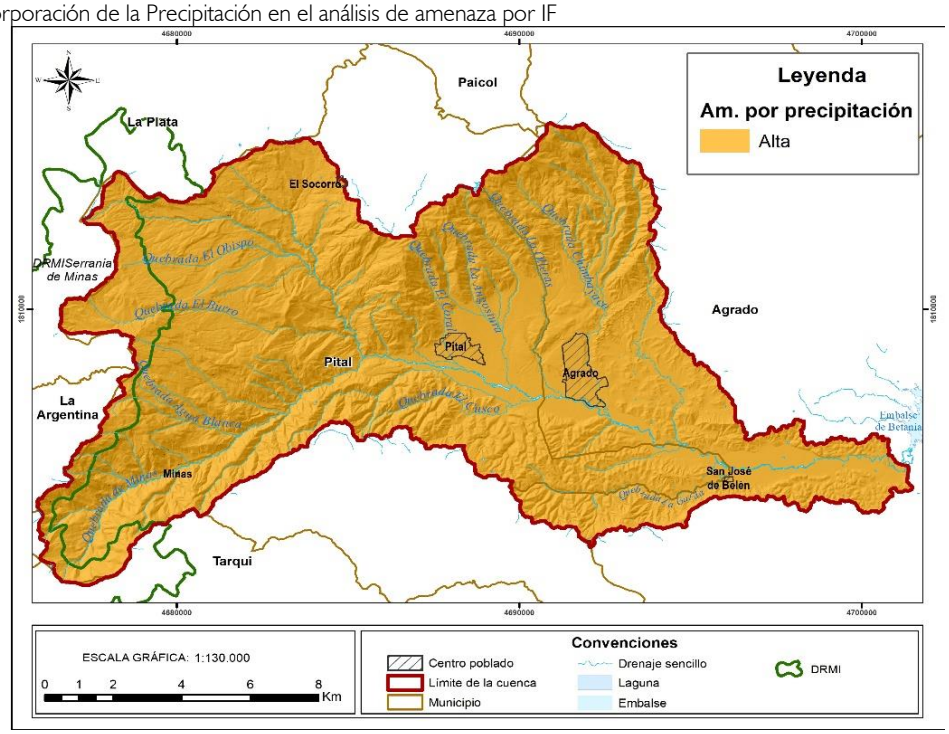
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga, 2022

Figura 4.36. Obtención de la Accesibilidad IF para la microcuenca Quebrada la Yaguilga



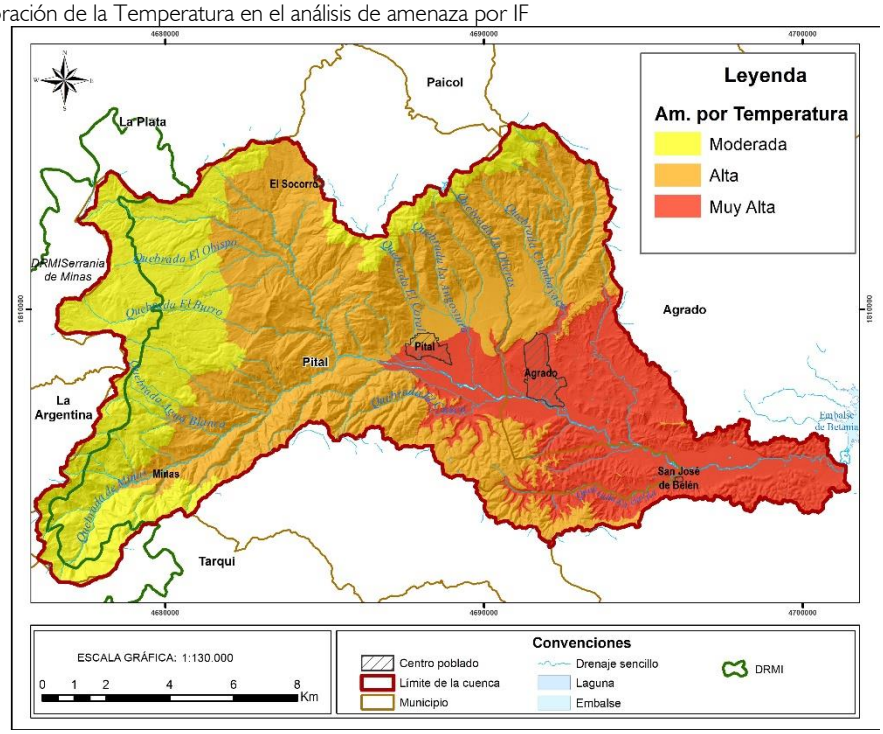
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga, 2022

Figura 4.37. Incorporación de la Precipitación en el análisis de amenaza por IF



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga, 2022

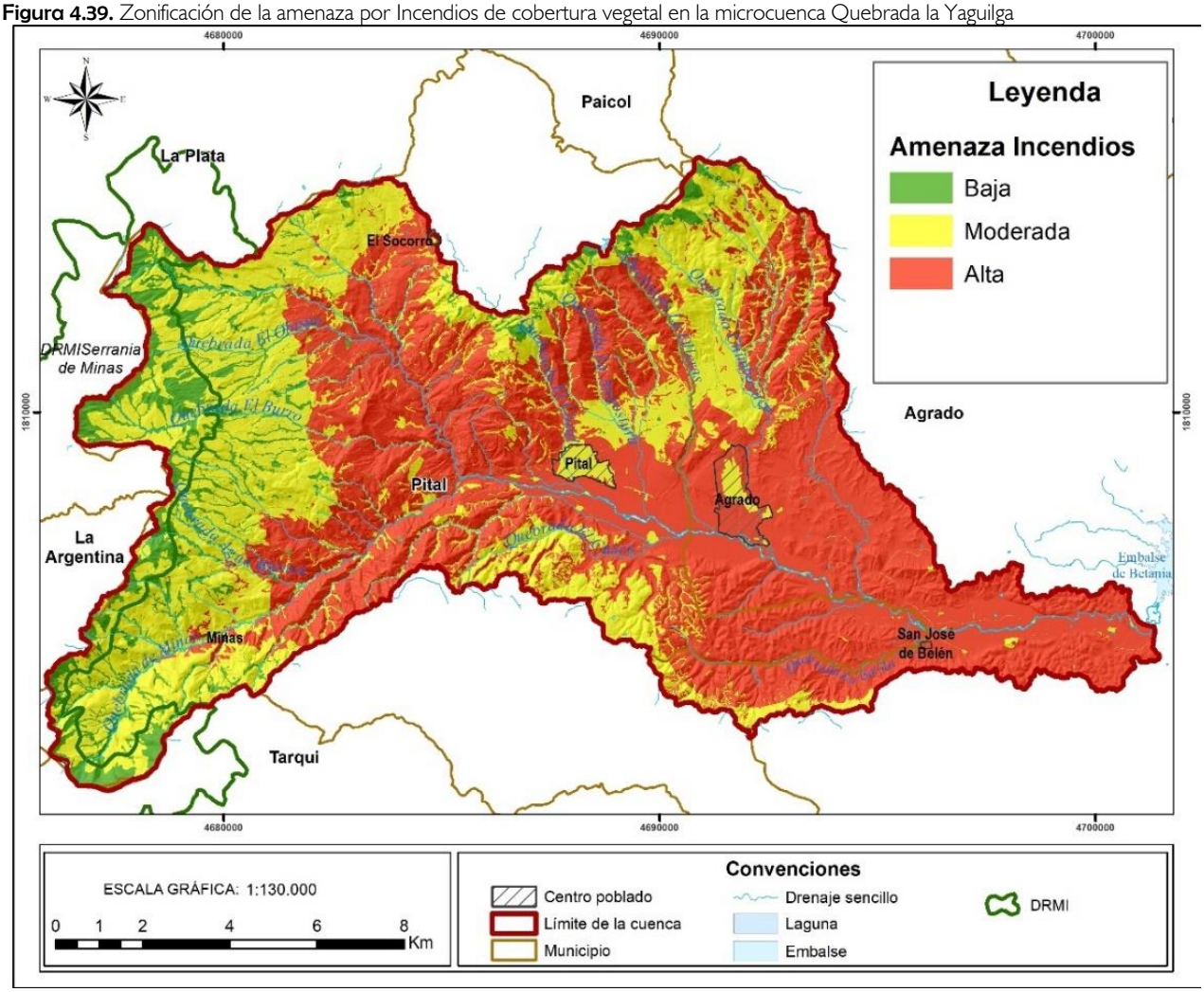
Figura 4.38. Incorporación de la Temperatura en el análisis de amenaza por IF



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga, 2022

De acuerdo a los resultados de la zonificación, el 54.42% posee amenaza alta para la ocurrencia de incendios de cobertura vegetal, siendo las veredas El Mirador, El Carmelo, San Antonio, Bajo Minas, El Carmen, Playa Rica, La Mesa, Santa Rosa, El Retiro, Chorrillos y Peña Negra las que más expuestas se encuentran en el municipio de El Pital, y en menor medida, El Cusco, Uvital, Cauchal, Los Olivos, Flor Amarillo, Las Minas, Chimbayaco, El Amparo y El Socorro (38 % del área total, aproximadamente 7057 hectáreas); En el municipio de El Agrado, todas las veredas que se encuentran en el parteaguas de la microcuenca incluido el Casco Urbano, son altamente sensibles.

Figura 4.39. Zonificación de la amenaza por Incendios de cobertura vegetal en la microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga, 2022

Los territorios que conforman el DRMI del municipio de El Pital (Alto Líbano, San Miguel, Las Mercedes, El Recreo, Los Olivos y la Florida, obtuvieron una calificación baja en cuanto a amenaza por incendios de

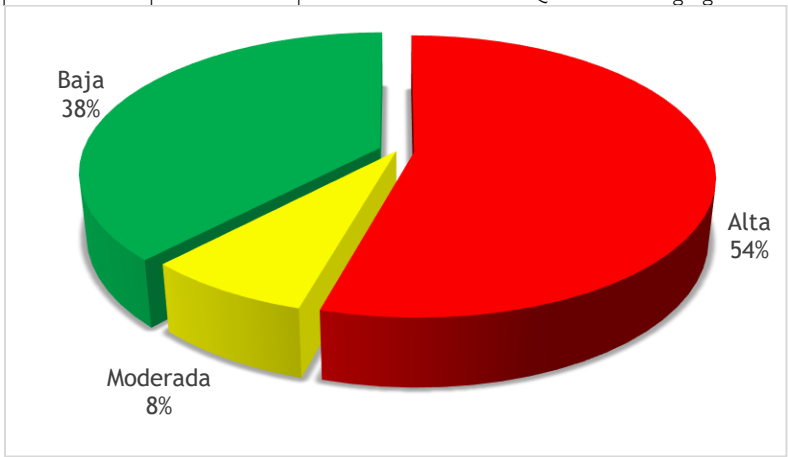
cobertura vegetal. En los límites con municipios aledaños a la microcuenca como lo son Paicol, Tarqui, La Argentina y La Plata, no se verifica una continuidad de la tendencia alta a incendios.

Tabla 4.15. Área total y porcentual con Amenaza por Incendios de cobertura vegetal en la microcuenca Quebrada la Yaguilga

Amenaza por Incendios de la Cobertura Vegetal	Área (ha)	%A
Alta	10128,462956	54,42
Moderada	1425,944278	7,66
Baja	7058,222682	37,92
Total	18612,63	100

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga, 2022

Figura 4.40. Distribución porcentual del tipo de amenaza por IF en la microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga, 2022

4.5. Sequías

La OMM (2016) precisa que las sequías son una de las amenazas naturales más costosas anualmente: sus efectos son considerables y generalizados, al perjudicar a muchos sectores económicos y personas en cada ocasión. La zona afectada suele ser más extensa que la de otras amenazas, ya que no está determinada por condiciones del medio físico, como si ocurre con las inundaciones, avenidas torrenciales o sismos.

De acuerdo con la OMM (2016), las sequías se pueden caracterizar por su gravedad, localización, duración y desarrollo cronológico. La ocurrencia de procesos hidrometeorológicos que suprimen la precipitación o limitan la disponibilidad de agua superficial o subterránea, pueden desencadenar en sequía, de tal manera que aparecen condiciones mucho más secas de lo normal o se limita de otra manera la humedad disponible hasta un punto potencialmente perjudicial.

Los efectos de las sequías pueden ser tan variados como sus causas. Las sequías pueden repercutir negativamente en la agricultura y la seguridad alimentaria, la generación de energía hidroeléctrica y la industria, la salud humana y animal, la seguridad de los medios de subsistencia, la seguridad personal (al desplazarse a sitios lejanos para conseguir agua). Estos efectos dependen de los contextos socioeconómicos en los que se producen las sequías, en función de la población o los elementos que estén expuestos a las sequías y de las vulnerabilidades específicas de los entes expuestos (OMM, 2016)

El seguimiento de la sequía sugiere la identificación de cambios en variables como la precipitación la temperatura, la disponibilidad de agua superficial y subterránea (OMM, 2016). Para ello se han desarrollado una amplia serie de indicadores e índices a nivel mundial. Uno de ellos es el índice normalizado de precipitación (SPI), sustentado en las relaciones de la sequía con la frecuencia, la duración y las escalas temporales. En 2009, la OMM recomendó a los países que utilizaran el SPI como principal índice de la sequía meteorológica para vigilar y seguir las condiciones de sequía (Hayes, 2011 citado por OMM, 2016).

4.5.1. Definición

La Sequía es una disminución anómala de la precipitación respecto a los promedios históricos, la cual afecta los ciclos hidrológicos naturales, los sistemas de producción y demás actividades ambientales y socio-económicas del país o de una región en particular, teniendo en cuenta el ordenamiento productivo (UNGRD, 2017 citado por IDEAM, 2017).

Este fenómeno se caracteriza por una ausencia prolongada, marcada deficiencia o pobre distribución de la precipitación en determinado lugar. En cuanto a las demás variables climáticas, generalmente se asocia con altas temperaturas, baja humedad relativa, mayores cantidades de insolación y menor nubosidad, que producen un incremento de la evaporación del suelo y de la transpiración de las plantas (IDEAM, 2017).

Tipos de sequía:

- Sequía meteorológica: Se refiere exclusivamente a la escasez de lluvia durante un período determinado (IDEAM, 2017).
- Sequía agrícola: Se presenta cuando la oferta hídrica, ya sea por precipitación o por aporte de agua del suelo, para que los cultivos puedan desarrollarse adecuadamente (IDEAM, 2017).
- Sequía estacional: Se relaciona con el comportamiento climático en los patrones de circulación. Generalmente se presenta invariablemente cada año, durante los mismos meses (IDEAM, 2017).
- Sequía contingente: Descenso anormal de las lluvias durante el período apto de crecimiento de los cultivos, es decir, durante la temporada de lluvias (IDEAM, 2017).
- Sequía invisible: Es una temporada de varios meses en los cuales las lluvias permanecen moderadamente por debajo de los promedios, produciendo un efecto acumulativo que en la agricultura puede reducir la productividad, sin que necesariamente los cultivos colapsen (IDEAM, 2017).

- Sequía hidrológica. Es la consecuencia del déficit de agua durante un tiempo prolongado, que produce una reducción importante de las corrientes de agua, y de los aportes a embalses, lagos y todo tipo de fuentes de agua, lo cual impacta la vida animal y los humedales (IDEAM, 2017).
- Sequía socio-económica. Es aquella que se presenta cuando las condiciones ambientales empiezan a afectar el normal desarrollo de las actividades humanas, generando pérdidas en la producción y las actividades económicas como respuesta a la anormal y prolongada deficiencia de precipitaciones (IDEAM, 2017).

Como se puede observar, el fenómeno de la sequía repercute profundamente en los componentes biofísicos y socio-económicos que configuran los territorios. Para Colombia el IDEAM ha realizado análisis de la variable precipitación, aplicando el SPI; a continuación, se mencionarán las principales características de este índice.

4.5.2. Índice normalizado de precipitación (SPI)

El SPI utiliza registros históricos de la precipitación de un lugar para establecer una probabilidad de precipitación que se puede calcular para las escalas temporales que se deseen, desde un mes hasta 48 meses o más (OMM, 2016).

El SPI tiene una escala de intensidad en la que se calculan valores positivos y negativos, que se correlacionan directamente con episodios de humedad y sequía. En cuanto a la sequía, interesan los episodios de sequía extrema, que son los eventos que se consideran infrecuentes para el clima de una región. Se denotan episodios de sequía cuando los resultados del SPI, independientemente de la escala temporal que se analice, son continuamente negativos y alcanzan el valor de -1. Se considera que el episodio de sequía sigue en curso hasta que el SPI alcanza un valor de 0 (OMM, 2016).

El aspecto negativo de este índice, reside en el empleo de una sola variable: la precipitación, al no incorporar la temperatura, el SPI no considera el balance hídrico general y el uso del agua de una determinada región. Este inconveniente puede dificultar la comparación de episodios con valores del SPI similares paro distintas condiciones térmicas. La posibilidad de calcular el SPI para períodos cortos de registro, o a partir de datos con valores ausentes, también puede dar lugar a un uso indebido del producto, puesto que el programa generará un producto independientemente de los datos de entrada introducidos (OMM, 2016).

EL IDEAM ha realizado evaluaciones de la sequía aplicando el SPI, a continuación se presenta la síntesis metodológica de los análisis a nivel nacional (IDEAM, 2017).

- Selección de la información. Se procede a seleccionar las estaciones meteorológicas que cuenten con instrumentos que midan la precipitación (pluviómetros o pluviógrafos) y además que estén distribuidas adecuadamente en cada una de las regiones consideradas. La selección se hizo a partir de criterios tales como la extensión de la serie histórica, la localización o representatividad y por supuesto, la calidad de los datos. Finalmente, fueron escogidas 500 estaciones distribuidas por todo el territorio nacional con un período de tiempo de 1986 a 2021 (Ver Tabla 3.24).

- Procesamiento de la información: Para implementar el método SPI y calcular los índices de sequía, se utiliza los datos pluviométricos sistematizados de las cinco (5) estaciones seleccionadas, y se procesa la información en EXCEL.

- Identificación y valoración de los eventos: Para efectos de evaluar los eventos de sequía meteorológica, se recurrió a un procedimiento sencillo pero práctico. La sequía es un fenómeno silencioso que, en la mayoría de los casos, no permite detectar con facilidad su inicio ni finalización. Normalmente inicia el déficit de lluvias y progresivamente va alcanzando, al cabo de algunos meses, su punto máximo; el final también se produce en forma paulatina. Por esta razón y para efectos del análisis, para la detección de un determinado evento, se tuvieron en cuenta dos niveles de valor del índice SPI con escala temporal de 6 meses (SPI6): -0,5 y -1,0. El valor de -0,5, indicaría la transición hacia una presunta sequía y superar el valor de -1,0 indicaría el establecimiento del evento. Del valor del índice de -1,0 en adelante, se procede a analizar la intensidad del evento, según los valores que se vayan registrando y de acuerdo con la clasificación del SPI.

- Agrupar las estaciones por zonas homogéneas: en cuanto a la fisiografía y las lluvias. Para el efecto se tuvo en cuenta su localización por cuencas, su régimen pluviométrico y su agrupación dentro de una misma región geográfica.

- Identificación de los períodos en los cuales una situación de sequía predominó en toda la región, es decir en el mayor número de estaciones ubicadas en las zonas diferenciadas, siendo el total de estaciones el 100%.

- Aplicación del criterio de clasificación del SPI para identificar la intensidad de la sequía, que está en función de las desviaciones estándar encontradas.

Tabla 4.16. Categorías y valores del SPI para la microcuenca Quebrada la Yaguilga

Rango	Clasificación	Identificador
Desde -2 y menos	Extremadamente seco	
Desde -1,5 a -1,99	Severamente seco	
Desde -1,0 a -1,49	Moderadamente seco	
Desde -0,99 a 0,99	Normal o aproximadamente normal	
Desde 1,0 a 1,49	Moderadamente húmedo	
Desde 1,5 a 1,99	Muy húmedo	
Desde 2,0 y >	Extremadamente húmedo	

Fuente: OMM, 2012

A manera de ejemplo, se presentan los datos analizados de la estación Antena (1986 – 2021):

Tabla 4.17. Memoria de cálculo SPI para la estación Antena (Huila)

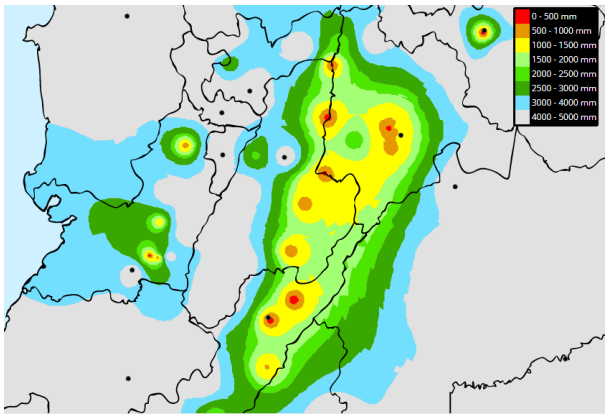
AÑO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1986			-0,57	-0,61	-1,36	-1,61	-1,65	-1,63	0,60	1,36	0,77	-0,60
1987	-1,10	-1,50	-1,27	-0,57	-0,84	-0,63	-0,62	-0,10	-0,35	-0,17	-0,31	-0,55
1988	-1,78	-0,18	-0,06	-0,70	-1,66	-0,29	-0,04	0,06	-0,25	0,09	0,32	-0,16
1989	-0,15	-0,53	0,48	0,30	0,39	-0,43	-0,39	-0,21	-0,83	-0,69	-0,72	-0,04
1990	-0,22	-0,28	-0,35	-0,25	-0,99	-0,65	-0,97	-0,79	-0,94	-0,53	-0,64	-1,05
1991	-1,03	-0,13	-0,27	-0,54	-0,99	-0,47	-0,06	-0,93	-0,57	-1,14	-0,68	-0,85
1992	-0,32	-0,63	-1,23	-1,94	-2,55	-2,49	-2,57	-1,09	-0,57	-1,70	-1,40	-0,33
1993	-0,82	-0,27	-0,66	-0,64	-0,77	-0,20	-0,56	-0,18	-0,77	-0,39	-0,73	-0,47
1994	-0,43	-0,95	-1,00	-1,04	-1,03	-0,21	-0,08	-0,16	-1,07	-0,46	-0,43	-0,88
1995	-1,70	-1,45	-1,40	-0,98	-0,87	-1,07	-0,86	-0,65	-0,68	-0,76	-0,98	-0,13
1996	-1,03	-0,46	-0,05	0,15	-0,26	-0,96	-0,55	-0,92	-0,89	-0,96	-0,54	-0,13
1997	-0,11	-0,11	-0,58	-0,91	-0,82	-0,44	-0,98	-0,72	-1,62	-1,70	-1,57	-1,69
1998	-0,98	-0,49	-0,20	-1,06	-0,32	-1,04	-0,61	-1,15	-1,60	-0,73	-0,93	-0,15
1999	-0,37	0,28	0,34	-0,26	-1,55	-0,46	-0,58	-0,16	1,68	0,85	0,34	-0,39
2000	-0,05	0,92	0,13	0,22	-0,50	-0,63	-0,77	-1,25	-1,02	-1,02	-0,55	-0,62
2001	-0,21	-0,97	-0,14	-0,22	-0,84	-0,50	-0,91	-0,37	-0,26	-0,61	-0,55	-0,53
2002	-0,75	-0,87	-1,22	-0,61	-0,21	-0,83	-0,80	-0,54	-0,79	-0,09	-1,73	-2,13
2003	-2,40	-1,63	-0,96	-1,06	-0,94	-0,58	-0,35	-0,98	-0,47	0,21	-0,45	-0,84
2004	-0,63	-0,52	-0,59	-0,05	-1,00	-0,47	-0,43	-0,21	-0,14	-0,85	-0,72	-0,54
2005	-0,02	-0,41	-0,70	-0,77	-0,31	-0,46	-0,52	-1,27	-0,62	-0,55	-0,57	-0,18
2006	-0,25	-0,15	-0,16	0,08	-0,71	-0,91	-0,11	-0,12	-0,21	-0,38	-0,26	-0,32
2007	-0,44	-0,71	-0,78	-1,13	-0,42	-1,04	-0,31	-0,67	-0,03	0,33	0,26	0,56
2008	-0,40	-0,68	-0,27	-0,66	-0,36	-0,45	-0,22	-1,27	-0,99	-0,34	-0,71	-0,02
2009	-0,06	-0,52	-0,97	-0,80	-0,68	-0,26	-0,97	-1,63	-1,66	-1,29	-1,29	-1,47
2010	-1,46	-1,88	-2,37	-1,27	0,94	1,58	1,98	1,40	1,04	-0,56	0,32	0,11
2011	-0,30	-0,84	-1,06	-0,39	0,05	1,36	0,97	0,75	-0,64	-0,36	-0,36	0,12
2012	0,65	0,35	-0,04	-0,96	-0,59	-0,71	-1,06	-0,43	-0,89	-0,72	-1,28	-0,52
2013	-0,58	-1,06	-0,40	-0,97	-0,28	-0,02	0,15	0,36	0,15	-0,61	-0,07	-0,82
2014	-0,46	-0,08	0,46	0,66	0,16	-0,18	-0,98	-0,27	-0,59	-0,56	-0,80	-0,20
2015	-0,19	-0,45	-0,28	-0,50	-0,67	-1,60	-0,76	-0,86	-0,15	-1,53	-1,66	-2,90
2016	-1,80	-2,82	-2,09	-2,31	-1,28	-0,36	-0,41	-0,40	-0,28	-1,04	-1,04	-0,24
2017	-0,29	-0,31	-0,23	-0,26	0,09	-0,49	-0,40	-0,37	-0,47	-0,94	0,20	0,33
2018	0,28	-0,47	-0,34	-0,13	-0,79	-0,95	-0,42	-0,62	-0,85	0,24	0,65	0,02
2019	-0,17	-0,02	0,22	0,58	0,90	0,33	-0,30	-0,95	-0,48	-0,91	-0,79	-1,03
2020	-0,72	-0,26	-0,75	-0,14	-0,17	-0,92	-0,95	-0,72	-0,25	-0,56	-0,74	-0,67
2021	-0,44	-0,73	-0,42	-0,13	-0,82	-0,03	-0,97	0,04	-0,67	-1,02	-0,34	-0,41
	-1,54	-1,72	-1,46	-1,40	-1,49	-1,47	-1,76	-1,32	-1,39	-1,30	-1,43	-1,71

Fuente: Consorcio PMAM, Yaguilga

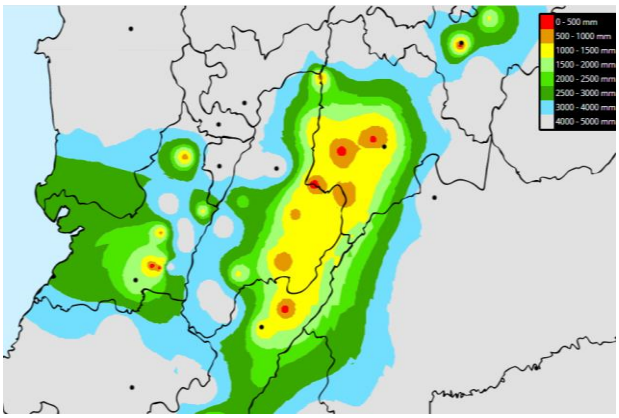
4.5.3. Resultados

La información publicada por el IDEAM en el Atlas Climatológico (http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html), permite inferir condiciones normales de sequía meteorológica para la microcuenca Quebrada La Yaguilga en los periodos analizados (Junio 1972-Octubre 1973, Abril 1976 – Julio 1977, Julio 1982 –Diciembre 1983, Noviembre 1991 – Enero 1993, Julio 2002 – Abril 2003 y mayo 2009-marzo 2010), en el cual se evidencian excesos de precipitación. No se evidencia sequía meteorológica para ninguno de los dos semestres con rangos inferiores a 1000 mm

Figura 4.41. Comparativo de periodos de sequía meteorológica en el Departamento del Huila



Sequía primer semestre



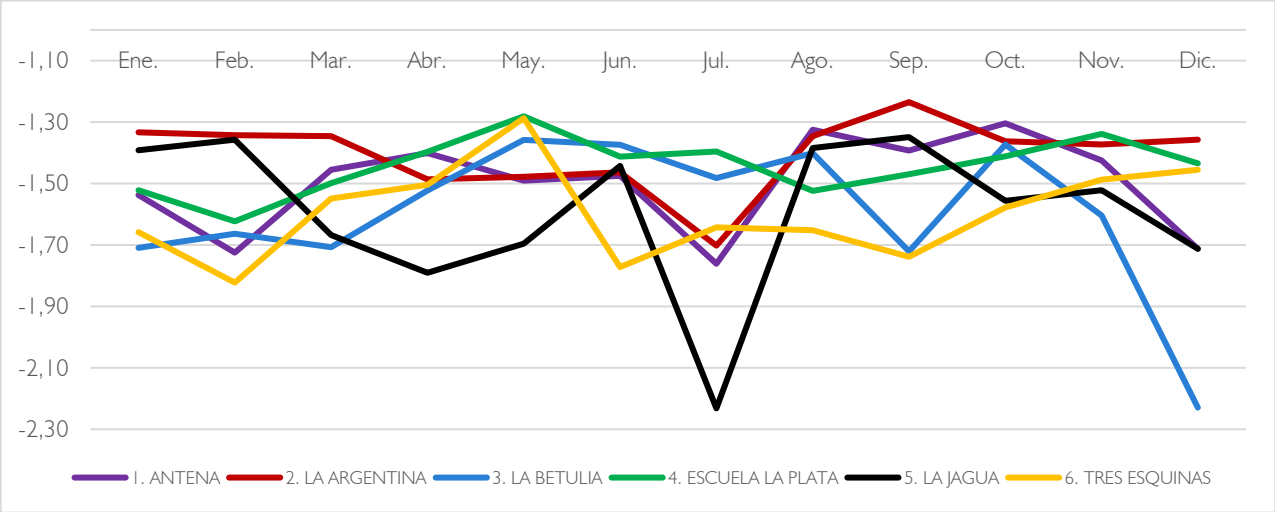
Sequía segundo semestre

Fuente: IDEAM, Disponible en el GeoVisor: http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html

Los datos obtenidos aplicando la metodología planteada por la OMM (2012), permitió identificar que los periodos más significativos de sequía extrema, se presentaron en los meses de mayo de 1989, Julio de 1992 y 2009, diciembre de 2015 y enero de 2016, exhibiendo valores entre -2.35 y-3.32.

De acuerdo a la Figura 4.42, se manifiesta mayor recurrencia de eventos de sequía moderada a extrema (SPI entre -1 y <-3) en el segundo semestre del año, en los meses de julio y diciembre. En contraste, el mes con mayor tolerancia a la sequía fue mayo.

Figura 4.42. V alores mensuales promedios de SPI Microcuenca Quebrada la Yaguilga



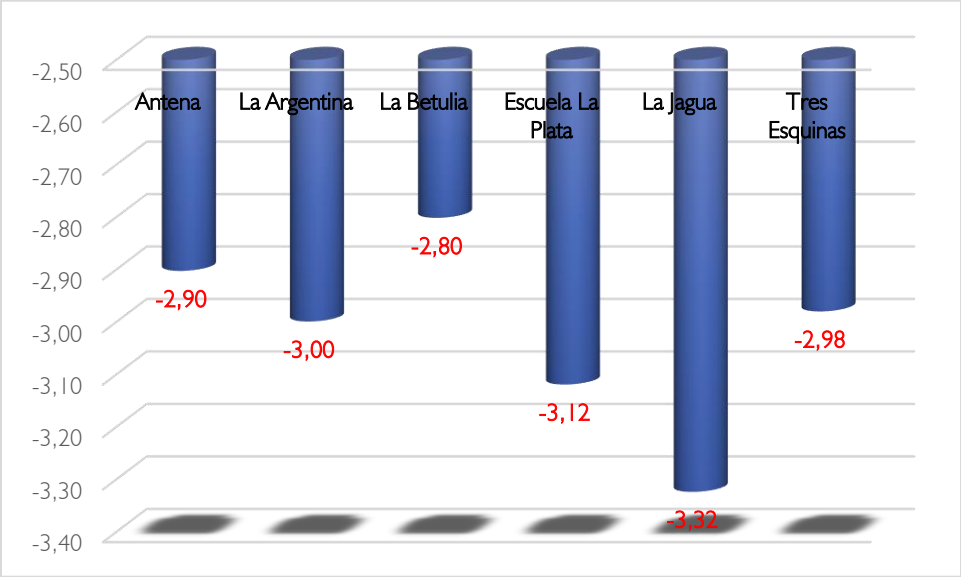
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

4.5.3.1. *Análisis de intensidad de los eventos de sequia*

El valor del SPI representa la Intensidad de la sequía, es decir, que tan grande es el déficit de precipitación, según la escala establecida por la OMM. Se calcula sistemáticamente, para cada agrupación temporal y no representa la gravedad de la totalidad del evento seco; esto último lo cuantifica la Magnitud, que es la suma de los SPI de todas las agrupaciones temporales consecutivas con SPI ≤ -1.

En todas las series de precipitación empleadas para el análisis del SPI en la microcuenca Quebrada la Yaguilga, se identificó al menos un evento de sequía, con intensidades máximas que oscilan entre -3.32 y -2.80; siendo la estación La Jagua, la que presenta el nivel de sequía más crítico en todo el territorio.

Figura 4.43. Intensidad máxima de los eventos de sequía

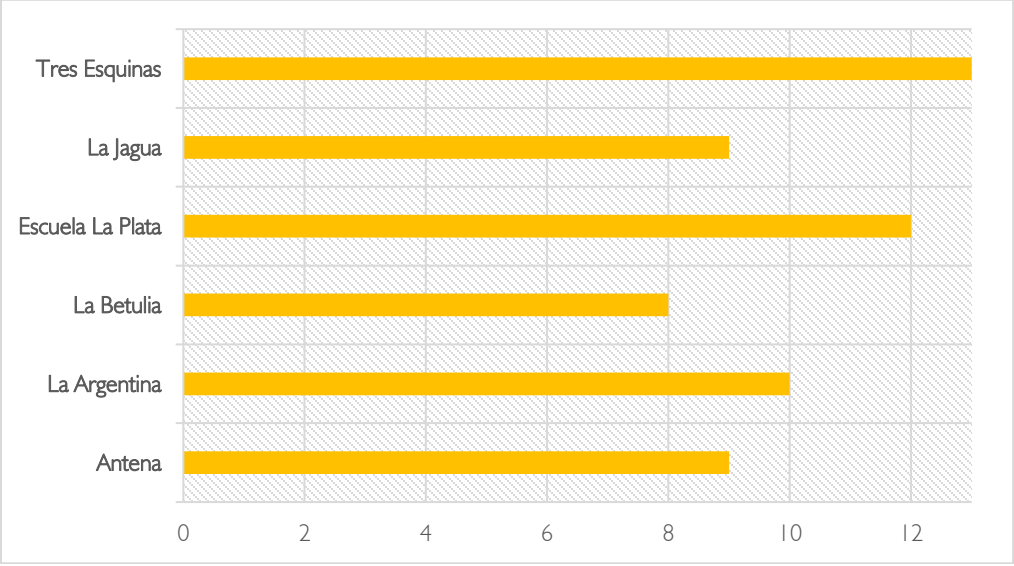


Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

4.5.3.2. *Análisis de la magnitud de los eventos de sequia*

En la microcuenca Quebrada La Yaguilga, se han presentado periodos de sequía con duraciones que oscilan entre 8 y 13 meses; alcanzando magnitudes de hasta -28,37; siendo la estación de Tres Esquinas, la que registró el periodo más largo de sequía (ver Figura 4.44).

Figura 4.44. Duración de los eventos de sequía



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

El comportamiento de la estación de Tres esquinas, por ejemplo, revela la ocurrencia de 64 eventos de sequía en el periodo comprendido entre 1986 y 2021, presentando la mayor magnitud de –28,37 desde mes de junio de 2009 hasta mes de marzo de 2010, con un pico de intensidad de -2,97.Por otro lado, la estación La Jagua, registra la presencia de 70 eventos de sequía en el periodo analizado, alcanzando una magnitud de -18.71 durante los meses de marzo a octubre de 1992.

Se puede evidenciar que varios periodos en los cuales se han presentado eventos de sequía muy prolongados son coincidentes con los procesos de variabilidad climática (Ver Tabla 4.18); periodos en los que existe una clara tendencia hacia la disminución generalizada de los volúmenes de precipitación.

Tabla 4.18. Relación intensidad y magnitud de los eventos de sequía por estación

Estación	Intensidad Promedio	Intensidad Máxima	Año Intensidad Máxima	Magnitud Máxima	Año Magnitud Máxima
Antena	-1,48	-2,90	2015	-16,39	2016
La Argentina	-1,39	-3,00	1989	-22,42	1989
La Betulia	-1,56	-2,80	2015	-18,60	2016
Escuela La Plata	-1,43	-3,12	2016	-17,86	1998
La Jagua	-1,53	-3,32	1992	-18,71	1992
Tres Esquinas	-1,57	-2,98	2009	-28,37	2010

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

5. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad es definida como la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Ley 1523 de 2012).

El concepto de vulnerabilidad en el contexto de la gestión del riesgo de desastres, es usado para determinar "los diferentes niveles de preparación, resiliencia y capacidades con las que cuenta un individuo ante la ocurrencia de un desastre" (Cannon et al, 2003). Una persona puede ser más o menos vulnerable ante la ocurrencia de eventos críticos externos dependiendo en como el individuo administre sus activos tangibles e intangibles, y cómo estos pueden verse afectados ante la ocurrencia de un desastre. La vulnerabilidad social entonces, va más allá de la afectación de estructuras físicas e incluye las diferentes características y capacidades de los individuos (UNGRD & IEMP, 2016).

La Guía para la Formulación de POMCAS precisa que para los análisis de vulnerabilidad y riesgo se efectuarán solo para las áreas que tienen evaluación de amenaza, es decir para las áreas definidas como críticas en la evaluación de susceptibilidad: áreas de susceptibilidad media y alta. Igualmente y de acuerdo a la metodología planteada para la escala de análisis, se define un solo método de análisis para la exposición y la vulnerabilidad para las amenazas en evaluación para POMCAS: movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales; ya que este tipo de amenazas presentan una energía muy alta y por consiguiente su intensidad es lo suficientemente severa que cualquier elemento expuesto en términos prácticos estará sujeto a un daño total o casi total en caso de presentarse o desencadenarse (MADS, 2014).

La vulnerabilidad puede tener varias dimensiones dependiendo de los diferentes aspectos que la caracterizan, vistos desde diferentes perspectivas estas dimensiones la describen diferentes autores (Wilches-Chaux, 1989; Cardona, 2007; EIRD, 2004). Para el análisis de riesgos es necesario el conocimiento de la vulnerabilidad global (Wilches – Chaux, 1993) que es la vulnerabilidad objeto de análisis dentro de los POMCAS, y ésta se puede dividir en varias "vulnerabilidades" las cuales están interconectadas entre sí. Igualmente es importante anotar que existe una relación de doble vía entre el riesgo y la vulnerabilidad, entendiendo que cualquier evento amenazante solo adquiere la condición de riesgo cuando su ocurrencia afecta a una comunidad ya sea de forma directa o indirecta (pérdidas y daños físicos, económicos, sociales, culturales, etc.).

Brevemente se describen los diferentes tipos de vulnerabilidades que se evaluarán para los POMCAS en el componente de gestión de riesgos, haciendo especial énfasis en el hecho de que los análisis de riesgos se enfocan directamente en los efectos en las comunidades rurales e indirectamente en las urbanas, dada

la escala de trabajo. De acuerdo a los elementos expuestos al evento, hay varias clases de vulnerabilidad: física, social, económica, ambiental, etc. (Ocola, 2013).

- Vulnerabilidad física se refiere a la susceptibilidad de la población y ambiente constructivo o tecnológico a la exposición ante los peligros.
- Vulnerabilidad social incluye los factores de educación, infraestructura de salud, seguridad, acceso a los derechos humanos básicos, sistemas de buen gobierno, equidad social, valores tradicionales, costumbres y creencia ideológica, entre otros.
- Vulnerabilidad económica caracteriza a la población de acuerdo a los ingresos económicos, edad, género, entre otros.
- Vulnerabilidad ambiental y/o ecosistémica se refiere a la extensión de la degradación de la naturaleza y sus recursos

Para efectos de la gestión del riesgo en Planes de Manejo Ambiental las diferentes metodologías analizadas buscan trabajar tres dimensiones: económica, social y ambiental. Por lo tanto el análisis del riesgo se efectuará desde un punto de vista interdisciplinar que abarque estas tres dimensiones y no solamente contemple aquellos aspectos relacionados con el daño físico, la pérdida de vidas o económicas, etc.

5.1. Metodología

Para la evaluación de la vulnerabilidad bajo el enfoque de la exposición se ha seleccionado el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad (O. D. Cardona et al., 2003; Omar Darío Cardona, 2001), con el fin de no dejar excluidos las dimensiones social, económica y ambiental (Unal, 2013). La vulnerabilidad se relaciona con la exposición, la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un evento y con la fragilidad social y la falta de resiliencia de las comunidades para responder ante un desastre o absorber su impacto.

La vulnerabilidad es definida por la siguiente expresión:

$$Vulnerabilidad = Exposición * Fragilidad * Falta\ de\ resiliencia$$

La exposición corresponde al inventario de bienes naturales o no (elementos expuestos), que pueden ser afectados por los diferentes eventos amenazantes y se expresa en términos de activos y de población; la exposición se mide de acuerdo al porcentaje de daño y se calcula mediante el índice de pérdidas (IP), el cual está afectado por los niveles de confianza de la valoración y varía entre 0 y 1. Es un componente fundamental en el análisis o evaluación de riesgo y de su resolución y detalle depende el grado de precisión de los resultados. El modelo puede evaluarse con diferentes niveles de resolución y cuando no se cuenta con información al detalle es necesario realizar estimaciones aproximadas que representen o den cuenta de dicho inventario de activos expuestos en forma aproximada. Los elementos expuestos se deben definir a partir de por lo menos los siguientes parámetros, que califican el elemento:

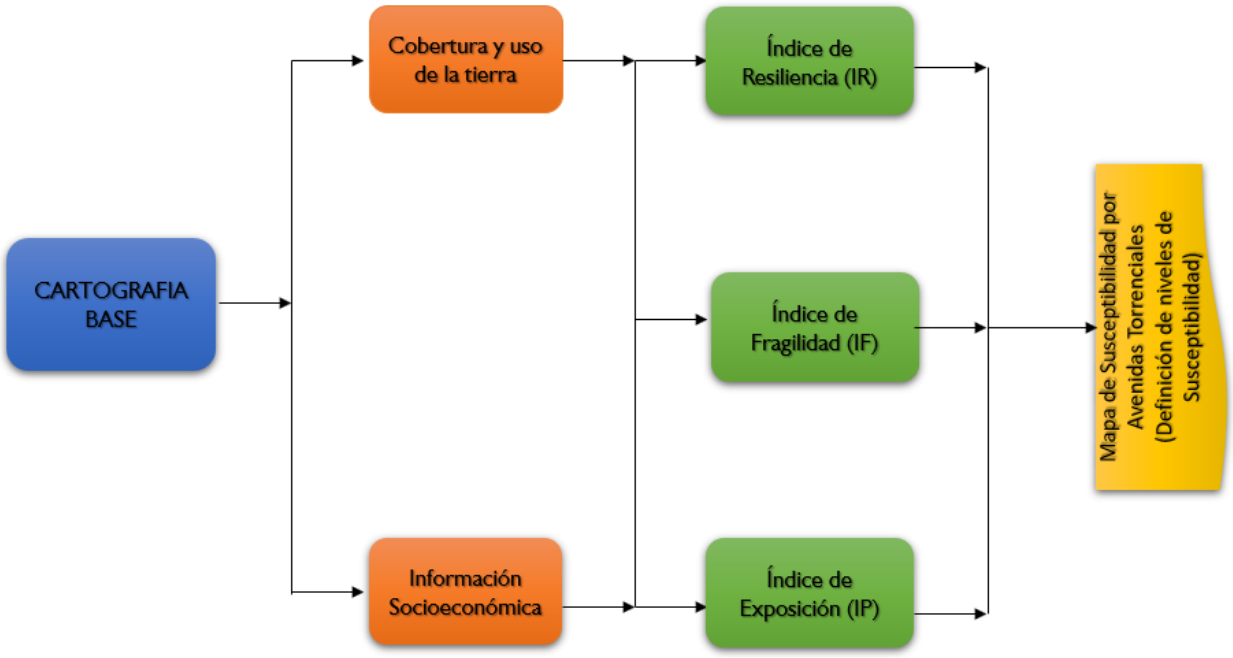
- Valor físico o costo de reposición del bien
- Valor humano o número de ocupantes estimado en el área de análisis
- Clasificación del bien

Para analizar la exposición o susceptibilidad física, los indicadores más adecuados son los que reflejan población, activos medios de sustento, inversiones, producción, patrimonio y actividades humanas.

La susceptibilidad (fragilidad) se define para los POMCAS como el grado de fragilidad de los diferentes elementos y sectores (económico, social y ambiental) para soportar el embate de los eventos amenazantes involucrados dentro del estudio de cuencas hidrográficas, establecido a través del análisis de índices e indicadores particulares que los caracteriza; se mide como un índice de fragilidad y varía entre cero y tres. La fragilidad socio económica puede representarse mediante indicadores de pobreza, analfabetismo, desempleo, inflación, inseguridad, degradación ambiental, etc.

Como factor de vulnerabilidad la falta de resiliencia se refiere a la falta de capacidad para enfrentar el impacto de los fenómenos amenazantes y se relaciona con el nivel de desarrollo y la existencia explícita de una gestión del riesgo, esta se puede representar mediante indicadores de gobernabilidad, protección financiera, capital humano, desarrollo tecnológico, etc. La fortaleza de este tipo de indicadores radica en la posibilidad de desagregar los diferentes resultados aportados por la medición de los indicadores, llenar vacíos de información y aportar a la toma de decisiones. Además se convierten en una poderosa herramienta de monitoreo y seguimiento a la gestión del riesgo. Se mide como el índice de falta de resiliencia y varía entre 0 y 1. En la Figura 5.1 se presenta el modelo conceptual para el análisis de la vulnerabilidad.

Figura 5.1. Modelo de análisis conceptual de la vulnerabilidad aplicado a PMAM.



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

5.1.1. Análisis de la exposición

Para analizar la exposición se contemplarán como elementos expuestos aquellos que se encuentren dentro de la descripción de las coberturas adaptadas para Colombia en la Metodología de Corine Land Cover. Con base en lo propuesto por Cardona (2003) y adaptado para POMCAS, con base en el mapa de coberturas los pasos a seguir para obtener la exposición son los siguientes:

Efectuar una zonificación para obtener zonas homogéneas para centros poblados (ZHCP) y zonas homogéneas rurales (ZHR).

Asignar a las zonas homogéneas obtenidas previamente una serie de índices e indicadores que permitan establecer el modelo de exposición de la zona en estudio.

Zona homogéneas centros poblados (ZHCP): Del mapa de cobertura y uso se extraerán los polígonos que definan centros poblados ya sean en la zona urbana o rural de la cuenca, a los cuales se les asignará como mínimo los siguientes atributos:

- Área de la zona (km2)
- Uso de la zona: se refiere a uso del tipo residencial, comercial, educación, salud, etc., obtenido del mapa de cobertura y uso de Corine Land Cover.
- Densidad de población de cada una de las zonas en:

DP = número de habitantes / km^2 de construcción para el período del día en el cual se prevé la mayor ocupación, ya sea el día o la noche.

- Densidad promedio de construcciones que se obtiene a partir del SIG en: DC= número de construcciones /Km^2 de terreno

Zonas rurales homogéneas (ZHR): La zonificación rural se debe realizar con base en tipos de cultivos, bosques, densidad de vegetación mediante una reclasificación del mapa de cobertura y uso.

La zona homogénea quedará conformada con la siguiente información y tendrá los atributos:

- Área de la zona (Has)
- Cobertura y Uso principal: tipo de cultivos (ej: maíz, café, etc.), bosques, desiertos, pastos, latifundios, minifundios, etc. Teniendo en cuenta que se usará como mínimo la clasificación de cobertura y uso nivel 4.
- Relieve: plana, ondulada, montañosa
- Categoría socio-económica: alta, media, baja

5.1.2. Índice de Pérdida o daño (IP)

Para el cálculo del índice de pérdida o daño (IP) se requiere el cálculo de indicadores económicos y de desarrollo que se describen enseguida.

5.1.2.1. *Indicadores económicos y de desarrollo*

Estos indicadores se obtendrán para la fecha estimada o escenario de amenaza definido previamente. Este indicador se puede obtener a partir del precio por metro cuadrado de construcción en cada zona.

Para la Infraestructura a nivel de cuenca, se requiere indicar el tipo de infraestructura y el valor total de reposición como mínimo. La infraestructura considerada y los indicadores que pueden usarse para estimar los valores de reposición, si no se tienen valores o indicadores más específicos, se tomara información de la red vial primaria y secundaria, puentes en la red vial primaria y secundaria e infraestructura de servicios.

Como indicadores de exposición para centros poblados se requiere el área total construida en la zona y cantidad de personas ocupando un uso (ocupación).

$$\text{Área total construida en la zona} = (\text{área ocupada promedio por km2}) * \text{área del polígono}$$

Valor total de reposición = área total construida de la zona * índice de precios unitarios por m^2 promedio de la zona; este valor se deberá convertir a precio por Km^2. Se aplicará la siguiente expresión:

$$Vuso(US\$) = CM\ (km2) * IVE(US\$/km2)$$

Dónde,

Vuso = valor expuesto de cada uso o valor total de reposición
CM = cantidad de área construida para cada uso
IVE = índice de precios unitarios por Km^2 promedio de la zona

$$Ocupación = (índice\ promedio\ de\ ocupación) * área\ total\ construida\ en\ la\ zona;\ se\ define\ en\ la\ siguiente\ forma: Ouso(Hab) = CM\ [km2] * IH(Hab/km2) * PO\ [\%]$$

Dónde,
Ouso = cantidad de personas ocupando un uso, Ocupación
CM = cantidad de área construida para cada uso
IH = índice de ocupación para cada uso
PO = porcentaje de ocupación de cada uso y para cada escenario (día o noche). Si no se tiene este dato se puede definir este valor como uno (1) pensando en una ocupación total ya sea en el día o en la noche.

5.1.2.2. *Índice de pérdidas o daño en zonas rurales*

Este índice se obtiene a partir del precio estimado por Ha en cada zona. Las áreas en las cuales se presentan ecosistemas estratégicos, zonas de reserva o áreas protegidas se excluyen de este análisis ya que su estudio en este ámbito esta por fuera del alcance del POMCA, sin embargo, si se tendrán en cuenta para el análisis de fragilidad.

Como indicador de la exposición en zonas rurales se requiere determinar el Valor de reposición para las zonas productivas o áreas estratégicas generadoras de servicios ambientales, este se calcula con base en los precios estimados por Ha para Colombia, multiplicados por el área del polígono. Su valoración no corresponde al valor del terreno, si no a un valor estimado de reposición en caso de pérdida del mismo.

$$Valor\ de\ reposición\ para\ las\ zonas\ productivas\ o\ áreas\ estratégicas\ generadoras\ de\ servicios\ ambientales = \left(área\ ocupada\ promedio\ por\ tipo\ de\ \frac{uso}{Ha}\right) * (área\ del\ polígono)$$

$$Valor\ total\ de\ reposición = (área\ total\ de\ las\ zonas\ productivas\ o\ áreas\ estratégicas\ generadoras\ de\ servicios\ ambientales) * (precio\ unitario\ promedio\ por\ Ha\ de\ la\ zona)$$

$$Vuso: (US\$) = (CM\ Ha)\ x\ (IVE\ (US\$/Ha)$$

Dónde:
Vuso = valor expuesto de cada uso o valor total de reposición
CM = cantidad de área dedicada a cada uso (Ha)
IVE = Índice de precios unitarios por Ha promedio de la zona

Con el análisis de la exposición, es posible estimar los valores expuestos totales para lograr una cuantificación global en cifras; también es posible obtener indicadores a nivel general de cuenca que permiten realizar comparaciones con otras cuencas e identificar problemas comunes entre ellas.

Como se mencionó antes, el Índice de pérdidas o Índice de daño (IP), corresponde al valor de pérdida o al porcentaje de daño en cada una de las zonas homogéneas analizadas. Aplica tanto para el análisis de pérdidas materiales como de pérdidas humanas; está definido por el valor inicial del bien antes del evento, y su valor después del evento, esta relación se expresa en la siguiente formula:

$$IP = (Vi - Vf) / Vi$$

Dónde =
Vi: Valor inicial del bien (antes del evento)
Vf = Valor final del bien o valor de reposición del bien (después del evento Vuso)

5.1.3. Análisis de fragilidad

En el marco del Modelo de Indicadores de vulnerabilidad, la fragilidad un factor interno del riesgo, que se relaciona con la exposición, la susceptibilidad física o fragilidad física de los elementos, la fragilidad sociocultural y la fragilidad eco-sistémica. Este índice denominada Índice de Fragilidad (IF) varía entre 0 y 1. Por consiguiente, en el análisis de vulnerabilidad, se identifican tres tipos de fragilidad: física, socio-cultural y eco-sistémica.

5.1.3.1. *Fragilidad física (FI)*

Es la condición de susceptibilidad de los asentamientos humanos de ser afectados por ubicarse en área de influencia de los fenómenos amenazantes y por su falta de resistencia física ante los mismos. La FI depende del tipo de evento amenazante, ya que no todos los fenómenos tienen una alta incidencia en la posibilidad de que ciertas áreas deban ser ocupadas o que se puedan realizar actividades que signifiquen la exposición permanente de activos, bienes o servicios y personas, por lo tanto, se evaluará en la misma forma para los eventos amenazantes en evaluación: movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales y se califica 1, 0,5 y 0, dependiendo de si el elemento expuesto está ubicado en la zona de amenaza alta, media o baja, respectivamente.

5.1.3.2. *Fragilidad socio-cultural (Fsc)*

Corresponde a la predisposición que surge como resultado de nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socio-económicos y culturales. En la evaluación de la fragilidad sociocultural se debe tener en cuenta el índice de Calidad de Vida (ICV) y el índice de fragilidad cultural.

Rangos de Índice de Calidad de vida (ICV)	Valor	Categoría
>80	0,1	Baja

>67, <80	0,25	Media
<67	0,5	Alta

Áreas de Dimensión Cultural	Valor	Categoría
Área A	0,0	Baja
Área B	0,25	Media
Área C	0,5	Alta

Finalmente, la fragilidad socio cultural se define como:

$$Fragilidad\ socio-cultural\ =\ condiciones\ de\ vida\ (ICV)\ +\ Dimensión\ cultural\ (Fc)$$

5.1.3.3. *Fragilidad ecosistémica (Fe)*

El análisis se hará sobre todos los elementos que están en amenaza alta y media y deben ser evaluados porque constituyen áreas protegidas o prestan servicios ambientales; igualmente ellos permiten la satisfacción de necesidades básicas como el acceso al agua, a la energía o al aire y garantizan el equilibrio natural a través de su conservación o protección; y son soporte de la productividad de alimentos (Unal, 2013; citado por MADS, 2014).

El índice propuesto varía entre 0 y 1. En caso de que la cobertura esté localizada en un área protegida, el valor de la fragilidad siempre será de 1, por lo que la categoría será alta. En la Tabla 5.1, se presentan las categorías de fragilidad para cada área y ecosistema estratégico.

Tabla 5.1. Categorías para áreas de ecosistemas estratégicos

Áreas de Ecosistemas Estratégicos	Valor	Categoría
Satisfacción de necesidades básicas y equilibrio natural	1,00	Alta
Productividad y equilibrio natural	0,75	Media
Productividad	0,30	Baja
No constituye ecosistema estratégico entro de la cuenca	0,00	Nula

Tal como se indicó previamente el índice varía entre 0 y 1. Si el valor final es menor a 0,5 la fragilidad es baja. Si el valor final está entre 0,5 y 0,75 la fragilidad es media, y si el valor está entre 0,75 y 1 la fragilidad es alta.

5.1.4. Resiliencia

Este indicador aborda la afectación de las actividades productivas y de la infraestructura estratégica de transporte, servicios públicos, etc., mide la incapacidad de absorber los impactos y recuperarse a ellos y, evalúa la recuperación en el corto, mediano y largo plazo. La evaluación se realiza con base a la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Categorías de resiliencia económica

Falta de Resiliencia Económica	Recuperación	Valor	Categoría
Se localizan las más importantes actividades productivas para el desarrollo económico de la región y/o hay presencia de infraestructura estratégica o vital. Hay destrucción total del medio ambiente físico.	Largo Plazo	1,00	Muy Alta
Se desarrollan algunas actividades económicas y se localiza infraestructura estratégica. Daños ambientales muy grandes y difíciles de reparar.	Mediano Plazo	0,75	Alta
Pocas actividades productivas o de servicios. Perdidas ambientales serias pero reparables.	Corto Plazo	0,50	Media
Pocas actividades productivas o de servicios locales. Pérdidas ambientales locales	Corto Plazo	0,25	Baja
No se desarrollan actividades productivas y no hay infraestructura. Elementos ambientales intactos.		0.00	Nula

5.1.5. Análisis de la vulnerabilidad

Evaluados cada uno de los elementos que hace parte del modelo de vulnerabilidad, se establece el índice de vulnerabilidad aplicando la expresión:

$$\text{Índice de Vulnerabilidad (IV)} = \frac{\text{Índice de Pérdida} * \text{Índice de fragilidad} * \text{Índice de falta de resiliencia}}{\text{Índice de pérdida máximo}}$$

Una vez estimado el IV, se reclasifica en tres categorías de vulnerabilidad (IV): alta, media y baja, de acuerdo a la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Índices de vulnerabilidad.

Valor	Categoría Índice de Vulnerabilidad (IV)
0.75 - 1	Alta
0.30-0.75	Media
0 - 0.30	Baja

5.2. Resultados

5.2.1. Análisis de la exposición

5.2.1.1. *Zonas homogéneas*

5.2.1.1.1. *Zonas homogéneas de centros poblados*

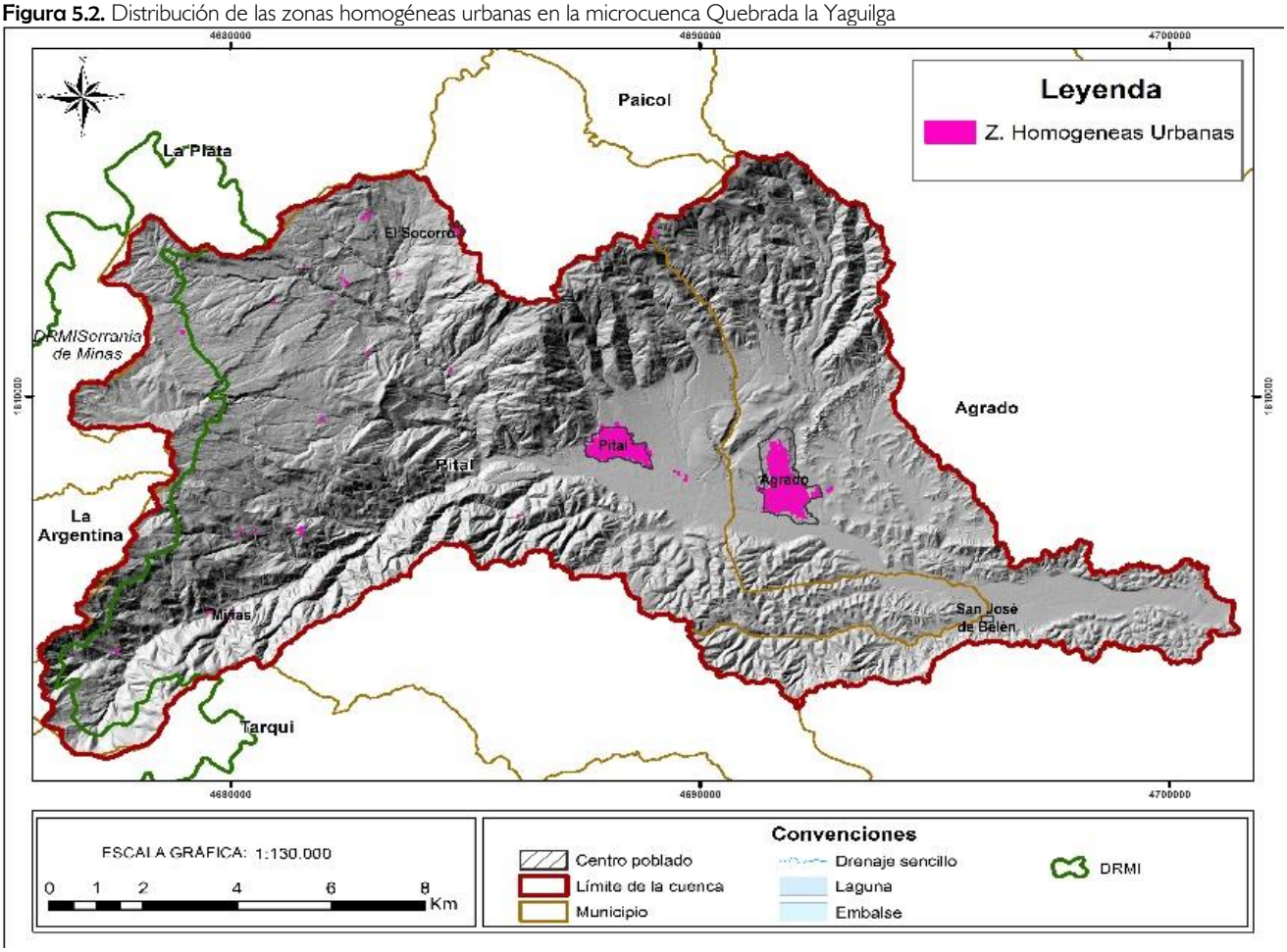
Para la microcuenca Quebrada la Yaguilga se tienen áreas en tejido urbano continuo y discontinuo como se presenta en las categorías de la Tabla 5.4 y Figura 5.2.

Tabla 5.4. Zonas homogéneas urbanas microcuenca Quebrada La Yaguilga

Zona Homogénea	Tipo de Cobertura	Área (ha)	Vuso
ZHU1	Tejido urbano continuo	187,461687	267802,4098
ZHU2	Tejido urbano discontinuo	15,327955	6131,181432
Total general		202,789642	63371,76264

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 5.2. Distribución de las zonas homogéneas urbanas en la microcuenca Quebrada la Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

5.2.1.2. *Zonas homogéneas rurales*

Para su definición se reclasificó el mapa de cobertura y uso de la tierra, se cruzó con la información de pendiente y se incluyó la categoría socioeconómica, como resultado de ellos se identificaron cinco zonas homogéneas rurales: ZHA, ZHH, ZHP1, ZHP2, ZHO1, ZHO2, ZHM1, ZHM2. En la Tabla 5.5 y en la Figura 5.3 se presenta la síntesis de las zonas homogéneas para el área rural.

Tabla 5.5. Zonas homogéneas rurales microcuenca Quebrada La Yaguilga

Zona Homogénea	Tipo de Cobertura	Pendiente	Categoría Socioeconómica	Área (ha)	Vuso
ZHA	Agroindustrial	N/A	6	4,69	8383229098,45
	Áreas culturales			0,19	3530959440,29
	Condominios			1,71	31867486034,93
	Obras hidráulicas			0,98	2208280573,41

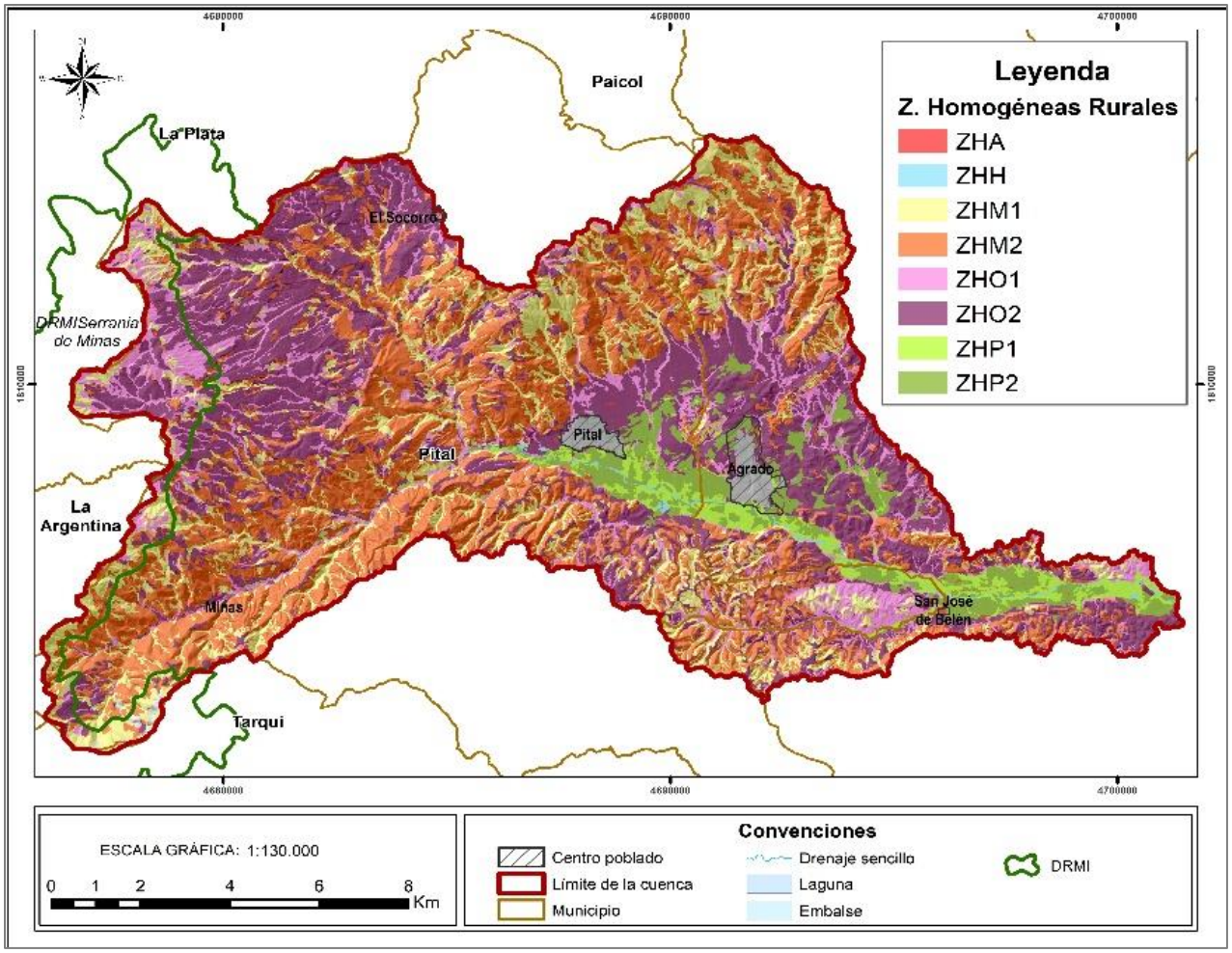
Zona Homogénea	Tipo de Cobertura	Pendiente	Categoría Socioeconómica	Área (ha)	Vuso
	Red vial			156,12	708549487,50
	Zonas de extracción minera			0,14	483332,31
	Zonas industriales o comerciales			1,84	7418215692,19
ZHH	Embalses	N/A	6	0,94	0,00
	Estanques para acuicultura continental			10,85	0,00
	Ríos			55,57	0,00
ZHP1	Bosque de galería de guadua	Plano	6	5,84	7932801,93
	Bosque de galería mixto			125,94	17850289,79
	Bosque fragmentado alto con vegetación secundaria			171,41	23559453,22
	Bosque fragmentado bajo con vegetación secundaria			18,72	12561571,06
	Herbazal denso de tierra firme no arbolado			4,53	2303088,92
	Playas			0,40	1411740,59
	Vegetación secundaria alta			40,68	25000335,77
	Vegetación secundaria baja			110,34	15555791,88
ZHP2	Arroz	Plano	6	5,45	22086637,18
	Cacao			2,79	28696279,17
	Café a plena exposición			65,98	35311807,02
	Café con semisombra			3,07	49262224,73
	Caña panelera			9,28	37220292,78
	Cítricos			3,46	53039551,38
	Cultivos permanentes arbustivos			1,88	6958152,17
	Mosaico de cultivos			28,62	47172770,08
	Mosaico de cultivos y espacios naturales arbóreos			10,06	34611327,51
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos			1,34	10764058,45
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos			7,78	14363528,97
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos			16,67	19349699,16
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos			65,45	11988574,98
	Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos			15,82	8306614,05
	Mosaico de pastos y cultivos			8,99	13602405,37
	Otros cultivos permanentes arbóreos			1,16	6062054,38
	Otros cultivos transitorios			36,14	11783193,37
	Papaya			10,33	54656715,33
	Pastos arbolados			25,64	10327276,65
	Pastos enmalezados			30,50	9956589,77
	Pastos limpios			543,74	16105034,63
	Plátano			1,35	4976592,48
ZHO1	Arbustal abierto mesófilo	Ondulado	6	36,67	2373174,92
	Bosque de galería con herbazal y arbustal			26,12	4156689,48
	Bosque de galería con latifoliadas arbolado			1,76	1910745,21
	Bosque de galería de guadua			1,74	7826595,17
	Bosque de galería mixto			835,63	9277868,11
	Bosque denso alto de tierra firme			195,15	4413121,13

Zona Homogénea	Tipo de Cobertura	Pendiente	Categoría Socioeconómica	Área (ha)	Vuso
	Bosque denso bajo de tierra firme			4,53	0,00
	Bosque fragmentado alto con pastos y cultivos			1,64	10116978,43
	Bosque fragmentado alto con vegetación secundaria			188,01	10270837,97
	Bosque fragmentado bajo con pastos y cultivos			5,34	3428771,82
	Bosque fragmentado bajo con vegetación secundaria			37,94	3306250,39
	Herbazal denso de tierra firme con arbustos			12,47	2283504,97
	Herbazal denso de tierra firme no arbolado			142,32	12250754,00
	Pino			6,47	2667972,77
	Tierras desnudas y degradadas			2,82	1793395,31
	Vegetación secundaria alta			71,98	6237609,37
	Vegetación secundaria baja			328,31	4565852,35
	Zonas quemadas			2,51	8941677,33
ZHO2	Cacao	Ondulado	6	0,58	9266836,56
	Café a plena exposición			1223,54	15577532,26
	Café con semisombra			74,15	8529086,80
	Café con sombrío			15,52	8985779,80
	Caña panelera			3,26	7555364,91
	Cítricos			12,71	13603147,69
	Cultivos permanentes arbóreos			25,27	7324644,95
	Cultivos permanentes arbustivos			10,06	11038509,62
	Fríjol			39,91	10348274,01
	Lulo			0,90	1595446,13
	Maíz blanco			0,48	3056168,49
	Mosaico de cultivos			46,59	9667631,82
	Mosaico de cultivos y espacios naturales arbóreos			7,46	6087644,22
	Mosaico de cultivos y espacios naturales arbustivos			4,43	3718156,47
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos			7,49	8188802,77
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos			30,48	8569766,15
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos			3,55	6343093,12
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos			9,99	5020481,78
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos			285,03	4464401,66
	Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos			68,75	3199936,38
	Mosaico de pastos con otros espacios naturales			3,18	5652495,81
	Mosaico de pastos y cultivos			36,50	4351321,65
	Otros cultivos transitorios			72,49	6839277,73
	Pastos arbolados			51,52	3878071,07
	Pastos enmalezados			253,72	3738202,46
	Pastos limpios			3164,87	10646161,28
	Plátano			17,23	6183066,96
	Yuca			4,37	5697059,03
ZHM1	Arbustal abierto mesófilo	Montañoso	6	30,50	2029981,02
	Arbustal denso			0,90	745554,45

Zona Homogénea	Tipo de Cobertura	Pendiente	Categoría Socioeconómica	Área (ha)	Vuso
	Bosque de galería con herbazal y arbustal			29,65	2513805,53
	Bosque de galería con latifoliadas arbolado			0,81	5703954,59
	Bosque de galería mixto			1210,88	4836640,96
	Bosque denso alto de tierra firme			425,07	9049968,62
	Bosque denso bajo de tierra firme			8,19	671512,02
	Bosque fragmentado alto con pastos y cultivos			5,46	3232933,97
	Bosque fragmentado alto con vegetación secundaria			204,10	6717270,21
	Bosque fragmentado bajo con pastos y cultivos			13,75	4869641,05
	Bosque fragmentado bajo con vegetación secundaria			79,84	2860596,51
	Herbazal denso de tierra firme con arbustos			2,74	2736475,52
	Herbazal denso de tierra firme no arbolado			63,60	5995958,39
	Pino			9,64	4280976,81
	Tierras desnudas y degradadas			5,24	2675049,59
	Vegetación secundaria alta			228,78	4265067,19
	Vegetación secundaria baja			818,29	3938857,83
	Zonas quemadas			7,36	5196643,98
ZHM2	Café a plena exposición	Montañoso	6	1900,52	8660685,55
	Café con semisombra			228,74	6899436,00
	Café con sombrío			41,81	6266919,60
	Caña panelera			0,56	953260,69
	Cultivos permanentes arbóreos			97,94	3337873,23
	Fríjol			16,57	6635553,66
	Maíz blanco			1,41	10439417,35
	Mosaico de cultivos			17,06	3217304,59
	Mosaico de cultivos y espacios naturales arbóreos			8,07	5559093,89
	Mosaico de cultivos y espacios naturales arbustivos			4,78	2450674,50
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbóreos			4,89	2986580,91
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales arbustivos			25,51	4387384,67
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos			1,05	3720138,37
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos			14,89	2350774,92
	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos			468,02	2843912,98
	Mosaico de pastos con espacios naturales herbáceos			189,65	2928519,01
	Mosaico de pastos y cultivos			30,38	3078455,25
	Otros cultivos transitorios			22,71	2802778,90
	Pastos arbolados			63,47	2921108,52
	Pastos enmalezados			637,94	3337290,19
	Pastos limpios			2465,32	4599766,81
	Plátano			9,79	3609831,35

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 5.3. Distribución de las zonas homogéneas rurales para la microcuenca Quebrada la Yaguilga

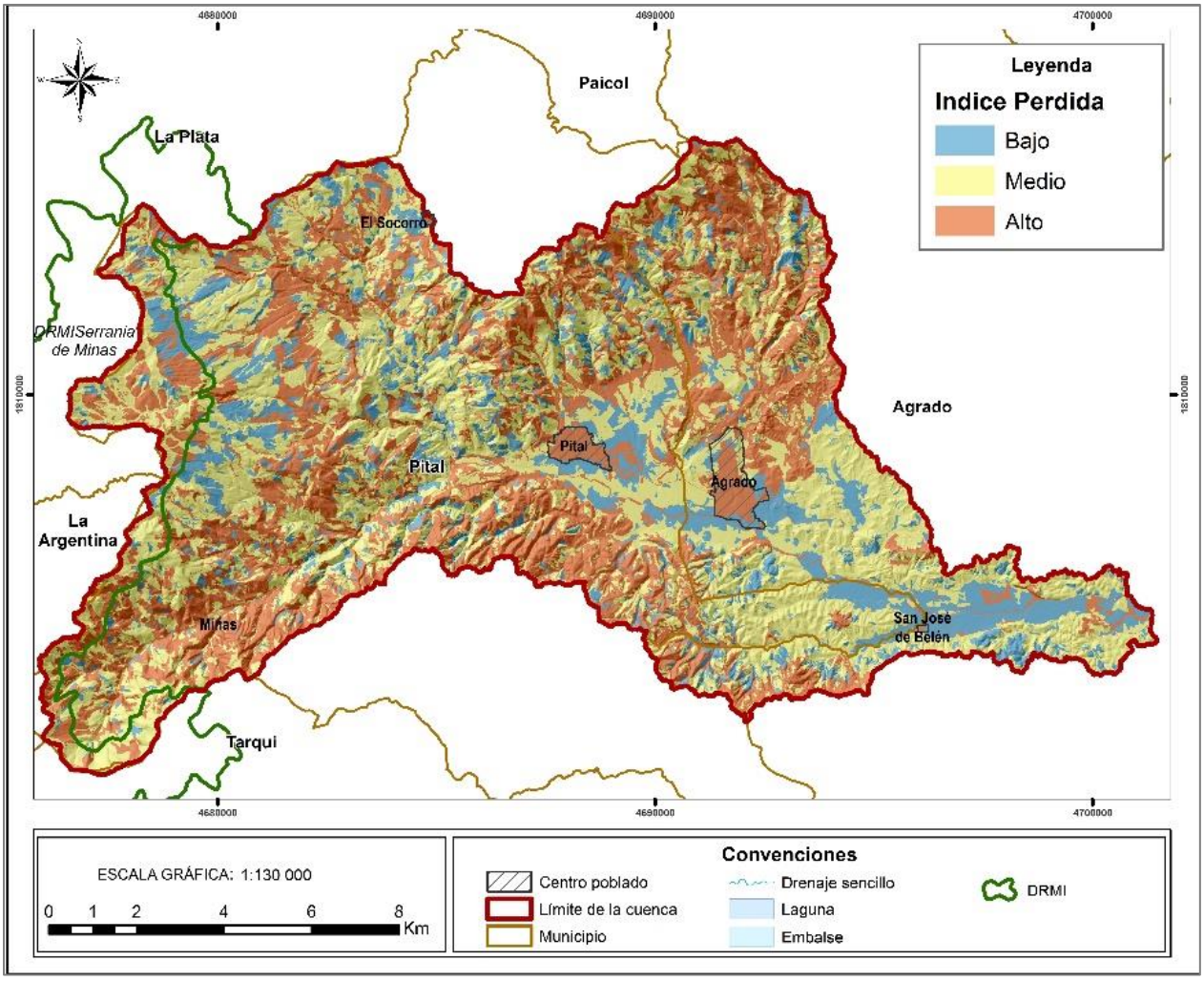


Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

5.2.1.3. *Índice de Pérdida o daño (IP)*

Se estimó el índice de pérdida considerando el precio por metro cuadrado del área en estudio y los daños generados en el territorio por un determinado escenario de amenaza. Para la microcuenca Quebrada La Yaguilga, este índice varía entre 0 y 0,9; por lo tanto, el índice de pérdida está distribuido en las tres categorías El resultado se presenta en la Figura 5.4.

Figura 5.4. Zonificación del índice de perdida para la microcuenca Quebrada La Yaguilga



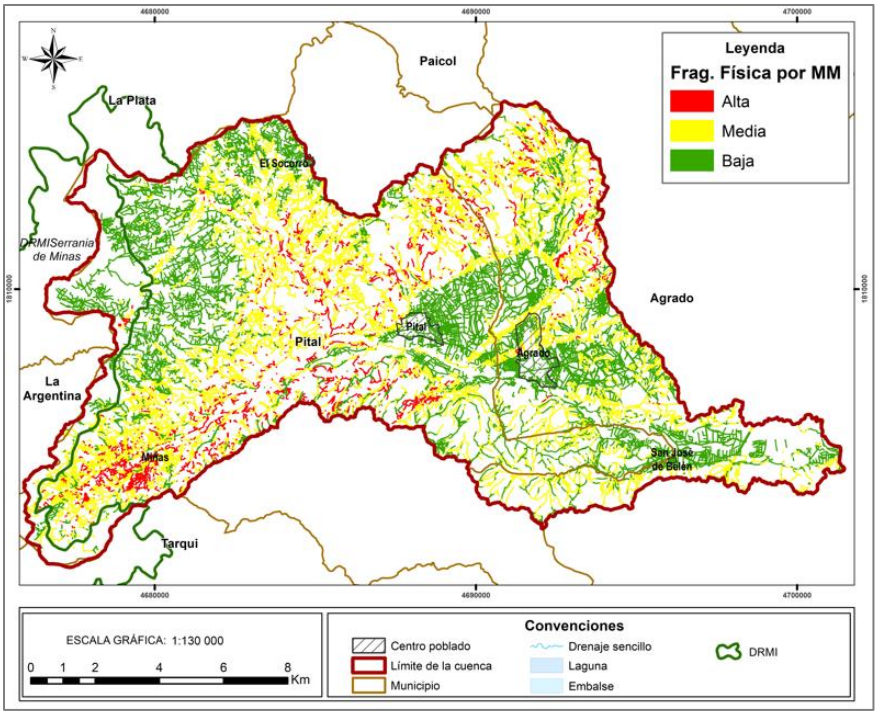
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

5.2.2. Análisis de la fragilidad

5.2.2.1. *Fragilidad física (Ff)*

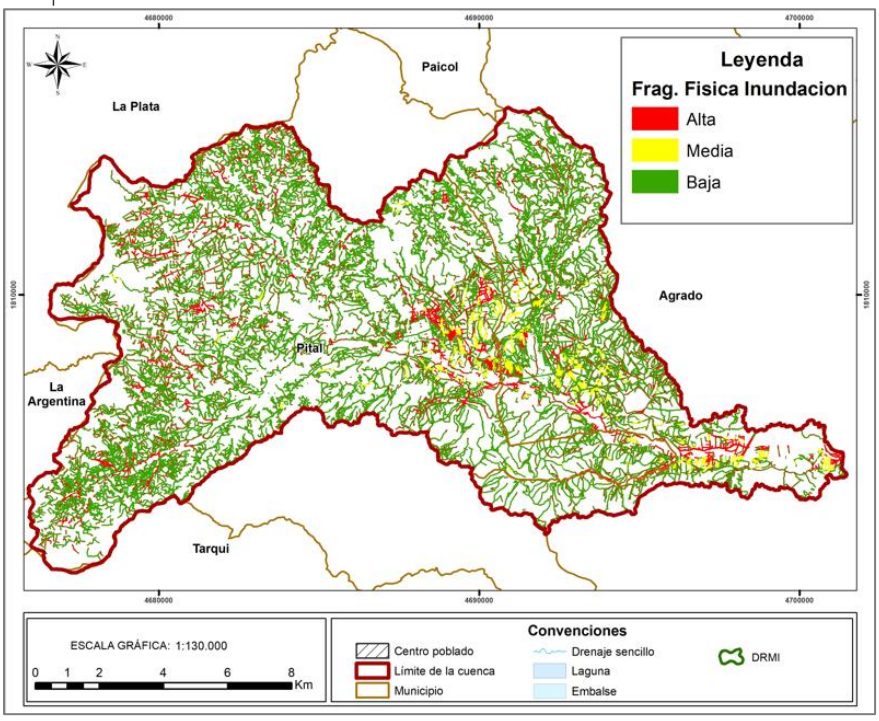
La fragilidad física es el resultado de la superposición de los elementos expuestos en las diferentes categorías de amenaza por movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales. Los elementos expuestos se cruzaron con cada tipo de amenaza, generando la clasificación de fragilidad física alta (con valor 1) para las zonas con amenaza alta, fragilidad física media (con valor 0,5) para las zonas de amenaza media y fragilidad baja (con valor 0) para las áreas en amenaza baja.

Figura 5.5. Fragilidad física por movimientos en masa MM



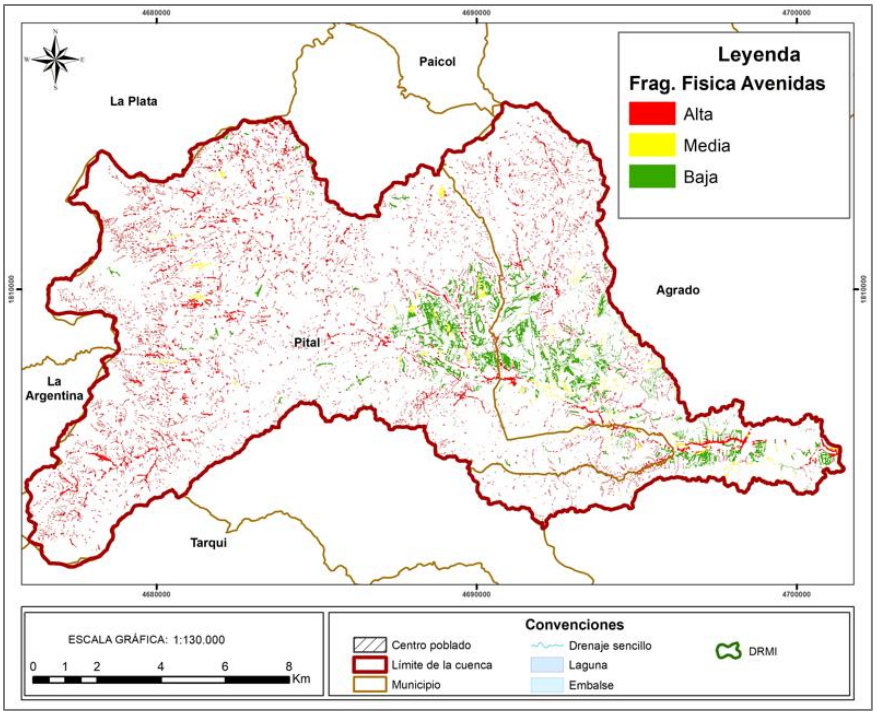
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 5.6. Fragilidad física por inundaciones



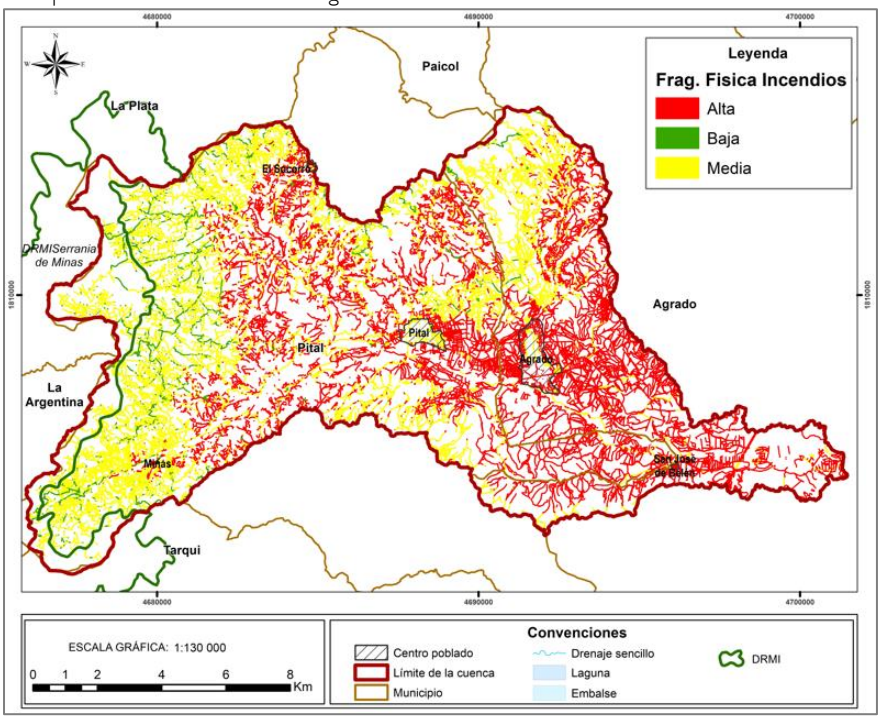
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 5.7. Fragilidad física por Avenidas Torrenciales



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 5.8. Fragilidad física por incendios de cobertura vegetal



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

5.2.2.2. *Fragilidad Socio – cultural (Fsc)*

La fragilidad social se determinó a partir del índice de calidad de vida para cada municipio discriminando las áreas rurales de las urbanas. Para la fragilidad cultural se consideraron sitios de interés, centros educativos, bocatomas, tanques para acueducto, áreas turísticas y centros religiosos, con los recorridos en campo se percibió la importancia que tienen las viviendas en la zona rural como sitios de encuentro social, principalmente en la zona oriental, motivo por el cual, se agregaron las viviendas en el análisis. Los anteriores factores se calificaron como se indica en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Tabla 5.6.

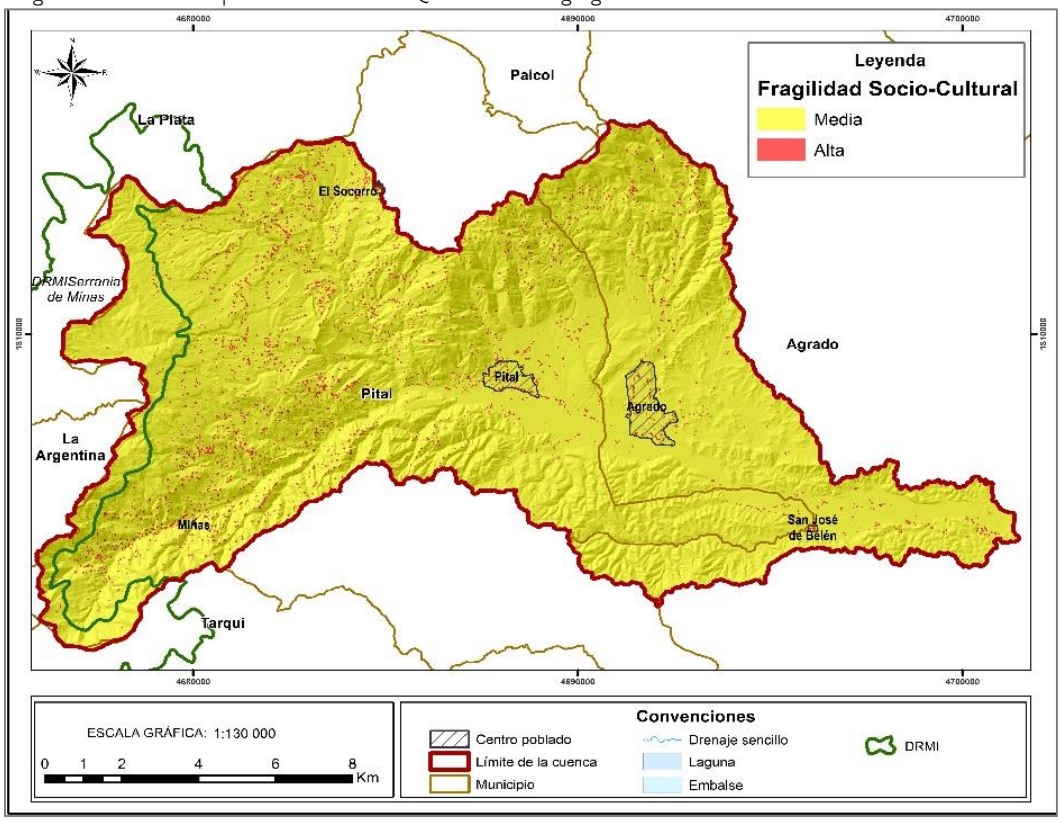
Tabla 5.6. Fragilidad cultural

Áreas de Dimensión Cultural	Valor	Categoría
Viviendas	0,25	Media
Establecimientos educativos, centros religiosos, sitios de interés, áreas turísticas, tanques, bocatomas	0,5	Alta

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

La fragilidad sociocultural se determinó por la suma de la fragilidad social con la fragilidad cultural, la clasificación resultante se expone en la siguiente figura: .

Figura 5.9. Fragilidad socio-cultural para la microcuenca Quebrada La Yaguilga



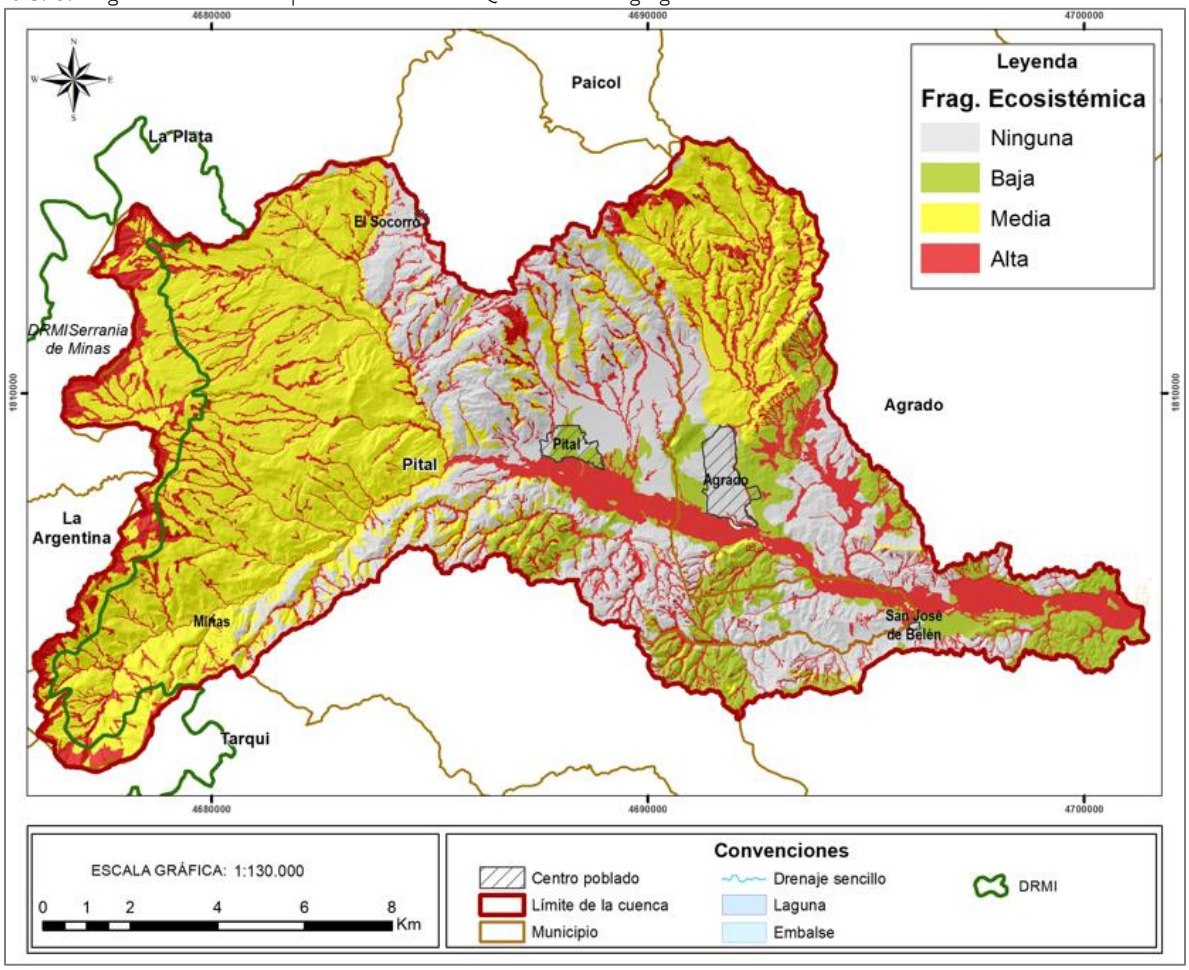
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

5.2.2.3. *Fragilidad ecosistémica (Fe)*

La fragilidad ecosistémica está configurada por las áreas protegidas o prestadoras de servicios ambientales, se tomaron las áreas de ecosistemas estratégicos identificados en el componente biótico del plan de manejo: Bosques, Parques naturales municipales, suelos en clase VIII, páramo, humedales, rondas hídricas y las zonas identificadas como de protección/conservación dentro de las reservas forestales de la Ley 2da, su calificación se presenta en la Tabla 1.88 y Figura 1.149.

Nombre del ecosistema estratégico	Valor	Categoría
Áreas de protección/conservación Ley 2da, rondas hídricas, humedales, páramos y zonas de recarga	1,00	Alta
Parques naturales municipales, Reserva de la Sociedad Civil, Suelos clase VIII	0,75	Media
Áreas de producción forestal de la Ley 2da.	0,30	Baja
Todas las que no se incluyan en las anteriores categorías	0,00	Nula

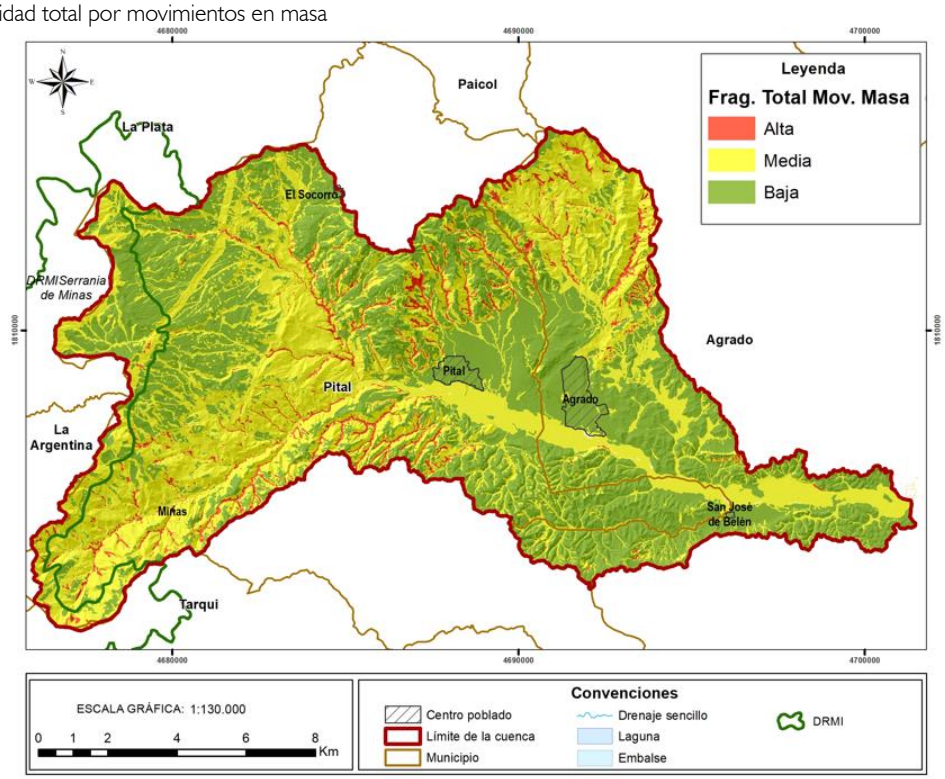
Figura 5.10. Fragilidad ecosistémica para la microcuenca Quebrada La Yaguilga



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

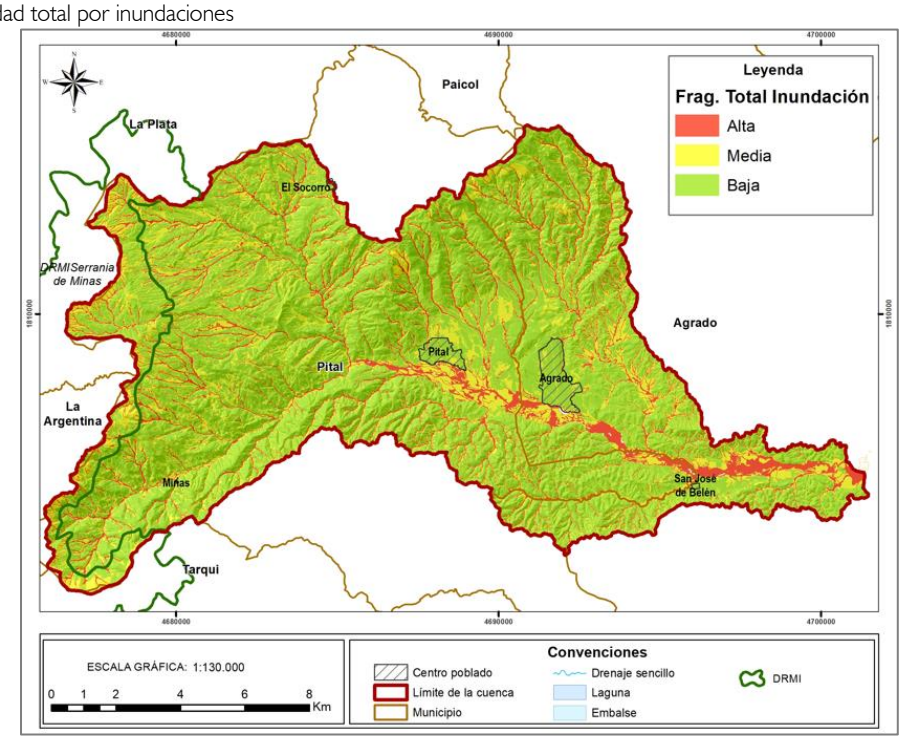
Una vez determinada cada una de las fragilidades se estimó la fragilidad total por tipo de amenaza: movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios de la cobertura vegetal, tal como se evidencia a continuación:

Figura 5.11. Fragilidad total por movimientos en masa



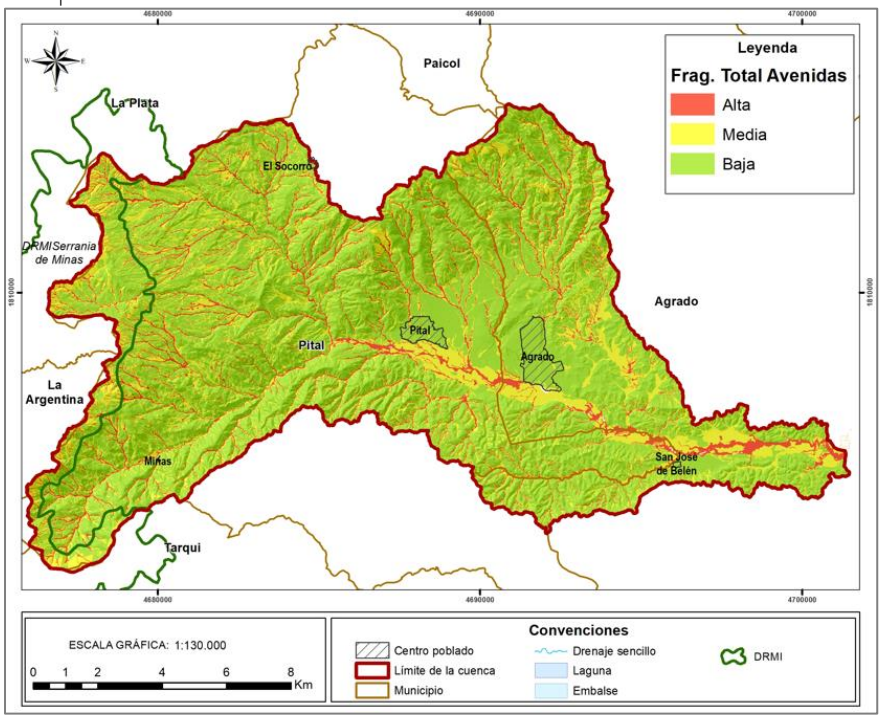
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 5.12. Fragilidad total por inundaciones



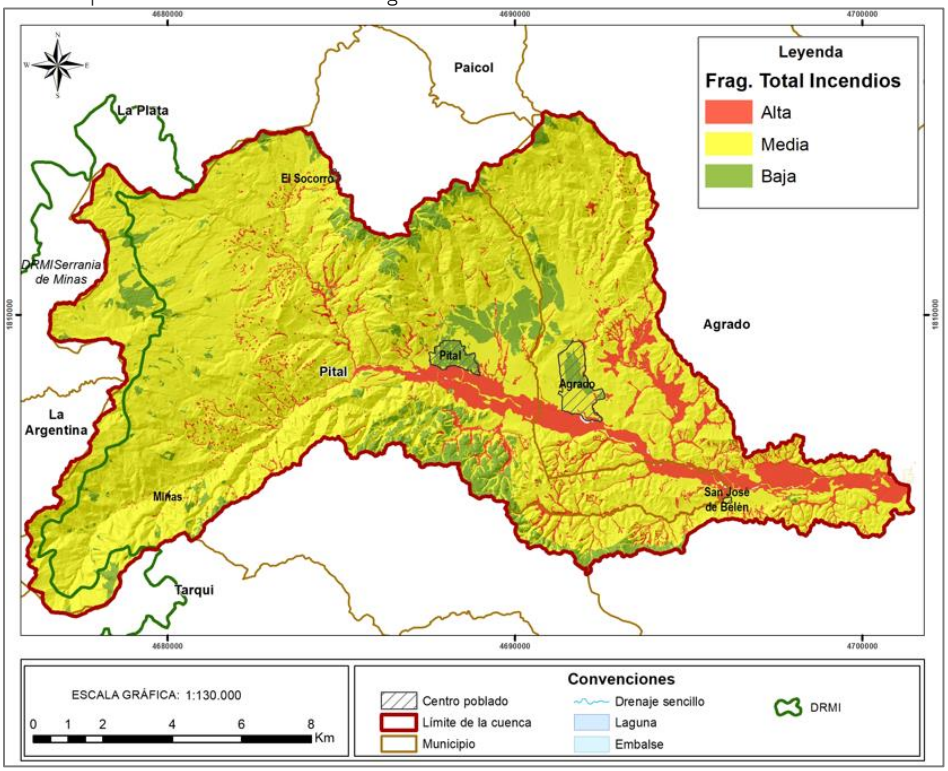
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 5.13. Fragilidad total por Avenidas Torrenciales



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 5.14. Fragilidad total por incendios de la cobertura vegetal



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

5.2.3. Resiliencia (IR)

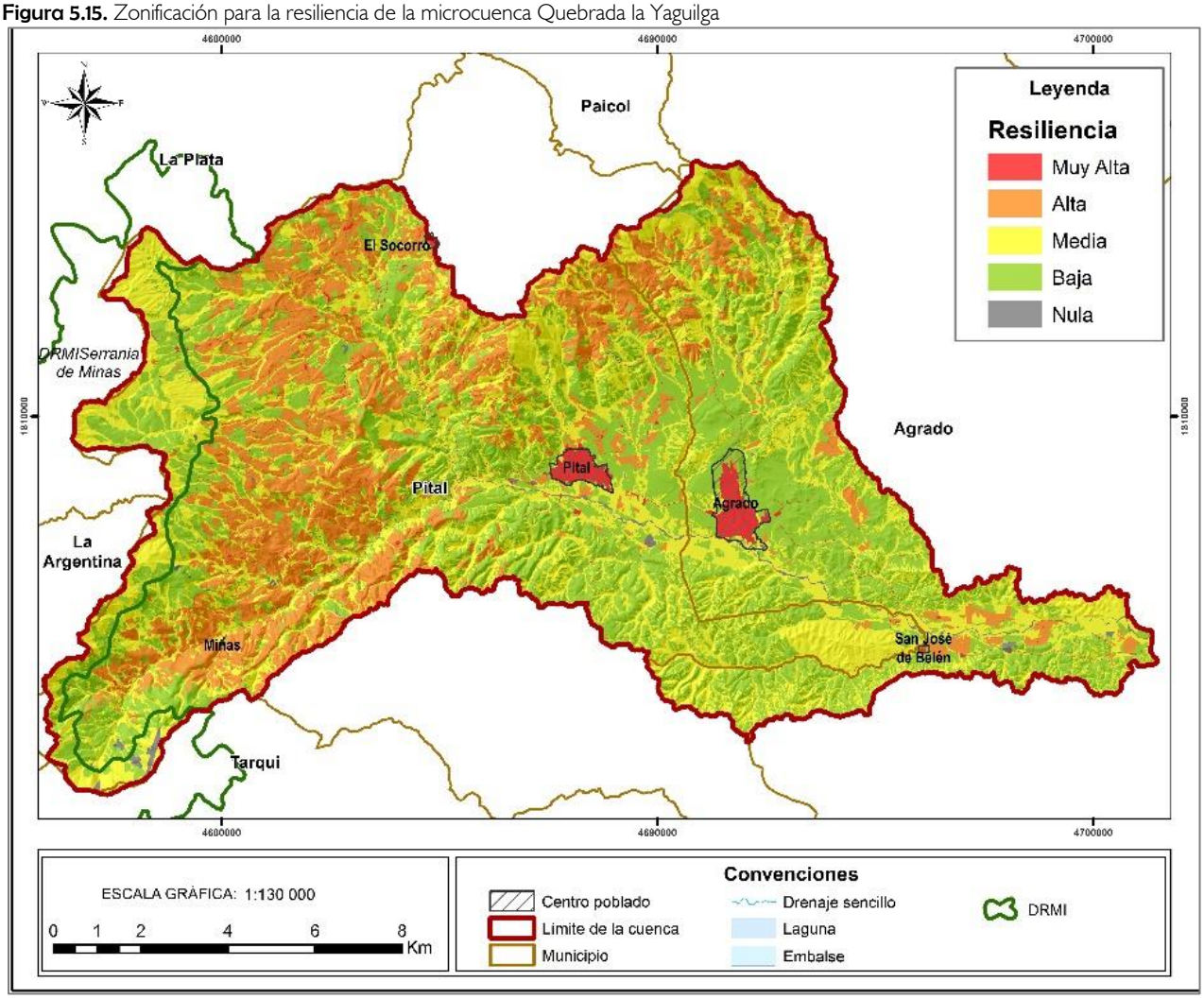
Para la determinación de la resiliencia se consideró la información de cobertura y uso actual, los valores asignados se presentan en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Clasificación de la resiliencia para diferentes coberturas en la microcuenca Quebrada La Yaguilga

Falta de Resiliencia Económica	Recuperación en el tiempo	Valor	Categoría
Tejido urbano continuo y discontinuo, zonas industriales y comerciales, instalaciones recreativas, infraestructura y territorios asociados.	Largo Plazo	1,00	Muy Alta
Cultivos permanentes, cultivos transitorios, mosaico de cultivos.	Mediano Plazo	0,75	Alta
Bosque abierto, bosque fragmentado, bosque de galería, arbustales, vegetación secundaria, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.	Corto Plazo	0,50	Media
Pastos y herbazales	Corto Plazo	0,25	Baja
Cuerpos de agua, tierras desnudas y degradadas, zonas quemadas, zonas de extracción minera.	--	0.00	Nula

Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Figura 5.15. Zonificación para la resiliencia de la microcuenca Quebrada la Yaguilga



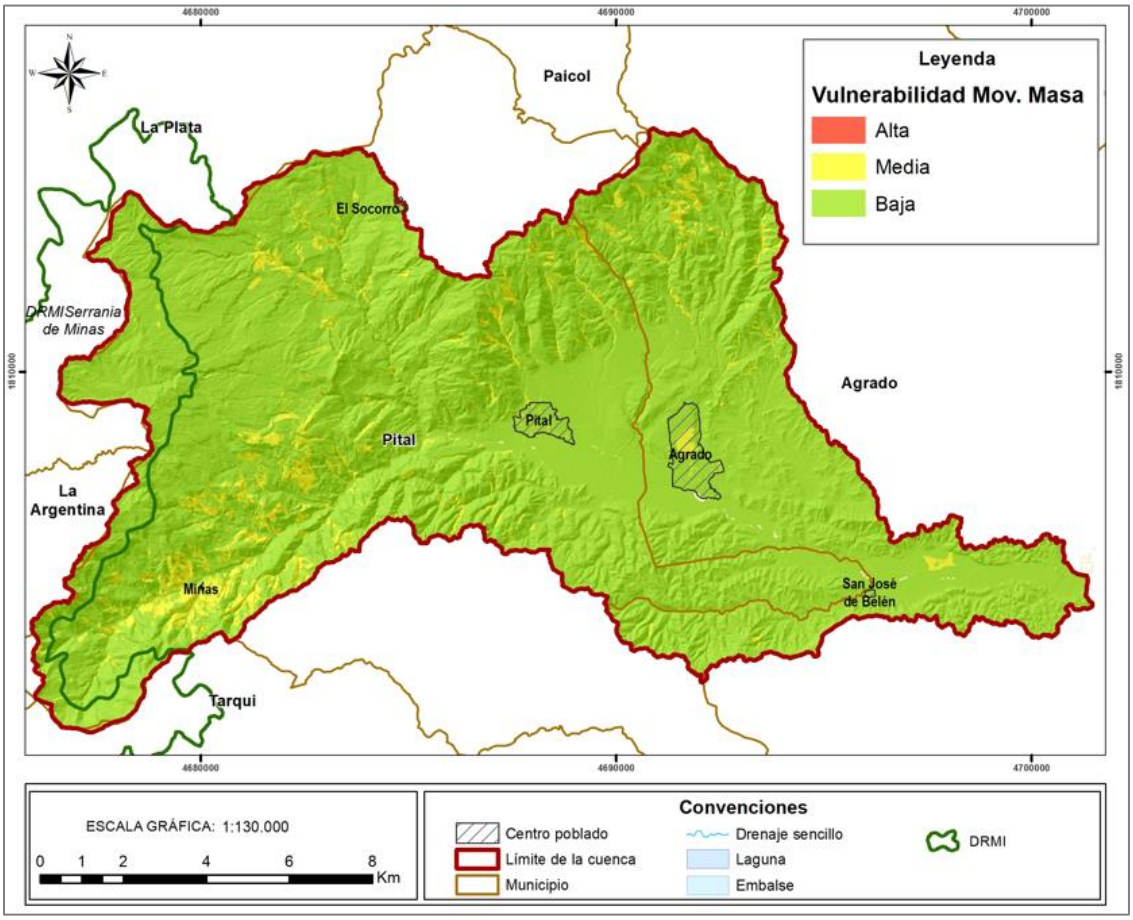
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

5.2.4. Vulnerabilidad

Dando continuidad a los pasos metodológicos descritos en el numeral 5.1, se procedió a calcular el modelo de vulnerabilidad para la microcuenca de la quebrada Yaguilga por cada uno de los eventos amenazantes evaluados (Movimientos en masa, Inundaciones, Avenidas Torrenciales e Incendios Forestales). Los resultados se presentan en la Figura 5.16, Figura 5.17, Figura 5.18, Figura 5.19 y se compilan en el anexo 9 del presente documento.

El análisis denota preponderancia en el territorio de la categoría de vulnerabilidad baja, debido a la presencia de coberturas naturales

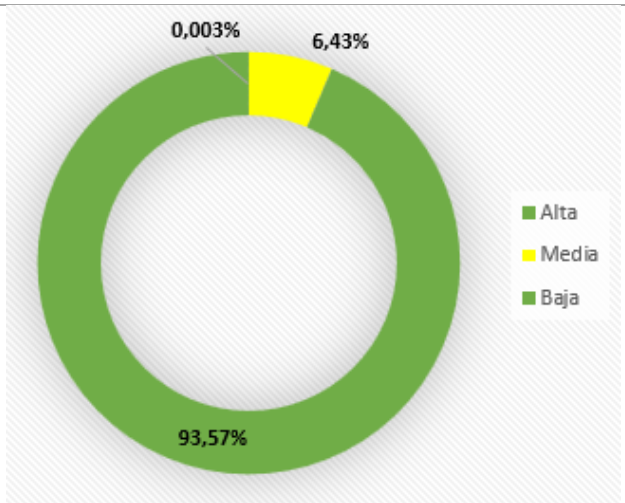
Figura 5.16. Vulnerabilidad a movimientos en masa



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

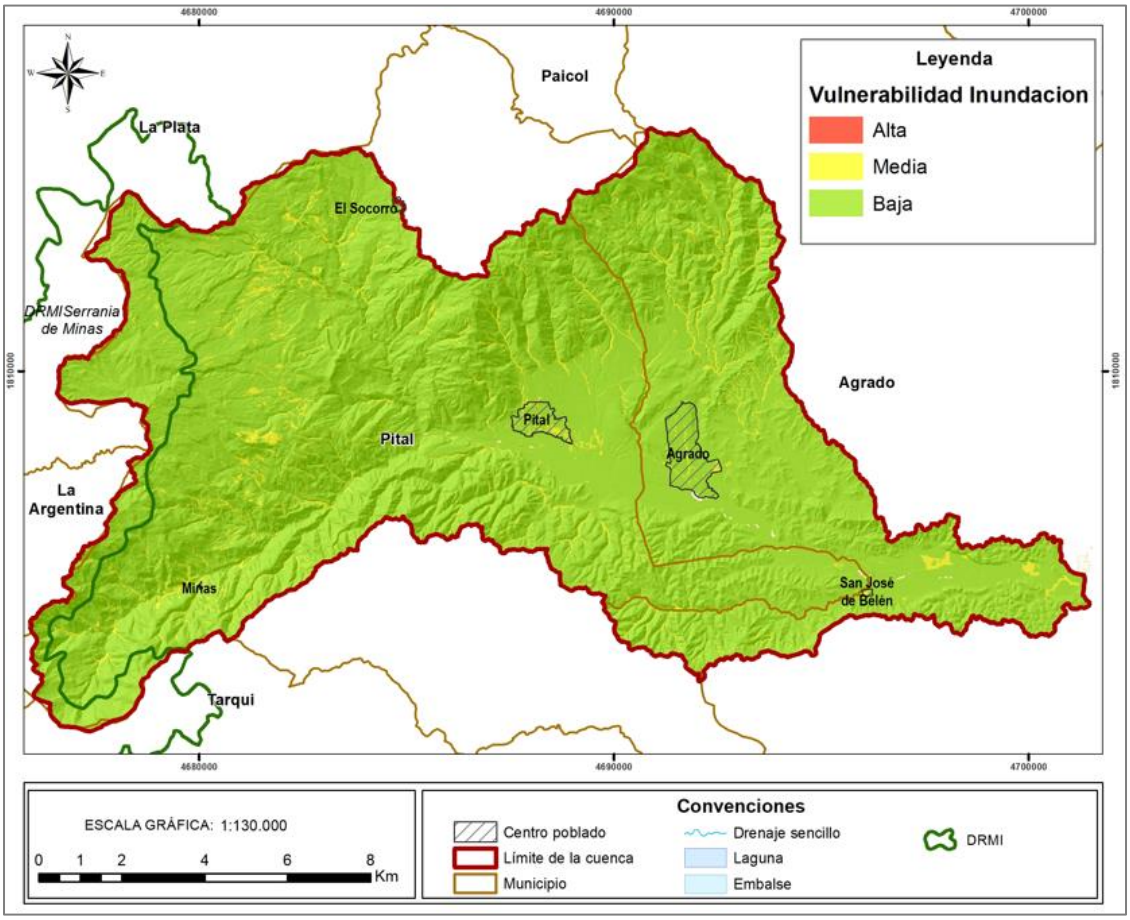
Tabla 5.8. Categorías de vulnerabilidad a movimientos en masa

Categoría de Amenaza	Área (ha)	%A
Alta	0,58	0,003
Media	1196,98	6,43
Baja	17415,07	93,57
Total	**18612,63**	**100**



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

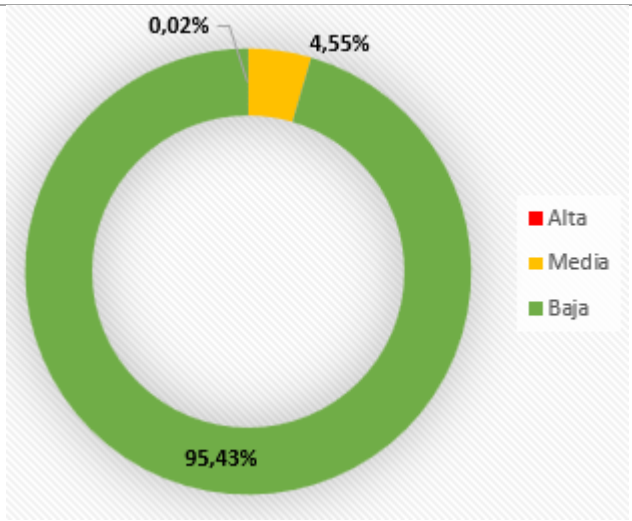
Figura 5.17. Vulnerabilidad a inundaciones



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

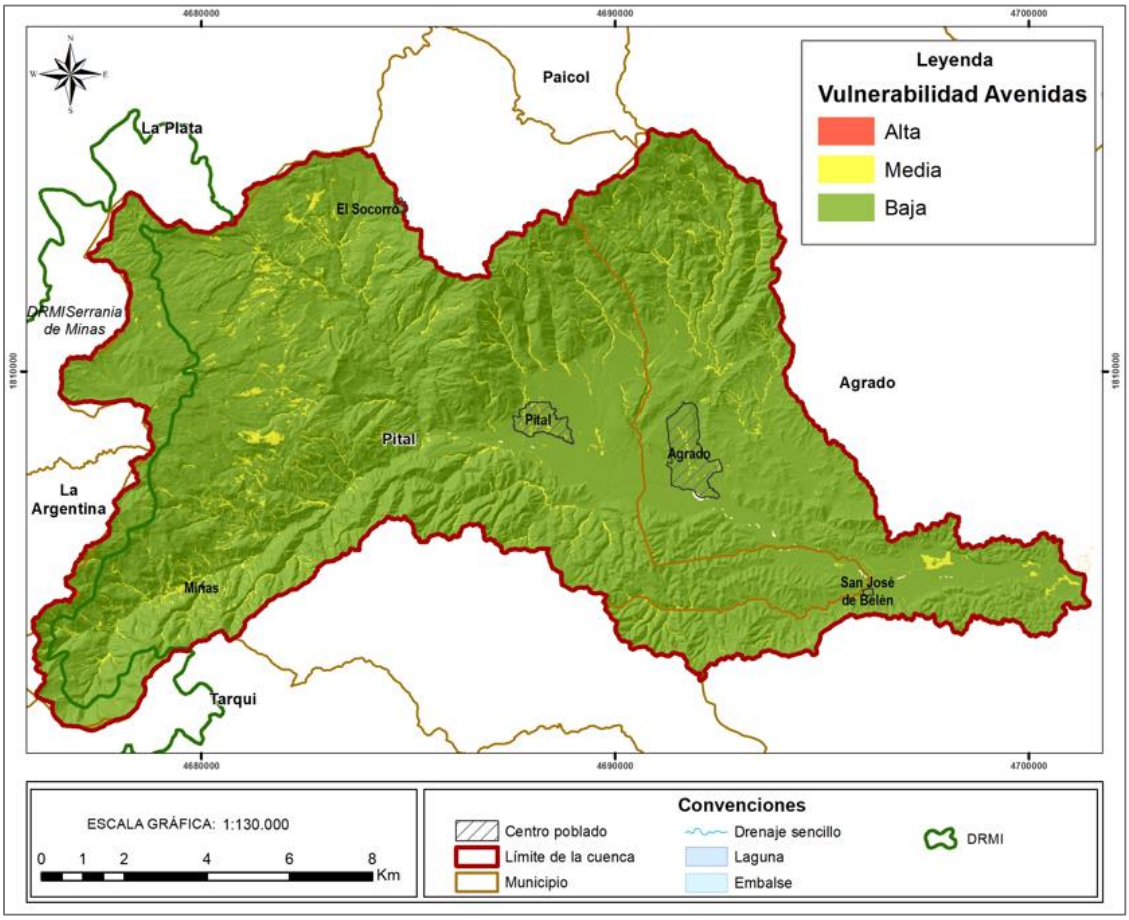
Tabla 5.9. Categorías de vulnerabilidad a inundaciones

Categoría de Amenaza	Área (ha)	%A
Alta	3,49	0,02
Media	846,78	4,55
Baja	17762,36	95,43
Total	**18612,63**	**100**



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

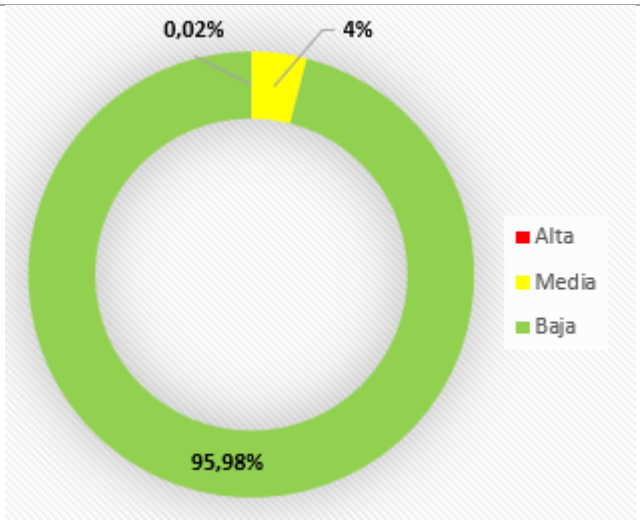
Figura 5.18. Vulnerabilidad a Avenidas Torrenciales



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

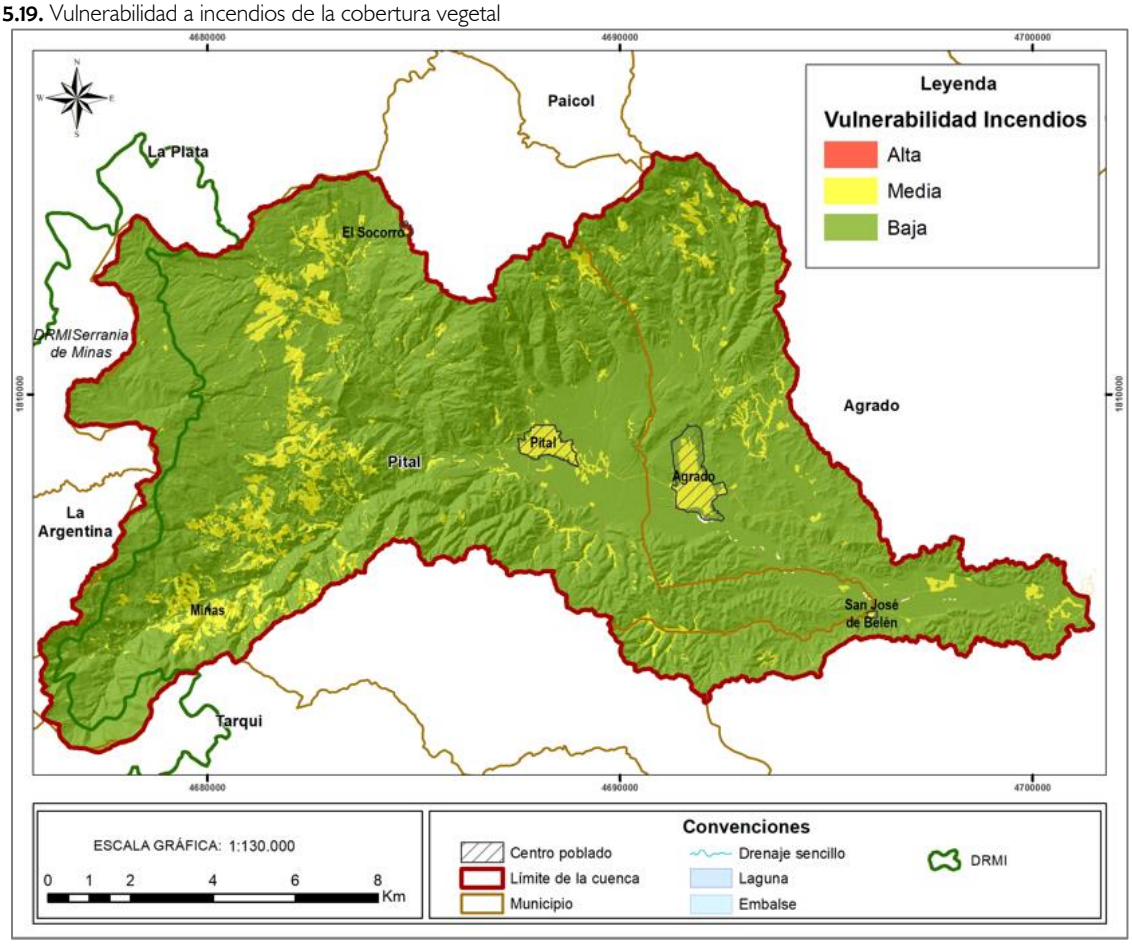
Tabla 5.10. Categorías de vulnerabilidad a avenidas torrenciales

Categoría de Amenaza	Área (ha)	%A
Alta	3,02	0,02
Media	745,21	4,00
Baja	17864,40	95,98
Total	**18612,63**	**100**



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

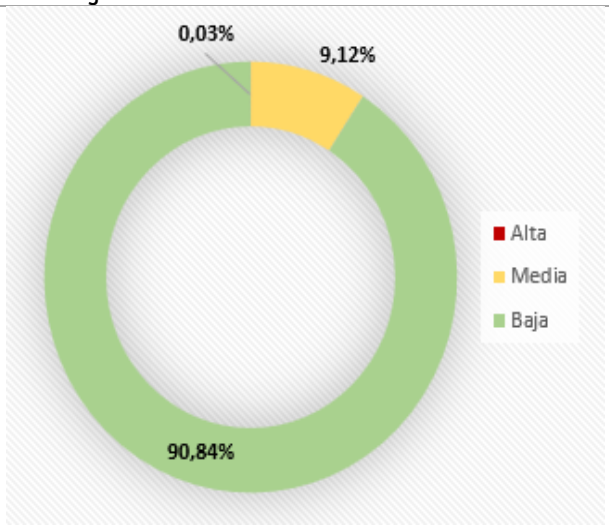
Figura 5.19. Vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal



Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

Tabla 5.11. Categorías de vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal

Categoría de Amenaza	Área (ha)	%A
Alta	6,22	0,03
Media	1698,01	9,12
Baja	16908,40	90,84
Total	**18612,63**	**100**



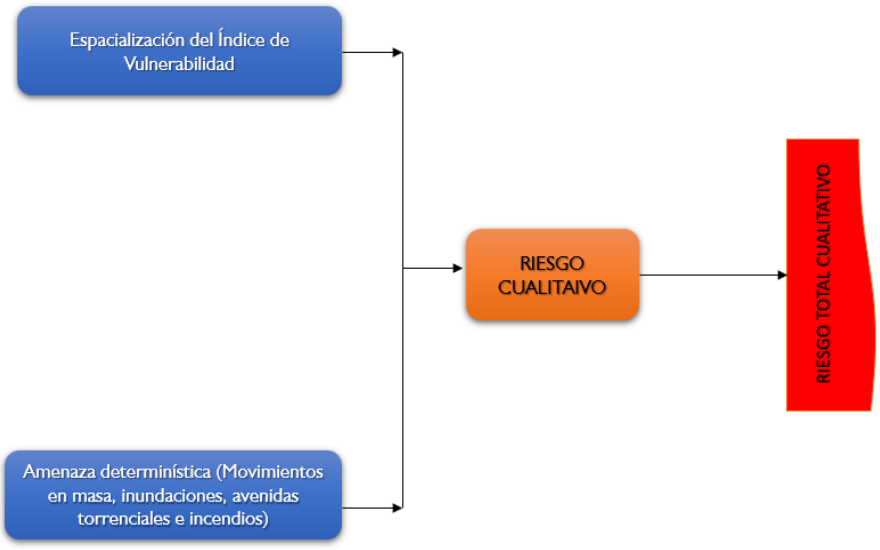
Fuente: Consorcio PMAM Yaguilga

6. ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE RIESGO

6.1. Contexto

6.2. Metodología

Para la definición de las categorías de riesgo, se aplicó el análisis probabilístico. Con los datos presentados para los niveles de amenaza (por movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales) y los niveles de vulnerabilidad calculados a partir de los índices propuestos, se calculan los niveles de riesgo para toda la cuenca (Figura 1.159). Por medio de la aplicación de operaciones SIG (superposición), se integra la zonificación de cada amenaza con la respectiva zonificación de vulnerabilidad (del mismo tipo de amenaza), como etapa final se realiza una calificación del nivel del riesgo de manera cualitativa.



NIVELES DE AMENAZA (Pf)	NIVELES DE VULNERABILIDAD (V)		
	NIVEL 1: ALTA (75% A 100%)	NIVEL 2: MEDIA (30% A 75 %)	NIVEL 3: BAJA (<30%)
ALTA	Alto	Alto	Medio

NIVELES DE AMENAZA (Pf)	NIVELES DE VULNERABILIDAD (V)		
	NIVEL 1: ALTA (75% A 100%)	NIVEL 2: MEDIA (30% A 75 %)	NIVEL 3: BAJA (<30%)
MEDIA	Alto	Medio	Bajo
BAJA	Medio	Medio	Bajo
	Calificación del nivel del riesgo		

6.3. Resultados

6.3.1. Movimientos en Masa

6.3.2. Inundaciones

6.3.3. Avenidas Torrenciales

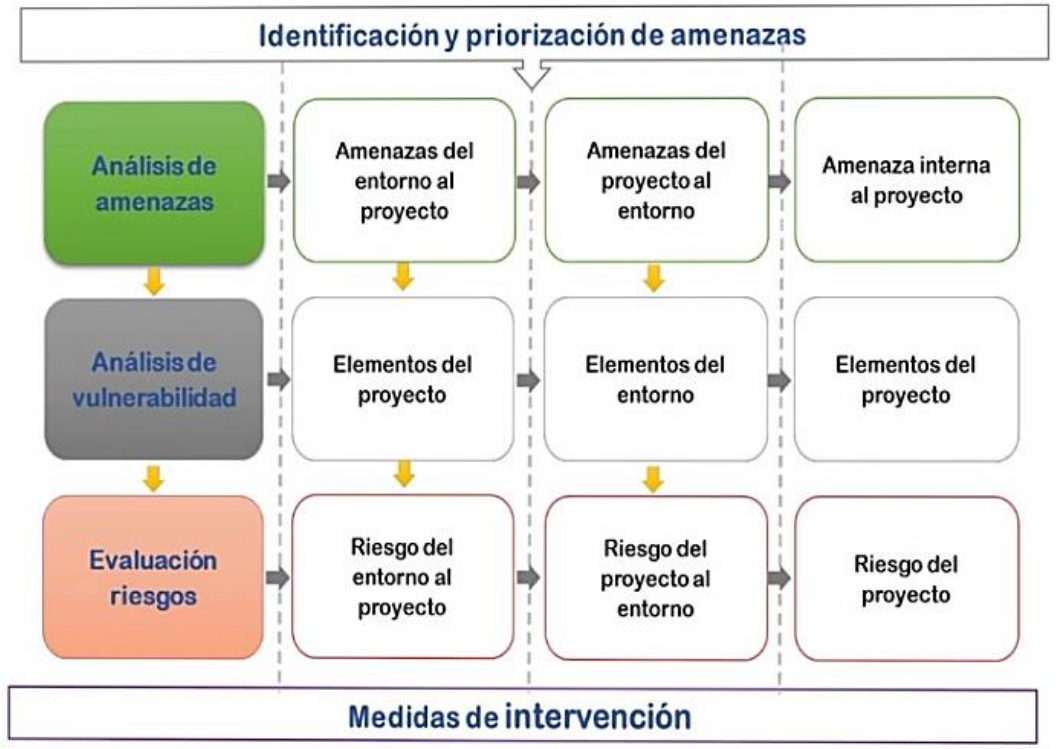
6.3.4. Incendios de Cobertura Vegetal

7. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN

7.1. Marco Referencial

Un enfoque integral de la GRD debe incluir líneas de acción que incluyan el conocimiento de los factores del riesgo, esto es, el conocimiento de la amenaza y de la vulnerabilidad; debe incluir la planificación ambiental, institucional, sectorial, privada y comunitaria, la reducción del riesgo y su transferencia, la preparación ante emergencias y desastres y, la recuperación.

Figura 7.1. Diagrama de flujo para la selección de medidas de intervención aplicable a los territorios



Fuente: OEA – Estructuralia (2017)

De acuerdo a la información recolectada en la fase de construcción del estado del conocimiento sobre la gestión del riesgo de desastres en los territorios, se sugiera agotar las siguientes etapas:

a) Intervención prospectiva del riesgo: busca reducir a cero nuevas situaciones de riesgo a través de acciones de prevención, impidiendo que los elementos expuestos sean vulnerables o que lleguen a estar expuestos ante posibles eventos peligrosos; se realiza primordialmente a través de la planificación ambiental sostenible, el ordenamiento territorial, la planificación sectorial, los estudios de prefactibilidad y diseño adecuados, el control y seguimiento y en general todos

aquellos mecanismos que contribuyan de manera anticipada a la localización, construcción y funcionamiento seguro de la infraestructura, los bienes y la población.

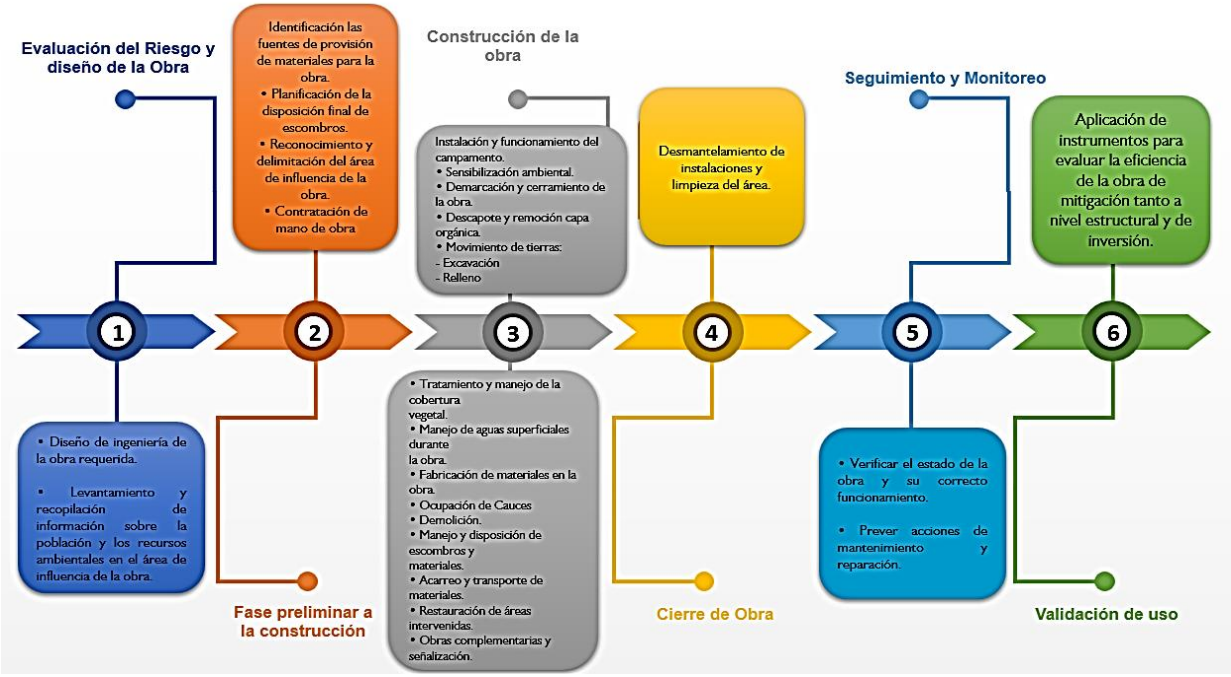
b) Intervención correctiva del riesgo: Proceso cuyo objetivo es reducir el nivel de riesgo existente en la sociedad a través de acciones de mitigación, en el sentido de disminuir o reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.
c) Protección financiera: Mecanismos o instrumentos financieros de retención intencional o transferencia del riesgo que se establecen en forma ex ante con el fin de acceder de manera ex post a recursos económicos oportunos para la atención de emergencias y la recuperación. Hace parte de las medidas no estructurales de reducción del riesgo.

Una vez se contraste el acceso a recursos físicos, financieros y humanos se procede a construir el instrumento de intervención optimo, ya sea estructural o no estructural, que dé cumplimiento a los lineamientos definidos por la autoridad territorial como metas estratégicas.

7.2. Medidas Estructurales

Para el DNP (2005), las medidas estructurales consisten en obras de ingeniería para la prevención de riesgos factibles empleadas para reducir o llevar a niveles "aceptables" el riesgo al que está expuesta una comunidad. Pueden ser catalogadas como preventivas, correctivas o de control. Su construcción requiere de diseños de Ingeniería y optimización de los recursos, así como de un Plan de Manejo Ambiental que posibilite la reducción de los impactos que generan como se esquematiza en la Figura 7.2.

Figura 7.2. Etapa de una obra estructural para atención del riesgo de desastres incluyendo un programa de gestión ambiental



Fuente: Elaborado a partir de la Guía Ambiental Para Evitar, Corregir y Compensar Los Impactos De Las Acciones De Reducción y Prevención De Riesgos En El Nivel Municipal (DNP, 2005)

Las medidas estructurales se realizan para fenómenos naturales como los sismos (a través de construcciones o reforzamientos sismo resistentes), tsunamis (estructuras de detención o desviación de la ola), erosión costera (emplazamiento groynes, de muros en mampostería, hormigón o roca) fenómenos socionaturales como los movimientos en masa (muros de contención, gaviones, anclajes), inundaciones y avenidas torrenciales (estructuras de detención para regulación de caudal, estructuras de retención de la infiltración, parques lineales hundidos, captación de aguas lluvia, pavimentos permeables, canalizaciones y rectificación de cauces, bordos de protección y drenaje pluvial urbano), socavación de orillas y, antrópicos como los incendios de la cobertura vegetal (brechas cortafuego), derrames de hidrocarburos (estructuras de detención y retención de la infiltración). Para el proceso de análisis se agruparon en 6 categorías como se muestran en las siguientes secciones.

7.2.2. Obras para el control de la erosión

Las obras para el control de la erosión buscan la adecuada evacuación de las aguas de escorrentía, un mejoramiento de la infiltración, la disminución de la velocidad de escurrimiento, la protección de los suelos al impacto de la lluvia y el restablecimiento de coberturas vegetales (DNP, 2005) (Ver Sección 3.5.)

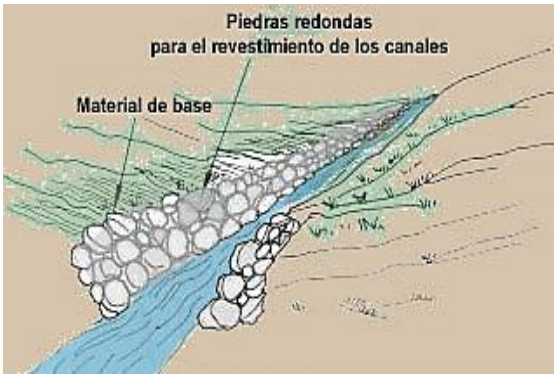
Tabla 7.1. Ficha de caracterización de medidas estructurales para la prevención de fenómenos de Control de la erosión

CLASIFICACIÓN	DENOMINACIÓN	FUNCIÓN ESTRUCTURAL

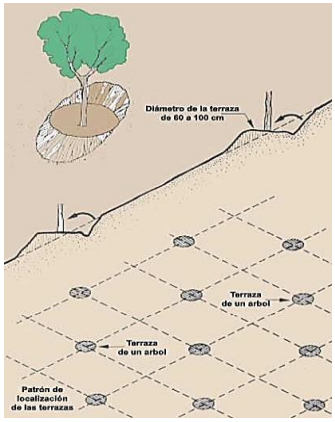
Obras para el Control de la erosión	*Tratamiento de regulación de la escorrentía superficial (a)*	Interceptan y conducen la escorrentía hacia la red de drenaje natural. Cumplen la función de regular el gran volumen de flujo directo o escorrentía superficial en zonas con baja cobertura vegetal y se utilizan en casos donde las laderas presentan procesos de erosión crecientes.
	Incremento de infiltración (b)	Se logra mediante la conformación de sistemas de infiltración que reducen la velocidad, el poder erosivo del agua de escorrentía superficial y retienen los sedimentos trasportados; en algunos casos, permiten acumular aguas lluvias para el riego. Son ejemplo de ello las zanjas y las microterrazas.
	Tratamientos lineales (c)	Consiste en la elaboración de barreras que ayudan a encausar el agua de escorrentía a los canales de evacuación, localizados de manera trasversal a la pendiente.
	Tratamientos de regulación de flujo hídrico en cauces (d)	Obras que buscan: detener y controlan la socavación de cárcavas y lechos, estabilizar la pendiente longitudinal del cauce, y crear condiciones que promueven los procesos de sucesión vegetal.
	Reforestación no ecológica (e)	Consiste en la siembra de especies arbustivas y arbóreas de forma estratificada y dirigida hacia la conformación de barreras vivas, preferiblemente con especies que alcancen profundidades de enraizamiento de 50 cm.

Fuente: Elaborado a partir de la Guía Ambiental Para Evitar, Corregir y Compensar Los Impactos De Las Acciones De Reducción y Prevención De Riesgos En El Nivel Municipal (DNP, 2005)

(a) Ejemplo de regulación de escorrentía superficial usando revestimiento de canales con piedras [5]



(b) Ejemplo de microterrazas forestales [6]



(c) Ejemplo de Tratamientos lineales con Fajinas [7]

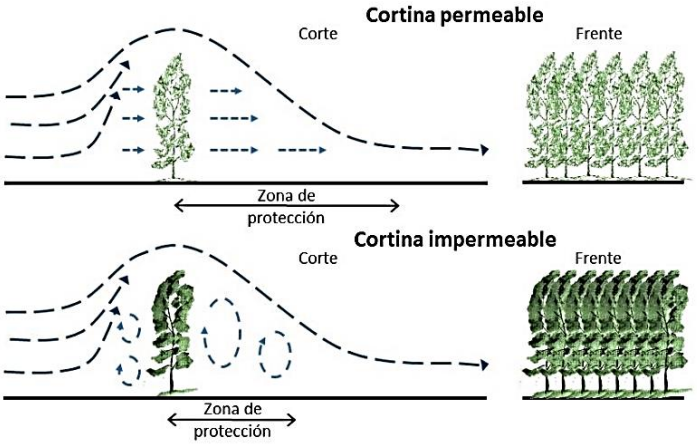
(d) Ejemplo de regulación de flujo usando diques artesanales en cauces semipermanentes [8]

[5] Imagen disponible en: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708s/x6708s03.htm
[6] Imagen disponible en: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s04.htm
[7] Imagen disponible en: https://qcat.wocat.net/es/wocat/technologies/view/technologies_744/
[8] Imagen disponible en: http://ghidrologia.blogspot.com/2014/01/diques-de-madera-en-la-republica-checa.html





(e) Ejemplo de Reforestación no ecológica [9]



7.2.3. Obras para prevención de fenómenos de movimientos en masa

Los fenómenos de remoción en masa se refieren al desprendimiento de piedras, tierra o detritos en una pendiente a causa de la gravedad y comúnmente se conocen o nombran como deslizamientos (DNP, 2005).

Pueden ser detonados por lluvias, inundaciones, terremotos u otras causas naturales y acelerados por actividades humanas con o sin licencias, como corte o rellenos de terrenos y excesivos o inapropiados desarrollos urbanos sobre todo los enfocados en habilitación de unidades residenciales, establecimiento de infraestructura en transectos de montaña con pendientes superiores al 7% y construcciones rurales que no poseen estudios sobre la susceptibilidad de los terrenos.

Algunas obras deberán complementarse mediante conducciones apropiadas (encoles – descoles), especialmente sobre taludes que presenten inestabilidad; es aconsejable acompañar estas estructuras con programas complementarios de empradización y/o revegetación para integrar paisajísticamente

[9] Imagen disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_cortinas_forestales.pdf

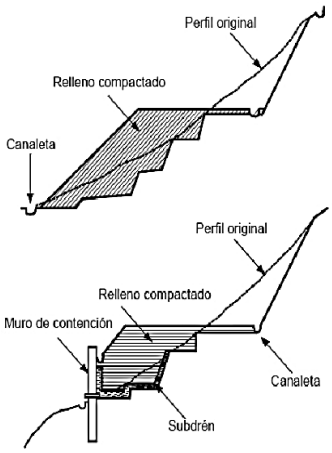
las obras y facilitar el control de eventuales aportes de sedimentos a los cuerpos de agua (Paredes, M *et al.* 2019).

Tabla 7.2. Ficha de caracterización de medidas estructurales para la prevención de fenómenos de remoción en masa

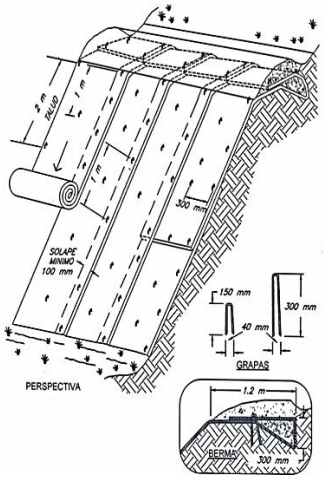
CLASIFICACIÓN	DENOMINACIÓN	FUNCIÓN ESTRUCTURAL
Obras para la Prevención de fenómenos de remoción en masa	*Remoción y/o conformación del perfil del terreno o talud (a)*	Se refiere a la reconformación del talud con el fin de incrementar su estabilidad, bien disminuyendo la masa inestable en la corona o aumentando la masa en la base del movimiento. Incluye: - Tendidos de talud - Bermas o rellenos de contrapeso - Trincheras o estabilizantes - Terraceo - Remoción y reemplazo de material
	Control de drenaje e infiltración (b)	Obras que permiten controlar o disminuir la presión que ejerce el agua dentro del suelo o la roca, facilitando su circulación y evacuación rápida a través del talud, evitando excesos de presiones y erosión interna. Existen dos tipos e drenaje: Superficial, en el que se utilizan obras como cunetas con o sin revestimiento, explanación de talud, revegetalización, entre otras y Subsuperficial, empleando para la condición de agua, filtros, drenes horizontales, lechos, pozos verticales y galerías.
	Estructura de contención para suelos (c)	Las estructuras de contención se diseñan para soportar empujes de tierra y prevenir fallas de taludes en aquellos casos en donde la estabilidad no puede ser garantizada por las condiciones topográficas. Se acompañan de obras adicionales de drenaje. Incluyen: - Muros de contención - Tierra reforzada - Muros anclados - Pilotes y Caisson
	Estructura de contención para rocas (d)	Como su nombre lo indica, se utiliza para estabilizar masas rocosas fracturadas y evitar el colapso del talud, la caída de bloques o cuñas Su uso es de carácter preventivo. Los anclajes se pueden emplear solos o con estructuras de contención aumentando las fuerzas resistentes. En este segmento se incluyen los anclajes, revestimientos flexibles y concreto lanzado.
	Protección de la superficie del talud con vegetación (e)	La siembra de arvenses o coberturas nobles, especies arbustivas y/o arbóreas de poca altura, que cubran y protejan el suelo del impacto directo de las gotas de lluvia. Uno de los más comunes es el pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*).
	Protección del talud con revestimiento (f)	Los revestimientos de las superficies de los taludes se utilizan cuando las pendientes de los mismos son mayores al 100% (45°), así como es posible utilizarlos en la parte baja de las estructuras de contención y requieren ser complementadas con obras de control de drenaje superficial. Materiales empleados: Concreto lanzado, Suelo cemento, Gaviones, Enrocados, Mampostería o piedra pegada
	Obras para el control de material caído o deslizado (g)	Estos tipos de obra buscan detener o desviar la masa de suelo o roca una vez se mueve ladera abajo, controlando o disminuyendo su capacidad de impacto, protegiendo la infraestructura y los transeúntes.

Fuente: Elaborado a partir de la Guía Ambiental Para Evitar, Corregir y Compensar Los Impactos De Las Acciones De Reducción y Prevención De Riesgos En El Nivel Municipal (DNP, 2005)

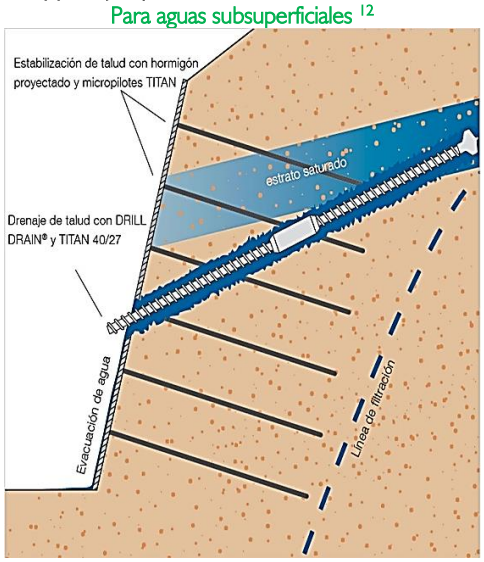
(a) Ejemplo de Contrafuerte implementando relleno de suelo y roca
Taludes [10]



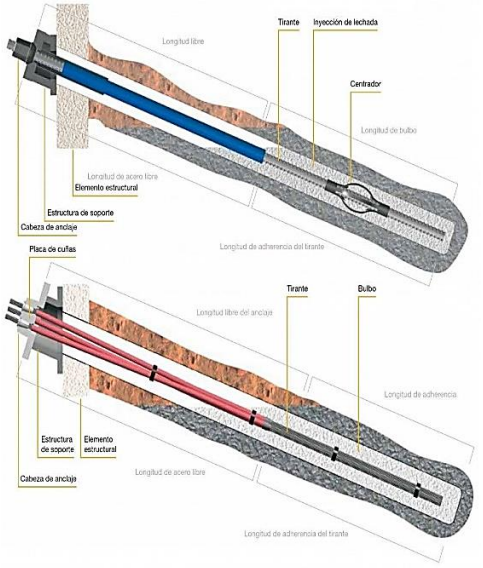
(b) Ejemplo de Revegetalización [11]
Para aguas superficiales



(b) Ejemplo de Drenes Horizontales
Para aguas subsuperficiales [12]

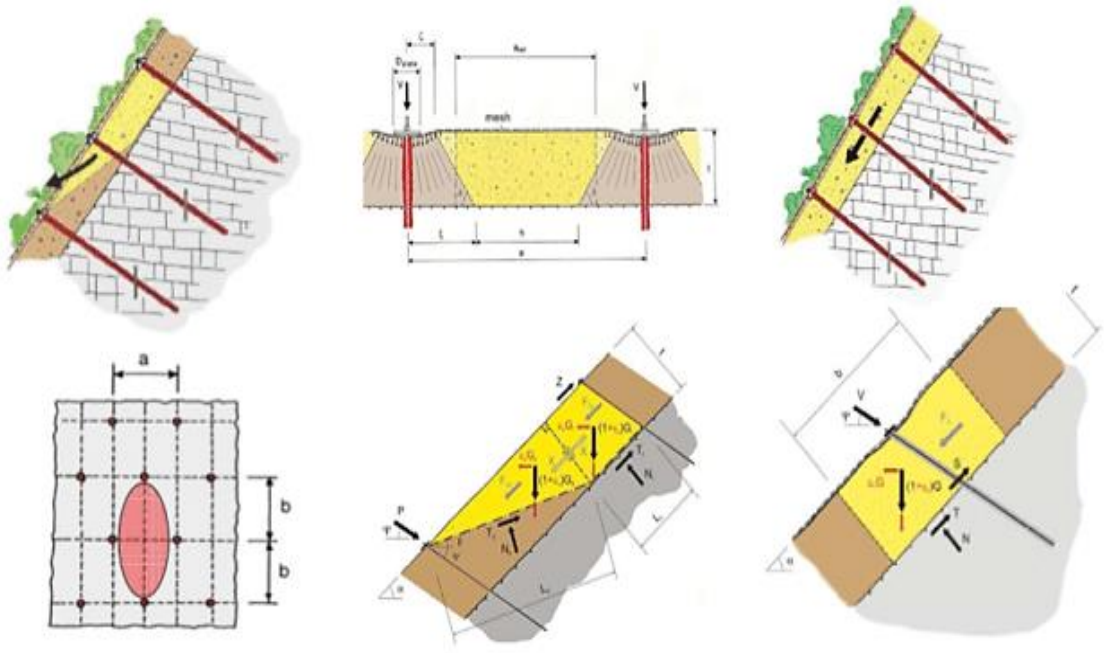


(c) Ejemplo de Muro anclado [13]



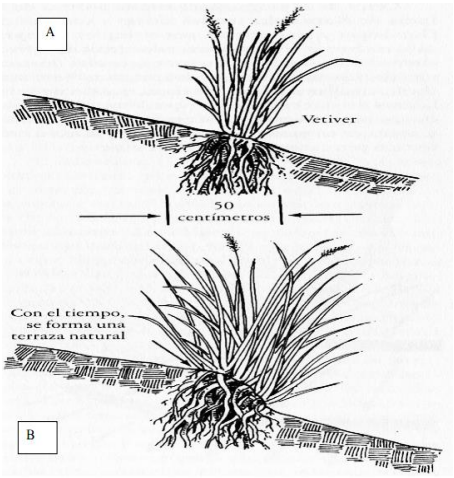
(d) Ejemplos de Revestimientos flexibles con mallas [14]

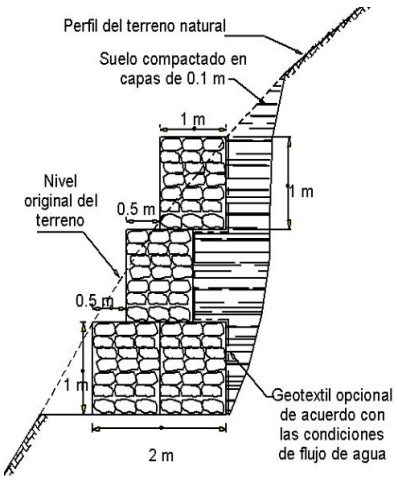
[10] Imagen disponible en: https://dokumen.tips/documents/alternativas-de-estabilizacion-de-taludes.html
[11] Imagen disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/6.5.%20Estabilizaci%C3%B3n%20de%20taludes_tcm30-140113.pdf
[12] Imagen disponible en: https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/195429-Nuevo-sistema-de-drenaje-Ischebeck-Drill-Drain-el-drenaje-con-barra-autoperforante.html
[13] Imagen disponible en: https://estructurando.net/2015/05/25/como-calcular-anclajes-al-terreno-tipo-dywidag-o-gewi/
[14] Imagen disponible en: https://estudiosassani.com/blog/2019/07/10/estabilidad-de-taludes-y-laderas-con-redes-y-anclajes/



(e) Ejemplo de proteccion de superficie con arvenses[15]

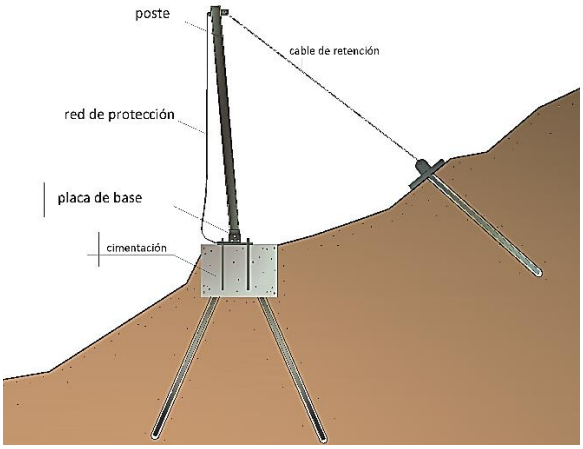
(f) Ejempo de Gaviones [16]





(g) Ejemplo de control de rocas con barreras [17]

[15] Imagen disponible en: https://www.vetiver.org/TVN_manualvetiver_spanish-o.pdf
[16] Imagen disponible en: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/guiasambientales2002/htm/Cap7a/7_7_16.htm
[17] Imagen disponible en: https://help.geostru.eu/georock2d/es/barriere_paramassi.htm



7.2.4. Obras para prevención y control de inundaciones

La prevención de la inundación consiste en la implementación de medidas tendientes a mantener el flujo del agua dentro del cauce del río o reducir al máximo los efectos del aumento del nivel del agua en territorios poblados o actividades productivas ribereñas.

Según García, A. (2007), el nivel del agua marca la gravedad de los daños materiales:

- *Un nivel superior a 0,8 -1 m implica daños totales, mientras que un nivel inferior a 0,3-0,4 m supone unos daños muy reducidos. La velocidad es un buen indicador de los daños, tanto materiales (sobre todo en cultivos) como humanos.*
- *Una velocidad superior a 1 m/s significa un riesgo alto. Por ello es aconsejable añadir a la definición de zona de riesgo alto, la condición de que la velocidad sea superior a 1 m/s.*

Las medidas estructurales deben responder a: a) la reducción del nivel del agua (dragado, limpieza y acondicionamiento de cauces) y, b) reducir la duración del evento (vías de evacuación alternas y en buen estado, obras civiles de drenaje).

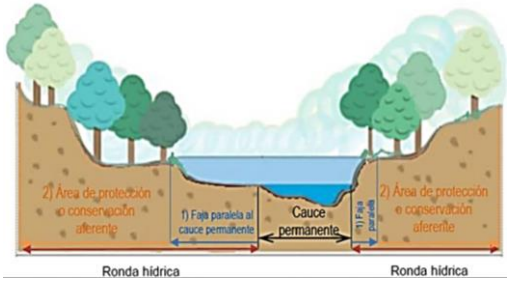
Tabla 7.3. Ficha de caracterización de medidas estructurales para el control de inundaciones

CLASIFICACIÓN	DENOMINACIÓN	FUNCIÓN ESTRUCTURAL
Obras para la prevención y control de las inundaciones	*Ampliación de cauces (a)*	Este tipo de acción permite mejorar las condiciones hidráulicas del cauce, bien sea por el retiro de los sedimentos mediante dragado o por la rectificación de sus márgenes. Se utiliza en áreas de desembocadura, de alta sedimentación o donde la acción del hombre ha alterado la sección del cauce con rellenos u obras de infraestructura.
	Diques (b)	Estas obras ayudan a controlar y contener las crecientes incrementando la capacidad hidráulica del cauce mediante la ampliación de la sección del margen con una barrera de tierra, cumplen la función de contención de la creciente a la vez que disminuyen el efecto erosivo de las corrientes de agua. Pueden ser longitudinales o transversales dependiendo del tipo de movimiento a corregir (flujo super critico o alta sinuosidad).

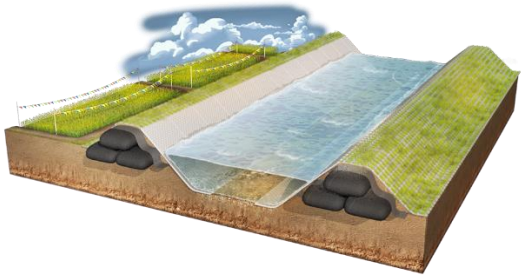
	Muros de retención (c)	Los muros de retención se construyen en sitios donde el espacio disponible es pequeño haciendo inviable la construcción de un dique. Cumplen la función de contener localmente la creciente y proteger la infraestructura urbana o vial.
	Canalización (d)	Las canalizaciones se utilizan especialmente en las zonas urbanas como control de la dinámica de las corrientes o como sistemas de desviación del curso principal, para la evacuación eficiente en caso de caudales extremos. Cumplen la función de proveer condiciones hidráulicas fijas para el tránsito de las corrientes.
	Embalses de regulación o reservorios (e)	Corresponden a presas de tierra o concreto construidas en la parte media o alta de la cuenca. Cumplen la función de captar, regular y contener el caudal evitando la ocurrencia de inundaciones en la parte baja de la cuenca debido a las crecientes. Poco se recomiendan cuando son de gran magnitud por su costo e impactos ambientales negativos.
	Red pluvial o sistemas de desagües (f)	Está comprendida por el sistema de conexión de alcantarillado urbano y cuando aplique, el rural; también lo componen estructuras que permitan en zonas ribereñas el libre movimiento del agua sin obras hidráulicas dirigidas. Su desventaja es la proliferación de vectores.

Fuente: Elaborado a partir de la Guía Ambiental Para Evitar, Corregir y Compensar Los Impactos De Las Acciones De Reducción y Prevención De Riesgos En El Nivel Municipal (2005)

(a) Ejemplo de Ampliación de Cauce permanente [18]



(b) Ejemplo de Diques [19]



(c) Ejemplo de diferentes estructuras tipo muro de contención [20]

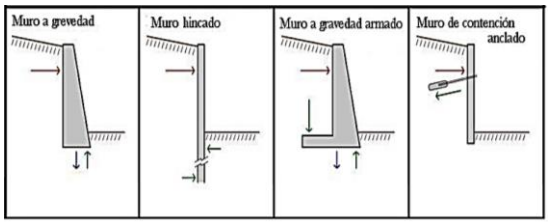
(d) Ejemplo de restauración fluvial implementando canales [21]

[18] Imagen disponible en: https://corpoguajira.gov.co/wp/wp-content/uploads/2021/09/Resoluci%C3%B3n-No.-1352-de-2021.-Autoriza-permio-Ocupaci%C3%B3n-Cauce-canalizaci%C3%B3n-escorrent%C3%ADas-aguas-lluvias.-Alcald%C3%ADa-municipio-Villanueva.-ENT-3186-de-2021.-Exp.-No.-178-de-2021.pdf

[19] Imagen disponible en: https://www.geoace.com/es/app/Protecci%C3%B3n-de-Riberas-y-Canales/Diques

[20] Imagen disponible en: https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/9927/CristanchoGarciaWilliamArmando2013.pdf?sequence=2&isAllowed=y

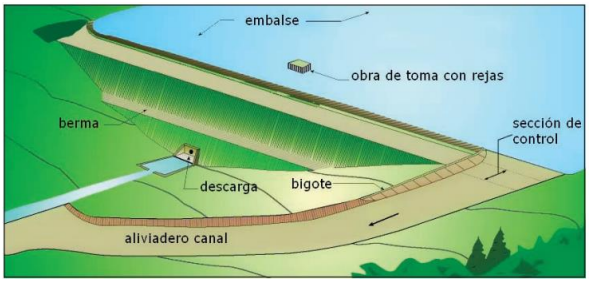
[21] Imagen disponible en: https://www.comunidadism.es/restauracion-fluvial-para-la-mitigacion-de-los-efectos-de-inundaciones/



(e) Ejemplo de un embalse [22]



(f) Ejemplo de Estuario [23]



Zonas Ribereñas



7.2.5. Obras para el Control de avenidas torrenciales

Las obras destinadas a la corrección y estabilización de cauces, están dirigidas a la regulación y control, total o parcial, de los efectos de la dinámica de los caudales sobre los lechos y márgenes como erosión, transporte de material y sedimentación, evitando la incorporación de caudales sólidos a la corriente (DNP, 2005).

Tabla 7.4. Ficha de caracterización de medidas estructurales para el control de avenidas torrenciales

CLASIFICACIÓN	DENOMINACIÓN	FUNCIÓN ESTRUCTURAL
Obras para el control de las avenidas torrenciales	*Obras Transversales (a)*	Se efectúan en condiciones donde el perfil del cauce presenta transporte masivo de materiales. Las funciones principales son: - Control del descenso del fondo del cauce. - Reduce la velocidad de llegada de los sedimentos y disminuye su carga. - Aguas arriba se forman terrazas que elevan el fondo del cauce hasta una pendiente de equilibrio. - Proveen soporte lateral a las márgenes, estabilizándolas.
	Obras Longitudinales (b)	Elimina o controla el aporte de materiales al cauce.

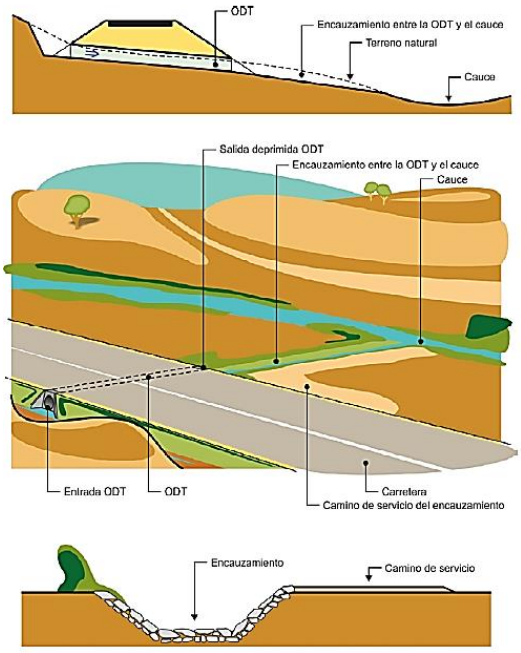
[22] Imagen disponible en: http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Manual%20Pequenas%20Presas%20V1-v1_01.pdf
[23] Imagen disponible en: https://www.ecoticias.com/sostenibilidad/184674_extraordinario-estuario-Guadalquivir-ser-referente-desarrollo-sostenible

	Reforestación y protección de la cuenca (c)	Los drenajes requieren un programa de mejoramiento y ampliación de la cobertura vegetal a fin de reducir los problemas de erosión causada por la escorrentía y ara proteger los cuerpos de agua que son atravesados por la vía.

Fuente: Elaborado a partir de la Guía Ambiental Para Evitar, Corregir y Compensar Los Impactos De Las Acciones De Reducción Y Prevención De Riesgos En El Nivel Municipal (2005)

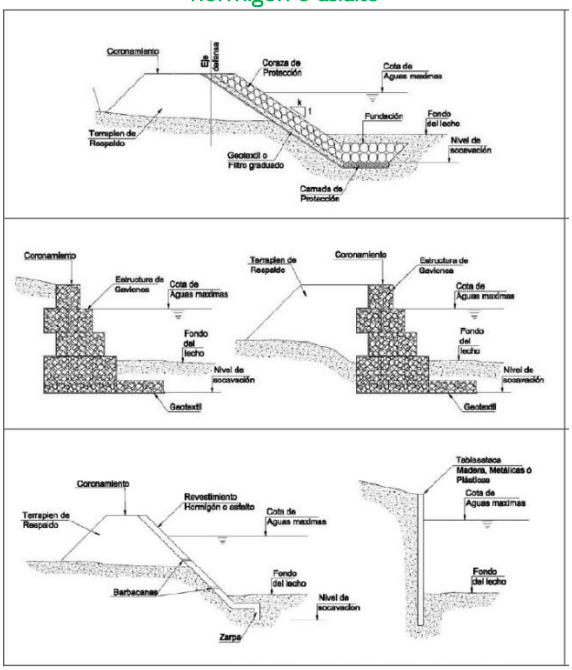
(a) Ejemplo de instalación de una obra transversal en un cuerpo de agua susceptible a creciente súbita [24]

Carretera sobre box culvert y drenajes transversales con revestimiento



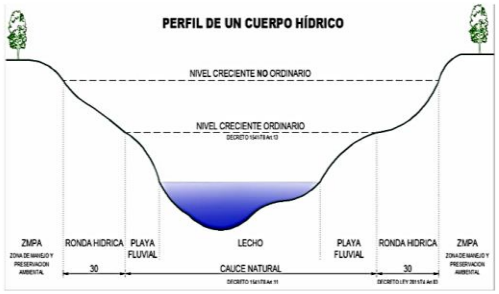
(b) Ejemplos de obras de defensa fluvial utilizando diferentes revestimientos para canales naturales o adecuaciones [25]

Enrocados, gaviones e impermeabilización con hormigón o asfalto



[24] Imagen disponible en: http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic2016/apartados/4.htm
[25] Imagen disponible en: http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2015/bmfcil736d/doc/bmfcil736d.pdf

(c) Ejemplo de especies vegetales recomendadas para márgenes de ríos y quebradas [26]



Nombre Común	Nombre cientffico/Familia	Habito	Zona
Duraznillo	*Abatia parviflora* *Flacoutiaceae*	Arbusto	Clima frio
Caña Brava	*Arundo donax* *Poaceae*	(Gramínea) Caña	Clima frio
Caña Brava	*Gynerium sagittatum* *Poaceae*	(Gramínea) Hierba	Clima frio
Guadua	*Bambusa guadua* Oaceae	(Gramínea) Caña	Clima frio y templado
Uva de paramo	*Cavendishia cordifolia* Ericaceae	Arbusto	Clima frio y paramo
Gaque	*Clusia multiflora* Clusiaceae	Árbol	Clima frio
Pajonal	*Calamagrstis efusa*	(Gramínea) Hierba	Clima frio y paramo
	Paeceae		
Sangregado	*Croton cupreatus* Euphorbiaceae	Arbusto	Clima templado
Sangregado	*Croton funchianus* *Euphorbiaceae*	Arbusto	Clima frio
Chusque	*Chusquea scadens* *poaceae*	(Gramínea) Caña	Clima frio y paramo
Chusque	*Chusquea tesellata* *poaceae*	(Gramínea) Caña	Paramo y subpáramo
Pino Colombiano	*Decussocarpus rospigliossi* *Podocarpaceae*	Árbol	Clima templado y frio
Tibar	*Escalonia Paniculata* *Escalloniaceae*	Árbol	Clima frio
Caucho	*Ficus sp.* *Moraceae*	Árbol	Clima frio
Guayacán	*Laphoensia speciosa* *Lyttiraceae*	Arbusto	Clima frio y templado
Tuno	*Miconia squamulosa* *Melastomataceae*	Árbol	Clima frio
Gamalote	*Paspalum dilatatum* *Poaceae*	(Gramínea) Hierba	Clima medio
Laurel de cera	*Mirica pubences* *Myricaceae*	Arbusto	Clima frio y subpáramo
Robk	*Quercus umbolti*	Árbol	Clima frio
Sauce	Salix humboltiana Salicaceae	Árbol	Clima templado y frio
Nacedero	Trichanthera gigantea Acanthaceae	Arbusto	Clima templado

7.2.6. Estrategias de prevención de incendios forestales

Se enfoca hacia la prevención del inicio y la propagación del fuego sobre los materiales combustibles por medio del acondicionamiento de las masas forestales; esto se logra haciéndolas más resistentes al avance del incendio, generando áreas de contrafuego o mediante aislamientos entre las áreas boscosas (DNP, 2005).

Tabla 7.5. Ficha de caracterización de medidas estructurales para la prevención de incendios forestales

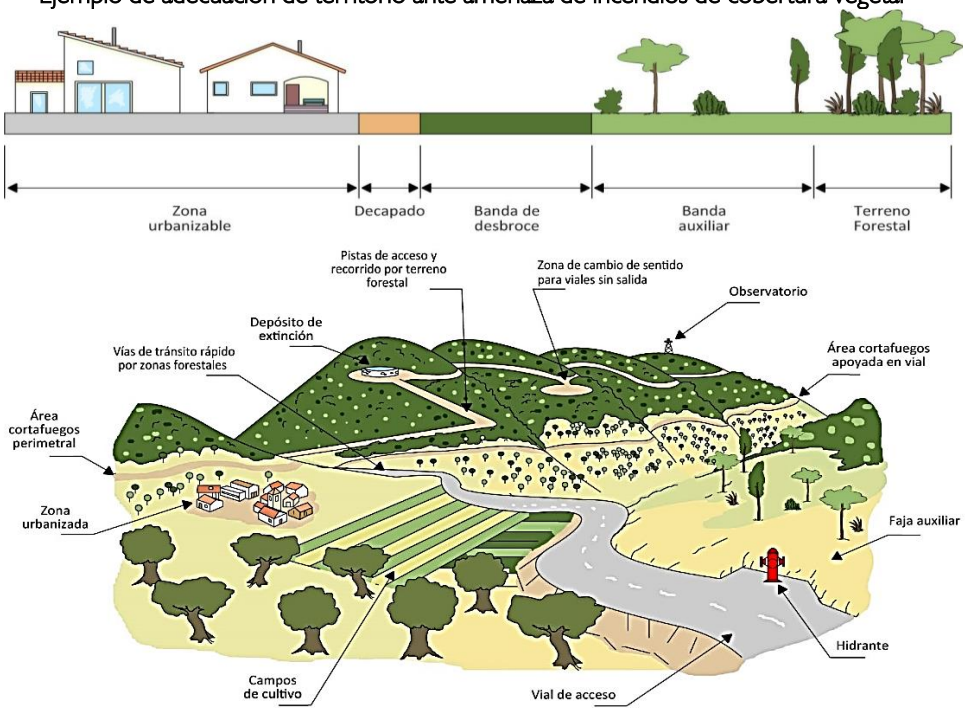
CLASIFICACIÓN	DENOMINACIÓN	FUNCIÓN ESTRUCTURAL
Prevención de los incendios forestales	*Calles o pistas de acceso*	Se construye una red de vías que actúa como contrafuegos y permite la circulación dentro de la masa boscosa, con el fin de garantizar una adecuada movilidad en ellas, su ancho debe permitir la circulación en dos sentidos y cada uno o dos kilómetros deben contar con retornos. Pueden ser: – Perimetrales: Independizan, separando la masa de cultivos, pastizales, basureros, urbanizaciones, etc.

[26] Tomado de "Manual de Impacto Ambiental" de Paredes, Myriam *et. al* (2019)

CLASIFICACIÓN	DENOMINACIÓN	FUNCIÓN ESTRUCTURAL
		– Interior de la masa: se crean a lo largo de vaguadas, divisorias, caminos, etc., adecuando y limpiando la masa en una franja estrecha en esos trazados.
	Puntos de agua o reservorios	Son todos aquellos lugares donde de manera natural o artificial, se almacena agua para su uso posterior en caso de emergencia.
	Zona aislante o de seguridad	Corresponde a franjas aislantes de 25 m de ancho de manera perimetral entre el área habitada y la zona forestal acondicionadas para evitar igniciones y facilitar la intervención de los medios de extinción en caso de necesidad. Es posible, en algunos casos, construir sobre ella caminos o vías que deben permanecer libres de vegetación inflamable.
	Cortafuegos	Es una superficie relativamente ancha en la que la vegetación natural densa y muy inflamable se modifica, para conseguir otra vegetación de menor biomasa o menos inflamable. Cuando se elimina toda la cobertura vegetal se llama faja contrafuegos, que corresponde a una calle estrecha limpia de matorral, que se usa para el acceso en caso de incendio y puede limpiarse rápidamente para apoyar un cortafuego. Está compuesto por[27]: – Faja cortafuegos: Faja de anchura fija que se limpia hasta el suelo mineral. Debe detener el avance del incendio y debe servir como punto de apoyo. – Fajas auxiliares: Faja de anchura fija, a ambos lados de una carretera, en la que se poda el arbolado y se roza el matorral. – Línea de defensa: Fajas estrechas o sendas limpias de matorral, que pueden usarse para el movimiento en el monte.

Fuente: Elaborado a partir de la Guía Ambiental Para Evitar, Corregir y Compensar Los Impactos De Las Acciones De Reducción y Prevención De Riesgos En El Nivel Municipal (2005)

Ejemplo de adecuación de territorio ante amenaza de incendios de cobertura vegetal [28]



[27] Clasificación realizada por el ingeniero Felipe Aguirre Briones en su texto: Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas
[28] Imagen disponible en: https://agroambient.gva.es/es/web/prevencion-de-incendios/infraestructuras-de-prevencion

7.2.7. Obras de reforzamiento estructural ante sismos

Las estrategias de reforzamiento persiguen reducir la susceptibilidad de una estructura a sufrir daño a causa de un sismo y consisten en la implementación de medidas de reforzamiento necesarias para garantizar un nivel de desempeño estructural adecuado (DNP, 2005). Un aspecto importante y crítico en la intervención es la conexión entre nuevos y antiguos elementos por medio de fijaciones, refuerzo activo o pasivo, adhesivos, refiriéndonos a dos escenarios[29]:

- Reparación y reforzamiento de edificios dañados por sismo, o,
- Reparación y reforzamiento de edificios vulnerables a sismo que aún no han experimentado sismos severos

El Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas[30] elaborado por Build Change y Swisscontact (2015), relaciona el nivel de amenaza sísmica, vulnerabilidad y el grado de reforzamiento para muros estructurales, como se presenta a continuación :

[29] Recomendaciones descritas en el manual de *Reforzamiento De Estructuras De Concreto – SIKA Colombia S.A.S.*
[30] Disponible en: https://buildchange.org/app/uploads/2016/04/15-11-05-BC_Manual-de-Evaluacion-y-Reforzamiento.pdf

Figura 7.3. Sistemas estructurales de muros de carga

Sistema de Muros de Carga			R	C_R (1)	Zonas de Amenaza Sísmica					
					Alta		Intermedia		Baja	
	Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			Uso permitido	Altura máxima	Uso permitido	Altura máxima	Uso permitido	Altura máxima
1. Muros estructurales										
VULNERABILIDAD	a. Muros de mampostería no reforzada (MNR)	El mismo	1	0.75	Grupo I	1 piso máximo (2)	Grupo I	2 pisos máximo (2)	Grupo I	2 pisos máximo
	b. Muros de mampostería confinada (MC) (3)	El mismo	2	0.75	Grupo I	2 pisos Máximo	Grupo I	3 pisos máximo	Grupo I	3 pisos máximo
REFORZAMIENTO	c. Muros de mampostería no reforzada o con algunos confinados	El mismo	1	1.0	Grupo I	1 piso máximo (2)	Grupo I	2 pisos máximo (2)	Grupo I	2 pisos máximo
	d. Muros de mampostería confinada (MC)	Muros de mampostería confinados	2	1.0	Grupo I	2 pisos Máximo	Grupo I	3 pisos máximo	Grupo I	3 pisos máximo
	e. Muros de mampostería reforzada externamente (1 cara) (2)	Muros de mampostería no reforzada y algunos reforzados externamente (2)	1	1.0	Grupo I	1 piso máximo	Grupo I	2 pisos máximo	Grupo I	2 pisos máximo
	f. Muros de mampostería reforzada externamente (1 cara) (2)	Muros de mampostería confinados y algunos reforzados externamente (2)	2	1.0	Grupo I	2 pisos Máximo	Grupo I	3 pisos máximo	Grupo I	3 pisos máximo

(1) C_R es Factor de Vulnerabilidad descrito en la Sección A.4. de este manual.
(2) Varía de lo establecido para edificación nueva en NSR-10 para obras nuevas.
(3) Para Muros confinados ver D.10 NSR-10 y para muros diafragma si están totalmente confinados se pueden considerar como muros confinados y si solo lo están parcialmente deben cumplir las condiciones de D.11 NSR-10

Fuente: Build Change y Swisscontact (2015)

Tabla 7.6. Ficha de caracterización de medidas estructurales para el reforzamiento ante susceptibilidad a eventos sísmicos

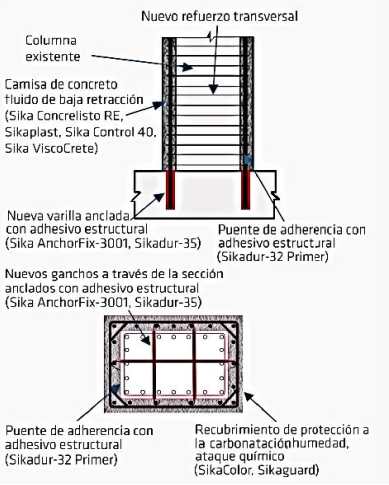
CLASIFICACIÓN	DENOMINACIÓN	FUNCIÓN ESTRUCTURAL
Reforzamiento estructural (Sismos)	*Para estructuras antiguas (a)*	Buscan reducir los impactos o posibles daños que puedan ser ocasionados por la magnitud intensidad de un sismo; consiste en ejecutar obras civiles que fortalezcan los puntos de apoyo logrando un nivel de desempeño estructural adecuado. Esta medidas dan cumplimiento al Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, dispuesto mediante la Ley 400 de 1997 conocido como NSR - 98, que busca que las edificaciones construidas antes de 1997 sean actualizadas a los requerimientos del Código, a partir de un estudio de vulnerabilidad sísmica que defina las obras de reforzamiento estructural requeridas. Son Prioritarios: - Hospitales - Centros educativos - Edificaciones de gran afluencia de público - Líneas vitales (puentes y carreteras elevadas) - Bocatomas - Tanques elevados - PTAR - Presas Cuando se trate de edificaciones declaradas como patrimonio histórico, de conservación arquitectónica o sectores y bienes de interés cultural de carácter nacional, departamental, municipal o distrital, de uno y dos pisos construidas con adobe y tapia pisada, el diseño de su reforzamiento deberá realizarse siguiendo los requisitos de la Norma AIS-610-EP-2017 "Evaluación e

CLASIFICACIÓN	DENOMINACIÓN	FUNCIÓN ESTRUCTURAL
		intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada" con el fin de garantizar un nivel de seguridad sísmica equivalente al que el Reglamento exige a una edificación nueva.
	Para estructuras nuevas (b)	Se aplican todos las características descritas en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y sus modificaciones: - Decreto 2525 del 13 de julio de 2010 - Decreto 0092 del 17 de enero de 2012 - Decreto 0340 del 13 de febrero de 2012 - Decreto 0945 del 05 de junio de 2017 - Decreto 2113 del 25 de noviembre de 2019

Fuente: Elaborado a partir de la Guía Ambiental Para Evitar, Corregir y Compensar Los Impactos De Las Acciones De Reducción y Prevención De Riesgos En El Nivel Municipal (2005)

(a) Ejemplo de Encamisado en concreto reforzado para columnas principales

Columnas

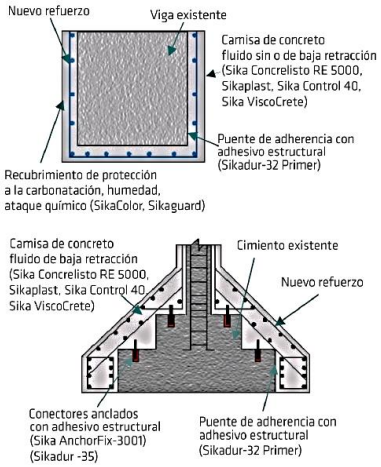


(a) Ejemplo de reforzamiento con platinas, laminas y ángulos de acero

Techos

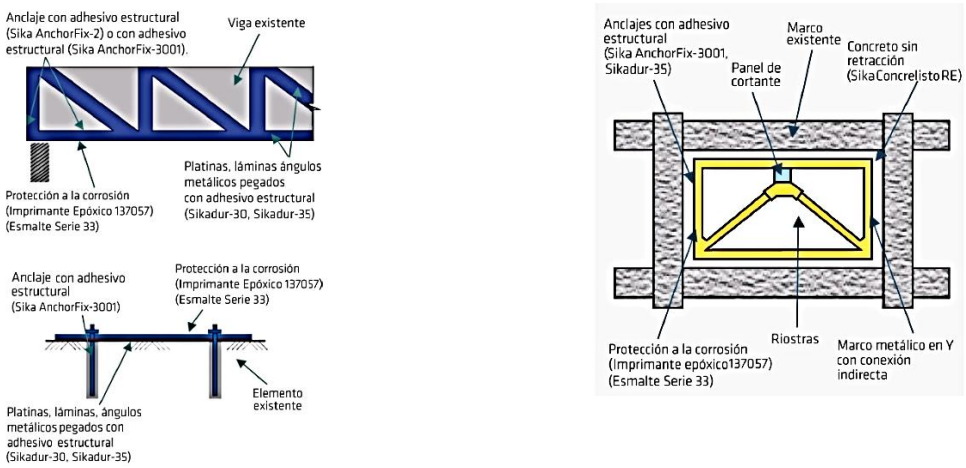
(a) Ejemplo de Encamisado en concreto para una viga de cimentación

Cualquier estructura que tenga anclaje o zapata



(a) Ejemplo de reforzamiento sísmico con marcos estructurales arriostrados dúctiles de acero con conexión indirecta

Puentes



(b) Ejemplo de estructuras antisísmicas

Casos o edificios



Fuente: Elaborado a partir de documento *Reforzamiento De Estructuras De Concreto* SIKA (2017).

7.2.8. Consideraciones finales orientadas a la toma de decisiones

- Se deben identificar acciones en el presente pero que incidan de manera positiva para evitar o reducir el "impacto futuro" ante posibles materializaciones de condiciones de riesgo, es decir se considera una intervención de tipo prospectiva, las respuesta deberían estar tendientes a visibilizar posibles acciones asociadas a la planificación territorial y/o el desarrollo, incluso acciones como la formulación e implementación de los procesos de conocimiento y/o reducción del riesgo esto en el marco de la posible formulación de un Plan de Gestión del Riesgo de Desastres.
- En la medida los procesos de ocupación del territorio deberían estar antecedidos por instrumentos de Planificación Territorial, que permitan tomar decisiones con un cierto nivel de certeza a partir del conocimiento técnico de las realidades físicas, sociales, culturales y ambientales del territorio, en el proyecto a ser gestionado ante diferentes fuentes de financiación, con el fin de garantizar un desarrollo seguro, se considera necesario incluir elementos que permitan en primera instancia reconocer las principales amenazas del municipio

(naturales, climáticas, de salud pública, entre otras) logrando zonificaciones a escalas adecuadas; los análisis de vulnerabilidad también habrán de ser tenidos en cuenta en la medida estos a portan al reconocimiento de los elementos ya expuestos en términos de infraestructura vial, de acueducto, alcantarillado y demás elementos complementarios que posibilitaran un buen y adecuado ejercicio de expansión urbana.

- Aplicar la directriz de la UNESCO (2011), donde manifiesta que la comunicación debe primar un enlace entre la población y los entes científicos e instituciones públicas y privadas que se encargan de la gestión del riesgo, permitiendo que se elimine la improvisación buscando garantizar un esfuerzo permanente y organizado ya sea en un evento catastrófico o en campañas de formación de voluntariado.

8. BIBLIOGRAFÍA

Bai, Z., Dent, D. Olsson, M. y Schaepman, E. (2008), Proxy global assessment of land degradation. Disponible en: https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2008.00169.x

Buitrago, J. (2011). Desarrollo De Un Modelo De Visualización De Erosión Hídrica En El Municipio De Samacá (Boyacá). Estudio De Caso [Tesis de maestría, Universidad Nacional]. Repositorio Institucional UNAL. https://repositorio.unal.edu.co/.

Cantillo, G. González, K. (2016). Estrategias Para La Reducción Del Riesgo De Erosión. Microcuenca Quebrada-Negra, Vereda Piluma, Municipio De Sasaima Cundinamarca [Tesis pregrado Universidad Distrital]. Repositorio Institucional U Distrital. https://repository.udistrital.edu.co/

Castiblanco, D. (2011). Evaluación de Amenaza por Deslizamiento con Base en Mapas de Geología y Geomorfología. Disponible en: https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/1786

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 2008. Ejercicio II: EROSION DE SUELOS UTILIZANDO LA EUPSR (RUSLE). Ejercicio II: EROSION DE SUELOS UTILIZANDO LA EUPSR (RUSLE). https://www.yumpu.com/es/document/view/23103541/ejercicio-ii-erosion-de-suelos-utilizando-la-eupsr-catie.

CORPOBOYACA (2020). ABC Lo que debes saber sobre los movimientos en masa. Disponible en: https://www.corpoboyaca.gov.co/noticias/abc-lo-que-debes-saber-sobre-los-movimientos-en-masa/#:~:text=Las%20ca%C3%ADdas%2C%20tambi%C3%A9n%20llamadas%20desprendimientos,que%20ocurren%20de%20manera%20r%C3%A1pida.

Correa, D. (2015). Indicadores de riesgo de desertificación en zonas del Valle del Cauca (Colombia). Doctorado en Ciencias Agrarias. Disponible en: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/54044

Duque, G. (2017). Manual de geología para ingenieros, capitulo 16 movimientos masales. Disponible en; https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CKc2PReITpcJ:https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3145/movimientosmasales.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co

DNP (2019). Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades. Bogotá D.C., Colombia. 163 págs.

Emanuelli, P., Milla, F., Duarte, E., Torrealba, J., Garrido, C., Colmenares, M., Orellana, O., y López, S. (2016), Convención De Naciones Unidas De Lucha Contra La Desertificación (CNULD) - Alineación De Los Contenidos Del Actual PANCD con la estrategia decenal de la Convención (CNULD), La Iniciativa De Degradación Neutral De La Tierra Y Los Objetivos Del Desarrollo Sostenible. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/312138970_Convencion_de_Naciones_Unidas_de_Lucha_contra_la_Desertificacion_CNULD

Fernández, C y Da Silva, M. (2021). Análisis Comparativo En La Implementación De Matrices Para Priorización De Riesgos En El Municipio De Pereira, Colombia. Revista AIDIS, Vol. 14, No.3, págs. 1228-1243. Doi: http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.3.76443

Flórez, A. y Suavita, M. (1997), Génesis y Manifestación De Las Inundaciones En Colombia. Cuadernos de Geografía, Vol VI, No. 1-2. 110 págs.

Garay Romero, Ingrid Carolina; Cabero Diéguez, Valentín (2013), El aspecto social de la desertificación: Análisis de la percepción de la administración pública en Centro América. Revista Gestión y Ambiente, vol. 16, núm. 2, agosto-, 2013, pp. 37-48 Universidad Nacional de Colombia - Medellín, Colombia

García, J. 2011. TEMA 17 Modelos paramétricos. Modelo U.S.L.E. y modelo R.U.S.L.E. https://docplayer.es/92057918-Tema-17-modelos-parametricos-modelo-u-s-l-e-y-modelo-r-u-s-l-e.html.

GFDRR y Banco Mundial (2012). Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas –Bogotá, Colombia: Banco Mundial. 436 págs.

IDEAM (2011), Protocolo Para La Identificación Y Evaluación De Los Procesos De Degradación De Suelos Y Tierras Por Desertificación. 152 págs.

Jiménez, F (2001), Apuntes módulo de enseñanza agroforestal CATIE/GTZ. Disponible en: https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8295

Mancilla, G. 2008. Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120400/Apuntes_docentes_USLE.pdf.

Martínez, J., Guirado, E., y Maestre, F. (2021), ¿Se puede cartografiar la desertificación? Luces y sombras de una tarea desafiante. Revista Ecosistemas Vol. 30 (3), https://doi.org/10.7818/ECOS.2211

MINMINAS y Servicios Geológico Colombiano (2017). Clasificación De Movimientos En Masa Y Su Distribución En Terrenos Geológicos De Colombia. 190 págs.

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018), Guía metodológica para la formulación de los planes de manejo ambiental de microcuencas – PMAM. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/GU%C3%8DA%20PMA%20de%20Microcuenca%20(00000002).pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014). Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas / Coordinador: Pineda González, Claudia Patricia; autores: Olaya Ospina, Edgar; Tosse Luna, Oscar Darío … [et. ál.]. -- Bogotá, D.C.: Colombia. 115 p.: + 2 anexos: "Anexo A Diagnóstico"; "Anexo B Gestión del riesgo".

MINAMBIENTE (2014) Anexo B Gestión del Riesgo - Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Dirección de gestión integral de recurso hídrico. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/GUIA_DE_POMCAS.pdf

MINAMBIENTE, MINACIENDA y Fondo de Adaptación (2014). Protocolo Para La Incorporación De La Gestión Del Riesgo En Los Planes De Ordenación Y Manejo De Cuencas Hidrográficas. 122 págs.

Montes, C., & Sala, O. (2008). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. Disponible en https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/120

Naciones Unidas - Convención de Lucha contra la Desertificación (2017). Perspectiva global de la tierra, primera edición Bonn, Alemania. ISBN: 978-92-95110-52-6 e ISBN: 978-92-95110-51-9. Disponible en: https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/GLO_Full_Report_low_res_Spanish.pdf

Ospina, J. y Aristizábal, E. (2021). Aplicación de inteligencia artificial y técnicas de aprendizaje automático para la evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 38 núm. 1 2021 págs. 43-54. DOI: http://dx.doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2021.1.1605

Pérez, S. J. (2001). Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando sistemas de información geográfica [Tesis de especialización, UIS]. Repositorio Institucional UIS. http://tangara.uis.edu.co/.

Posada, A., Salamanca, J., y Gantiva, D. (2020). Metodología para relacionar la planeación territorial con el proceso de desertificación. Una aplicación en Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 23(1):e1486. http://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1486

Ruiz, T.; Febles, G. (2004), La desertificación y la sequía en el mundo. Revista Avances en Investigación Agropecuaria, vol. 8, núm. 2, junio, 2004 Universidad de Colima - Colima, México. Págs. 1-11.

SEMARNAT (2012), Informe de la situación del medio ambiente en México, compendio de estadísticas ambientales indicadores clave de desempeño ambiental 2012. Disponible en: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/03_suelos/cap3_3.html#inicio

Sociedad Geológica del Perú (2019). Diccionario geológico – movimientos en masa. Disponible en: https://www.sgp.org.pe/diccionario-geologico-movimientos-de-masa/

UNGRD (2020). Plan Nacional De Gestión Del Riesgo De Desastres 2015-2025 Noveno Informe De Seguimiento Y Evaluación agosto 24 De 2020. 274 págs.

Velásquez, G, A. (2019). Proyecto De Aplicación En Temas De Ingeniería Civil. Diagnóstico De La Pérdida De Suelo En El Municipio De Quetame, Mediante La Correlación De Los Grados De Erosión Y Los Agentes Que Intervienen Este Proceso [Tesis pregrado Universidad Santo Tomas]. Repositorio Institucional USTA. https://repository.usta.edu.co/handle/11634/13.

Winckler, P., *et al* (2015). Evaluación de riesgos de infraestructura costera en un contexto de cambio climático. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/287218556_Evaluacion_de_riesgos_de_infraestructura_costera_en_un_contexto_de_cambio_climatico

Carrera 51B N° 82 - 254, Piso 2, Oficina 26, C.C. Bahía,
Barranquilla D.E.I.P.
Tel: 300 687 07 40
Correo electrónico: yaguilga@ecocialt.com