

	<p align="center">Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE)</p>	
	<p align="center">“Desarrollo de Escenarios por inestabilidad de laderas en sitios específicos en las Cuenca del Río Pirrís y Savegre.”</p> 	
<p align="center">Licitación No 2020CD-000005-0006500001</p>	<p align="right">Informe Final (versión I)</p>	
	<p align="right">Versión: 06 de octubre de 2020</p>	
<p>Realizado por:</p> <p>Ing. Javier Saborío Bejarano (IC2993) Geól. Gerardo J. Soto Geól. Dr. Sergio Mora Personal asociado a SGSA</p>		

Índice General

Índice de Figuras.....	5
Índice de Cuadros.....	9
Índice Figuras Anexo 1.....	9
Índice de Cuadros del Anexo 1.....	10
Índice Figuras Anexo 2.....	11
Índice de Cuadros del Anexo 2.....	12
Índice Figuras Anexo 3.....	12
Presentación.....	13
1. Introducción.....	15
2. Objetivo general.....	17
3. Objetivos específicos.....	18
4. Metodología.....	21
4.1 Caracterización del riesgo.....	23
4.2 Metodología para el análisis de la amenaza de la inestabilidad de laderas.....	23
4.3 Amenaza de la inestabilidad de laderas.....	23
4.4 Factores de la amenaza.....	25
5. Descripción del área de estudio de Copey-Santa María, ampliada por la modelación.....	26
6. Caracterización biofísica del área de Copey Santa María.....	30
6.1. Orografía.....	30
6.2. Pendientes.....	31
6.3. Delimitación de las cuencas y subcuencas hidrográficas.....	33
6.4. Zonas de vida.....	35
6.5. Aspectos climatológicos.....	36
6.6. Análisis de la capacidad de uso de la tierra.....	38
6.7. Uso – cobertura de la tierra.....	39
6.8. Uso actual de la tierra, capacidad de uso, conflictos del uso.....	40
6.9. Áreas Silvestres Protegidas (ASP).....	42
6.10. Geología.....	43
6.10.1. Copey de Dota y alrededores.....	43
6.10.1.1. Formación La Cruz (Grupo Aguacate) (Mlc-ab, andesitas y basaltos, piroclastos, alterados, Mioceno Inferior).....	45
6.10.1.2. Formación Pacacua (Mpc-ar, areniscas, lutitas, brechas y conglomerados violetas hasta verduscos, Mioceno Inferior).....	46
6.10.1.3. Formación Peña Negra (Mpn-In, lutitas y areniscas oscuras, Mioceno Medio).....	47
6.10.1.4. Intrusivo de Talamanca (Mit-gr, granitoides varios, Mioceno Superior).....	49
6.10.1.5. Formación Grifo Alto (Grupo Aguacate) (Nga-v, lavas, tobas y brechas volcánicas, Mioceno Superior - Plioceno).....	50
6.10.1.6. Aluviones (Pleistoceno Superior – Holoceno) (alQ).....	52
6.10.1.7. Depósitos de deslizamiento y coluvios (Cuaternario) (dQ, col).....	52
6.10.1.8. Tectónica y estructuras del área.....	54
6.10.1.9. El deslizamiento de quebrada Escuadra – río Blanco.....	55
7. Análisis de la amenaza de la inestabilidad de laderas.....	60
7.1 Inestabilidad de laderas.....	60
8. Volumen del deslizamiento de la Quebrada Escuadra.....	63
9. Caracterización de la amenaza de la generación de un alud torrencial generado por un posible represamiento formado por el deslizamiento de la quebrada Escuadra.....	67
9.1 Distribución temporal de la lluvia.....	67
9.2 Análisis de las precipitaciones diarias máximas.....	68
9.3 Efecto de El Niño-La Niña/Oscilación del Sur.....	69

10. Análisis de la inundación y alud torrencial en Copey, producto de efecto combinado de las amenazas analizadas	70
10.1 Cálculo de caudales máximos al sitio de presa en Quebrada Escuadra	73
10.1.1 Método de Creager	73
10.1.2 Método del hidrograma unitario del USC	75
10.1.3 Método del traslado de la información, por área	77
11. Análisis del alud torrencial e inundaciones generados por el rompimiento de la represa efímera (confluencia de la quebrada Escuadra con el río Pirrís)	81
12. Caracterización biofísica del área de Savegre	103
12.1 Orografía.....	103
12.2 Pendientes.....	103
12.3. Cuencas hidrográficas derivadas	106
12.4. Zonas de vida.....	108
12.5 Aspectos climatológicos en el área de San Isidro-Savegre	109
12.6 Análisis de la capacidad de uso de la tierra en área de San Isidro de Savegre.....	112
12.7. Uso – cobertura de la tierra en área de San Isidro de Savegre	112
12.8 Uso actual de la tierra y capacidad de uso, conflictos del uso.	116
12.9. Áreas Silvestres Protegidas (ASP)	118
12.10. Marco geológico en la fregión de San Isidro de Dota-Savegre y sus alrededores.....	120
12.10.1 Formación Fila de Cal (Efc-ca, calizas someras, Eoceno Superior (algunos parches se consideran de la Fm. Punta Pelada, del Oligoceno Superior)	122
12.10.2 Formación Térraba (OMte-ar, areniscas, lutitas, brechas y conglomerados grises, Oligoceno-Mioceno; Mte-br, brechas, conglomerados y areniscas oscuras, parte superior, Mioceno)	124
12.10.3 Formación Curré (Mcu-ar, areniscas y lutitas fosilíferas someras, Mioceno)	126
12.10.4. Aluviones (Q-al, Pleistoceno Superior – Holoceno).....	126
12.10.5. Depósitos de deslizamiento y coluvios (Q-dcol, Cuaternario).....	127
12.10.6 Tectónica y estructuras del área	130
12.10.8 El deslizamiento de río Blanco, San Isidro de Dota	131
13. Análisis de la amenaza de la inestabilidad de laderas en San Isidro de Savegre.....	138
13.1 Inestabilidad de laderas final.....	138
13.2 Volumen del deslizamiento en San Isidro de Savegre	141
15. Exposición-vulnerabilidad.....	144
15.1 Vulnerabilidad con límites administrativo – políticos y/o censos.	144
15.2 Vulnerabilidad	147
15.3 Inventario de detalle	154
16. Caracterización de la vulnerabilidad y medidas de intervención. Establecimiento de una línea de base	155
16.1 Apoyo a la zonificación territorial en Copey – Santa María y de San Isidro - Savegre.....	155
16.2 Estrategia de intervención en ambas áreas.....	159
16.2.1 Copey-Santa María.	159
16.2.2 San Isidro de Savegre.....	161
17. Inventario de las principales organizaciones sociales	163
18. Sistema integrado de información para la observación, alerta, alarma, advertencia y respuesta temprana (SOAAAR) ante la amenaza de la inestabilidad de laderas.....	165
18.1 Ideas básicas para el establecimiento del sistema SOAAAR, para enfrentar las emergencias derivadas de la inestabilidad de laderas.	165
18.2. Participación de la comunidad en el sistema SOAAAR.....	166
18.3 Consideraciones al someter un SOAAAR para la comunidad de Copey-Santa María y en San Isidro de Savegre	166
18.4 Lineamientos (medidas estructurales y no estructurales).	168
19. Conclusiones.....	171
20. Referencias	173

Anexo 1- inestabilidad de laderas en Copey-Santa María.....	176
A1.1 Amenaza de la inestabilidad de laderas en Copey-Santa María	176
A1.1.1 Factor de susceptibilidad por la pendiente del terreno.....	176
A1.1.2 Factor de susceptibilidad, obtenido por el índice del relieve relativo (Sr).....	179
A1.1.3 Factor litológico (SI).....	183
A1.1.4 Factor de humedad (SH)	188
A1.1.5 Susceptibilidad (SUC) a la inestabilidad de laderas.....	190
A1.1.6 Factor de disparo por influencia de la acción de la sismicidad intensa (Ds)	191
A1.1.7 Factor de disparo por influencia de la intensidad de las lluvias (Dp)	195
A1.1.8 Factores de disparo	197
A1.1.9 Amenaza de la inestabilidad de laderas	199
Anexo 2 - Inestabilidades de laderas en San Isidro de Savegre.....	203
A2.1 Amenaza de la inestabilidad de laderas en San Isidro de Savegre.....	203
A2.1.1 Factor de susceptibilidad según el factor de la pendiente del terreno.....	203
A2.1.2 Factor de susceptibilidad por relieve relativo (Sr)	207
A2.1.3 Factor litológico (SI).....	211
A2.1.4 Factor de humedad (SH)	217
A2.1.5 Susceptibilidad a la inestabilidad de laderas.....	220
A2.1.6 Factor de disparo por influencia de la acción de la sismicidad intensa (Ds)	221
A2.1.7 Factor de disparo derivado de la influencia de la intensidad de las lluvias (Dp).....	225
A2.1.8 Factores de disparo	228
A2.1.9 Amenaza de la inestabilidad de laderas	231
Anexo 3 Modelaciones de las inundaciones por rompimiento del represamiento, para diferentes períodos de retorno	234
Anexo 4 – Ficha para colecta de información.....	240
Anexo 5. Inventario de infraestructura en el sitio de Quebrada Escuadra, se entrega con la BD geo referenciado con mayor información.....	241
Anexo 6. Listado de sitios infraestructura visitada en San Isidro de Savegre, se entrega con la BD geo referenciado con mayor información.....	242
Anexo 7- SOAAARCO	244
Anexo 8 – Procesos de inestabilidad de laderas.....	258

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema del proceso Mora & Vahrson	25
Figura 2. Ubicación de las áreas analizadas en el cantón de Dota	27
Figura 3. Ubicación del área en la parte alta del río Pirrís.....	28
Figura 4. Área de análisis deslizamiento San Isidro - parte alta río Savegre.....	29
Figura 5. Modelo de. Elevación digital del área de análisis en Copey-Dota	30
Figura 6. Tipos de relieve y convención de nomenclatura, según Decreto Ejecutivo № 41860 MAG-MINAE. 31	
Figura 7. Relieve relativo en el área de análisis de Copey - Dota	32
Figura 8. Subcuencas definidas utilizando el MED de 2 metros de pixel.	34
Figura 9. Zonas de vida en el área de interés	35
Figura 10. Precipitación promedio anual en la cuenca alta del río Pirrís.	36
Figura 11. Temperatura promedio anual en el área de interés.....	37
Figura 12. Capacidad de uso de la tierra en el área de Copey-Santa María	38
Figura 13. Uso - cobertura de la tierra en el área de Copey-Santa María	39
Figura 14. Divergencia de uso de la tierra para en el área de Copey-Santa María	41
Figura 15. Áreas silvestres protegidas en el área de análisis de Copey – Santa María	42
Figura 16. Geología en el área de Copey – Santa María.....	43
Figura 17. Mapa geológico del área estudiada, en la periferia de Copey –Santa María de Dota.....	44
Figura 18. Rocas de la Formación La Cruz. A y B: Lavas lajeadas al noroeste del área cartografiada.	46
Figura 19. Rocas de la Formación Pacacua. A y B: Roca volcániclaística gris, poco fracturada, en estratos decimétrico a pluri-decimétricos. C y D: Rocas tobáceas y volcániclaísticas, general y en detalle macroscópico de la brechilla con gradación normal, fuertemente basculada. Hay además areniscas volcániclaísticas de medias a muy gruesas, color gris, con litoclastos y abundantes cristales.	47
Figura 20. Lutitas y areniscas finas oscuras de la Formación Peña Negra. A: Frescas en un pequeña quebrada. B: Un detalle de la roca, con sus laminaciones. C y D: Detalles de afloramientos de la roca meteorizada, de colores pardos y tendencias a un desmoronamiento en fragmentos centimétricos, deleznales.	48
Figura 21. Rocas del Intrusivo de Talamanca. A y B: Bloques decimétricos a métricos residuales que aparecen en afloramientos parcialmente meteorizados y arenitizados en la carretera entre Copey y Santa María. C: Según sus características macroscópicas (roca porfirítica) son de composición andesítica. En B se compara con la Ignimbrita Peñas Blancas. C y D: Vistas macroscópicas de la roca. C, de grano medio, y D de grano grueso con enclaves. E: Río Pirrís entre Copey y Santa María, donde discurre sobre las rocas plutónicas en un tramos encañonado. Vista hacia aguas arriba.....	49
Figura 22. Sector al norte del río Pirrís (margen derecha), en donde aflora la Fm. Grifo Alto, y forman colinas abruptas, suavizadas por la erosión (A, B). C: Camino ligeramente al este de quebrada Escuadra, donde afloran lavas andesíticas muy meteorizadas. D y E: Lavas porfiríticas y brechas, respectivamente, de la Fm. Grifo Alto, en bloques sanos en aluvión del río Pirrís.....	51
Figura 23. Depósitos aluviales en la periferia de Copey de Dota. A: Río Pirrís, al este de Copey, viendo aguas arriba. B: Este de Copey, en el puente sobre el río Pirrís, viendo aguas abajo. C: Río Pedregoso, cerca de la intersección con el río Pirrís, viendo aguas arriba, hacia el cerro Vueltas.	53
Figura 24. A: Vista panorámica de la zona del deslizamiento desde el SSW. B: Detalles del sector más occidental del deslizamiento, visto desde el sur. En ambas, el río Pirrís muestra su dirección de flujo a través de la flecha.	55
Figura 25. Interpretación en vista oblicua a partir de la imagen de <i>Google Earth</i> , del deslizamiento de quebrada Escuadra – río Blanco.	56
Figura 26. Interpretación en planta y detalle de un sector hacia la zona de falla, a partir de la imagen de <i>Google Earth</i> , del deslizamiento de quebrada Escuadra – río Blanco.....	57
Figura 27. Cartografía de los detalles de las áreas de deslizamiento (izquierda) y la integración con las unidades geológicas y estructurales (derecha), que muestran asimismo, las líneas de perfil geológico.	58

Figura 28. A: Esquema generalizado del área del deslizamiento de quebrada Escuadra – río Blanco (en amarillo el sector orienta; en rojo, el occidental) y áreas con inestabilidad de laderas en celeste. Se muestran las áreas asociadas con procesos de geodinámica externa, de manera esquemática.	58
Figura 29. Interpretación de los perfiles indicados en la Figura 26.	59
Figura 30. Amenaza de la inestabilidad de laderas en el área de Copey – Santa María	61
Figura 31. Inestabilidad de laderas, expresada en 3 niveles, para el área de Copey-Santa María.....	62
Figura 32. Ubicación y espesores estimados del deslizamiento principal en el sitio de Quebrada Escuadra ..	63
Figura 33. Espesor aproximado del deslizamiento	64
Figura 34. Volumen, por celda aproximada, del deslizamiento en la Quebrada Escuadra	65
Figura 35. Distribución pentadal promedio en la estación Tabacales	68
Figura 36. Cuenca y subcuencas de drenaje al punto de taponamiento.....	70
Figura 37. Áreas de inundación para diferentes alturas del terraplén o presa	71
Figura 38. Función de volumen para diferentes alturas de la presa efímera, en la confluencia de la quebrada Escuadra y el río Pirrís.	73
Figura 39. Valores C para diferentes períodos de recurrencia	74
Figura 40. Hidrograma unitario del SCS, para PR=100 años, cuenca aguas arriba de la presa efímera.	76
Figura 41. Perfil de las estaciones ubicadas en la cuenca de los ríos Parrita y Pirrís.....	77
Figura 42. Avenida seleccionada para la simulación de la inundación y el alud torrencial.	78
Figura 43. Avenidas seleccionadas para simular los caudales en el sitio de presa efímera	80
Figura 44. Componentes del análisis hidrológico-hidráulico del modelo.....	81
Figura 45. Modelo de celdas para los cálculos del volumen de descarga.	82
Figura 46. Modelo de elevación digital utilizado en la construcción de escenarios de ruptura de la presa efímera en la confluencia de la quebrada Escuadra con el río Pirrís.....	84
Figura 47. Uso de la tierra, en la cuenca alta- media del río Pirrís.	85
Figura 48. Valores de coeficiente de “Manning”, en la cuenca alta- media del río Pirrís.	86
Figura 49 Niveles de inundación alcanzados para el evento de $Tr=100$ años, derivados del alud torrencial causado por el posible rompimiento de una presa efímera que pudiese formarse en la confluencia de la Quebrada Escuadra y el río Pirrís.	87
Figura 50. Velocidades del flujo del alud torrencial, para un período de recurrencia de $Tr=100$ años, área alta - media Pirrís.....	88
Figura 51. Inundación causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey de Dota.	91
Figura 51. Velocidad del flujo causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey	92
Figura 53. Inundación causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre Copey y Santa María de Dota.....	93
Figura 54. Velocidad del flujo causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey.....	94
Figura 55. Inundación causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de $Tr=100$ años en Santa María Dota.....	95
Figura 56. Velocidad del flujo causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey	96
Figura 57. Inundación causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de $Tr=100$ años en Santa María Dota.....	97
Figura 58. Velocidad del flujo causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey.....	98
Figura 59. Inundación para un período de recurrencia de 100 años en el tramo entre San Marcos de Tarrazú y el embalse de la planta hidroeléctrica Pirrís.....	99
Figura 60. Velocidad del flujo causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey	100

Figura 61. Inundación para un período de recurrencia de 100 años en el tramo entre San Marcos de Tarrazú y el embalse de la planta hidroeléctrica Pirrís.....	101
Figura 62. Velocidad del flujo causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey.....	102
Figura 63. Tipos de relieve y convención de nomenclatura según Decreto Ejecutivo № 41860 MAG-MINAE	103
Figura 64. Relieve en área de análisis local, San Isidro de Savegre	104
Figura 65. Tipos de relieve según Decreto Ejecutivo № 41860 MAG-MINAE, en el área de análisis local, San Isidro de Savegre	105
Figura 66. Subcuencas de las quebradas en el área de San Isidro de Savegre I.	107
Figura 67. Zonas de vida en el área de San Isidro de Savegre	108
Figura 68. Precipitación promedio anual en el área de San Isidro de Savegre.....	110
Figura 69. Temperatura promedio anual en el área de San Isidro de Savegre	111
Figura 70. Capacidad de uso de la tierra en el área de San Isidro de Savegre	113
Figura 71. Capacidad de uso de la tierra, corregida por el parámetro de las pendientes, en el área de San Isidro de Savegre	114
Figura 72. Uso de la tierra en el área de San Isidro de Savegre	115
Figura 73. Divergencia del uso de la tierra en el área de San Isidro de Savegre	117
Figura 74. Áreas silvestres protegidas en el área de análisis de San Isidro de Savegre	119
Figura 75. Geología del área de San Isidro de Dota y alrededores.....	121
Figura 76. Calizas de la Formación Fila de Cal Eoceno Superior. A: En las cuevas de Damas, margen izquierda del río Damas. B: Bloques abundantes de calizas en flujo de detritos al oeste de San Isidro de Dota en 465583E-382617N. C y D: Calizas aflorantes en la pared superior del deslizamiento de San Isidro, vistas desde la última casa en 466248E-383780N, con una falla cortándolas el frente, dibujada en línea roja a trazos. E: Masivas con estratificación tenue, en quebrada sin nombre cerca de San Isidro de Dota (465148 E – 382750 N, hoja Savegre). F y G: Detalles macroscópicos de las rocas. En F se notan pelotas de algas, restos de equinodermos y macroforaminíferos.....	123
Figura 77. Rocas de la Formación Térraba. A: Areniscas y lutitas relativamente sanas, de la parte inferior de la formación, en la quebrada oeste de San Isidro, en 465583E-382617N. B: Areniscas y lutitas meteorizadas y friables, al oeste de San Isidro, que dan inestabilidad de ladera mediana al buzar contra la pendiente del camino, en 464794E-382548N. C: Deslizamientos menores en margen de quebrada y camino al oeste de San Isidro, donde el buzamiento es oblicuo a la ladera y hay alta fracturación, en 465210E-382620N. D: Brechas verdosas gruesas (clastos cm-dm) cementadas de la parte superior de la formación, en 467325E-382436N. E: Estrías tectónicas en brechas en 467020E-382415N.....	125
Figura 78. Lutitas y areniscas finas a medias, friables, en estratos decimétricos a masivos, someras, de la Formación Curré, cerca del río Savegre. A: Estratos masivos y canales. B: Estratos decimétricos buzando en alto ángulo. C: Estratos masivos muy friables. D: Areniscas fosilíferas.	127
Figura 79. El río Savegre y sus aluviones amplios, visto desde margen izquierda, en el sector suroeste del área cartografiada en la Figura 68.....	128
Figura 80. Depósitos coluviales en la periferia de San Isidro de Dota. A: Corona principal y acantilado principal, así como los lóbulos más altos, y las viviendas a mayor altitud y más cercanas al acantilado (466248E-383780N). B: Área pantanosa y de lagunas efímeras en borde de lóbulos intermedios (465980E-382780N). C: Lóbulos intermedios hacia el borde oeste de los depósitos coluviales. D: Depósitos medio-distales en el borde intermedio este de los lóbulos en 466226E-383153N. E: Depósitos sobre el camino al este de San Isidro, en 467272E-382436N. F: Depósitos proximales en 466312E-383622N. G: Depósitos de flujos de detritos medio-distales en la quebrada cerca del cruce del camino en el borde oeste de San Isidro, en 465583E-382617N. H: Depósitos en el borde occidental en 465427E-382520N, que marca el borde del área de arrastre de flujos de detritos.....	130
Figura 81. Vistas panorámicas de la zona del deslizamiento en San Isidro. A: Valle del deslizamiento que aloja a San Isidro, limitado por dos valles poco profundos y colinas escarpadas al lado este (fondo), visto desde el	

oeste. B: Vista desde la última casa al norte de San Isidro hacia el acantilado y los depósitos coluviales más altos en la base del acantilado.	132
Figura 82. Interpretación en vista oblicua a partir de la imagen de <i>Google Earth</i> , del deslizamiento de San Isidro de Dota (amarillo), y áreas de erosión intensa e inestabilidad a lo largo de cauces secundarios, hacia el sur. El río Savegre se ve en la parte baja de la imagen.....	133
Figura 83. A: Interpretación en vista oblicua a partir de la imagen de <i>Google Earth</i> , del deslizamiento de San Isidro de Dota. El extremo superior izquierdo corresponde con el área del acantilado mayor mostrado en las Figuras 30C y D, 34A y 35A. El círculo amarillo corresponde al área mostrada en detalle en B. B: Detalle de estructuras de deslizamiento y morfologías lagunares en el sector oriental del deslizamiento de San Isidro.	134
Figura 84. Cartografía de los detalles de las áreas de deslizamiento sobre un sombreado geomorfológico, que muestran asimismo, las líneas de perfil geológico.	134
Figura 85. Interpretación de los perfiles indicados en la Figura 84.	135
Figura 86. Esquema generalizado del área del deslizamiento de San Isidro de Dota (en rojo) a partir de una imagen oblicua de <i>Google Earth</i> . Se muestran las áreas asociadas con procesos de geodinámica externa, de manera esquemática: en dorado áreas de posible represamiento, en celeste los posibles embalses, en rojizo las áreas de inundación posibles por ruptura súbita de embalses.....	136
Figura 87. Geología del área de San Isidro de Savegre.....	137
Figura 88. Inestabilidad de laderas final para el área de San Isidro de Savegre.....	139
Figura 89. Inestabilidad de laderas, expresada en 3 niveles, para el área de San Isidro de Savegre	140
Figura 90. Ubicación del deslizamiento principal en sitio de San Isidro de Savegre	141
Figura 91. Altura aproximada del deslizamiento en sitio de San Isidro de Savegre	142
Figura 92. Volumen por celda aproximado del deslizamiento, en San Isidro de Savegre	143
Figura 93. Relación del área de análisis Copey Santa María con respecto a los segmentos censales y UGM.	145
Figura 94. Relación del área de análisis San isidro, con respecto a los segmentos censales y UGM	146
Figura 95. Funciones de daños para el análisis de la vulnerabilidad derivada de la amenaza de la inestabilidad de laderas, en área de interés.	147
Figura 96. Probabilidad del daño, sobre los elementos expuestos, por efecto de la amenaza de la inestabilidad de laderas; Copey-Santa María-Dota.	148
Figura 97. Probabilidad de daño a la vialidad y a la infraestructura en Copey-Santa María-Dota.....	149
Figura 98. Probabilidad de daño a la vialidad y a la infraestructura, en área del deslizamiento principal en Copey-Santa María-Dota.	150
Figura 99. Probabilidad del daño por efecto de la amenaza de la inestabilidad de laderas en San Isidro de Savegre	151
Figura 100. Probabilidad del daño a la vialidad y a la infraestructura en San Isidro de Savegre	152
Figura 101. Probabilidad de daño a la vialidad y a la infraestructura en el área del deslizamiento principal, en San Isidro de Savegre	153
Figura 102. Zonificación preliminar recomendada para el área de Copey-Dota	157
Figura 103. Zonificación preliminar recomendada para San Isidro de Dota, Savegre.....	158

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Relieve y sus áreas respectivas; Copey de Dota	33
Cuadro 2. Características y áreas de las Zonas de Vida en el sitio de análisis	35
Cuadro 3. Matriz para determinar la condición de uso de la tierra	40
Cuadro 9. Áreas de divergentes en el área de Copey- Santa María	41
Cuadro 5. Resumen del volumen del deslizamiento	66
Cuadro 6. Valores de Intensidad de la lluvia para diferente período de recurrencia en años	69
Cuadro 7. Tiempos de concentración de cada subcuenca	70
Cuadro 8. Volúmenes y caudales de embalses efímeros en función de la altura de la presa.....	72
Cuadro 9. Caudales estimados para diferentes períodos de recurrencia	74
Cuadro 10. Láminas de agua calculadas para tormenta de 6 horas, en la estación Damas y la estación La Lucha	75
Cuadro 11. Datos de entrada y cálculos del caudal pico para $T_r=100$ años	76
Cuadro 12. Caudales pico para diferentes períodos de recurrencia en el sitio de la quebrada Escuadra, obtenidos mediante el método SCS	76
Cuadro 13. Transferencia, por áreas, de los caudales máximos en el sitio de la presa efímera (confluencia del río Pirrís y la quebrada Escuadra).....	79
Cuadro 14. Caudales pico y tiempos de llenado del embalse para diferentes períodos de recurrencia en el sitio de la presa efímera (confluencia de la quebrada Escuadra con el río Pirrís).....	79
Cuadro 15. Factores de Manning y Strickler que caracterizan los usos del dela tierra.	83
Cuadro 16. Relieve y áreas en el sitio de análisis	106
Cuadro 17. Áreas de las subcuencas a nivel de quebradas en el área de San Isidro de Savegre	106
Cuadro 18. Características y áreas de las Zonas de Vida en el sitio de análisis	109
Cuadro 19. Matriz para la determinación de la condición de uso de la tierra	116
Cuadro 20. Áreas de divergentes en el área de San Isidro de Savegre	118
Cuadro 21. Resumen del volumen del deslizamiento	144
Cuadro 22. Probabilidades del daño, en porcentaje, según las intensidades de la amenaza de la inestabilidad de laderas	147
Cuadro 23. Resumen de información de inventario realizado en el campo.....	154
Cuadro 24. San Isidro.....	154
Cuadro 25. Criterios de valoración considerados en el análisis espacial para la determinación de la zonificación propuesta	155
Cuadro 26. Estrategia de intervención propuesta para Copey- de Dota y en relación con los resultados de la evaluación de la amenaza de la inestabilidad de laderas realizada en este estudio.....	159
Cuadro 27. Estrategia de intervención propuesta en Copey-Santa María	161
Cuadro 28. Resumen de proyectos e el cantón de Dota	164

Índice Figuras Anexo 1

Figura A1- 1. Pendientes, en grados, en el área de Peñas Blancas	176
Figura A1- 2. Factor de pendientes (S_p) método Mora&Vahrson área de Peña Blancas	177
Figura A1- 3. Relación de grados pendientes y porcentajes.....	178
Figura A1- 4. Factor S_p , calculado a través de la ecuación cuadrática deducida.	179
Figura A1- 5. Relieve relativo del área Copey- Santa María	180
Figura A1- 6. Ecuación para reclasificar el relieve relativo al rango de 0 a 5	181
Figura A1- 7. Factor de relieve relativo (S_r), método Mora&Vahrson – área de Copey- Santa María	182
Figura A1- 8. Factor de relieve relativo (S_p & S_r), método Mora&Vahrson – área de Copey- Santa María... ..	183
Figura A1- 9. Factor litológico (S_l) del área de Copey-Santa María	186

Figura A1- 10. Factor litológico (SI), método Mora&Vahrson, área de Copey- Santa María y su incremento respectivo, definido por la influencia de la presencia de fallas tectónicas y de su efecto sobre la calidad geomecánica de los materiales geológicos.	187
Figura A1- 11. Precipitación “que infiltra” en el área de Copey- Santa María	188
Figura A1- 12. Factor de susceptibilidad por humedad (Sh), método Mora&Vahrson – de Copey- Santa María	190
Figura A1- 13. Distribución espacial del parámetro de la susceptibilidad (SUSC) a la inestabilidad de laderas, obtenido mediante la combinación de los indicadores de la pendiente (Sp), la humedad prevalente del terreno (Sh), y de la susceptibilidad litológica (SI), en área de Copey- Santa María	191
Figura A1-14. Aceleración pico del terreno, en gales para un período de recurrencia 500 años. Elaboración propia, con base en RESIS II.....	192
Figura A1-15. Aceleración pico del terreno en gales para un período de recurrencia 1000 años. Elaboración propia con base en RESIS II.....	192
Figura A1-16. Aceleración pico del terreno en gales para un período de recurrencia 2500 años. Elaboración propia con base en RESIS II.....	192
Figura A1-17. Factor de disparo por sismicidad (Ds), para Pr=500 años, método Mora&Vahrson.....	194
Figura A1-18. Factor de disparo por sismicidad (Ds), para Pr=1000 años, método Mora&Vahrson.....	194
Figura A1-19. Factor de disparo por sismicidad (Ds), para Pr=2500 años, método Mora&Vahrson.....	194
Figura A1-20. Intensidad de la lluvia de 24 horas, para Tr=de 100 años, en área Copey-Santa María	196
Figura A1-21. Factor de disparo derivado de intensidad de las lluvias (Dp); método Mora&Vahrson, en Copey- Santa María	196
Figura A1-22. Factor de disparo (Dp100-24, Ds500), método Mora&Vahrson.	198
Figura A1-23. Factor de disparo (Dp100-24, Ds1000), método Mora&Vahrson	198
Figura A1-24. Factor de disparo (Dp100-24, Ds2500), método Mora&Vahrson	198
Figura A1-25. Factor de disparo (Dp=5, 24, Ds1000), método Mora&Vahrson – área de Copey- Santa María	199
Figura A1-26. Ecuación para reclasifica la inestabilidad de laderas	200
Figura A1-27. Análisis de la amenaza de la inestabilidad de laderas, con Sp, y Ds=500 y Dp24, 100.	201
Figura A1-28. Análisis de la amenaza de la inestabilidad de laderas,, con Sr, y Ds=1000 y Dp24, 100	201
Figura A1-29.. Análisis de la amenaza de la inestabilidad de laderas,, con Sp, y Ds=2500 y Dp24, 100	201
Figura A1-30. Escenario extremo de la amenaza de la inestabilidad de laderas, con Sp, y Ds=2500 y Dp máximo.....	202

Índice de Cuadros del Anexo 1

Cuadro A1-1. Valores para obtener el factor SP, a partir de las pendientes en grados	177
Cuadro A1-2. Valores para obtener el factor Sr, a partir del relieve relavo (m /-Ha).....	181
Cuadro A1-3. Clasificación del factor SI para Copey- Santa María	184
Cuadro A1-4. Influencia de las fallas tectónicas, con su valor asignado y área buffer respectiva	187
Cuadro A3-5. Valores del factor de humedad, en función de la “precipitación que infiltra”.....	189
Cuadro A1-6. Aceleración pico del terreno (PGA), valores del factor de influencia de la intensidad sísmica (Ds) y su calificación.	193
Cuadro A1-7. Calificación de la influencia de la precipitación máxima de 24 horas, para Tr= 100 años	195
Cuadro A1-8. Reclasificación de los valores de la amenaza de la inestabilidad de laderas.	199

Índice Figuras Anexo 2

Figura A2-1. Pendientes, en grados, en el área de San Isidro - Savegre.....	203
Figura A2-2. Factor de pendientes (Sp), según el método Mora&Vahrson, aplicado en el área de San Isidro - Savegre	204
Figura A2-3. Relación de grados pendientes y porcentajes	205
Figura A2-4. Determinación de la ecuación entre pendientes en grados y factor Sp.	205
Figura A2-5. Factor Sp, calculado a través de la ecuación deducida	206
Figura A2-6. Relieve relativo del área Savegre	207
Figura A2- 7. Ecuación para reclasificar el relieve relativo al rango de 0 a 5	208
Figura A2-8. Factor de relieve relativo (Sr), método Mora&Vahrson – en el área de San Isidro - Savegre ...	209
Figura A2-9. Factor de relieve relativo (Sp & Sr), método Mora&Vahrson – área de San Isidro de Savegre .	210
Figura A2-10. Factor litológico (Sl) del área de San Isidro de Savegre	214
Figura A2-11. Factor litológico (Sl), método Mora&Vahrson, área de San Isidro de Savegre y su incremento respectivo, definido por la influencia de la presencia de fallas tectónicas y de su efecto sobre la calidad geomecánica de los materiales geológicos.	215
Figura A2-12. Precipitación “que infiltra” en el área de San Isidro de Savegre.....	217
Figura A2-13. Factor de susceptibilidad derivada de la humedad prevalente (Sh), de acuerdo con el método Mora&Vahrson; San Isidro de Savegre.....	219
Figura A2-14. Susceptibilidad potencial a deslizamientos (Sp, Sh, Sl), en área de San Isidro de Savegre	220
Figura A2-15. Aceleración pico del terreno, en gales para un período de recurrencia 500 años. Elaboración propia, con base en RESIS II, en área de San Isidro de Savegre.....	222
Figura A2-16. Aceleración pico del terreno en gales para un período de recurrencia 1000 años. Elaboración propia con base en RESIS II, en área de San Isidro de Savegre.....	222
Figura A2-17. Aceleración pico del terreno en gales para un período de recurrencia 2500 años. Elaboración propia con base en RESIS II, en área de San Isidro de Savegre.....	222
Figura A2-18. Función de acelebración pico del terreno en gales en unción del disparo sísmico Ds.	223
Figura A2-19. Factor de disparo por sismicidad (Ds), para Pr=500 años, método Mora&Vahrson,, en área de San Isidro de Savegre	224
Figura A2-20. Factor de disparo por sismicidad (Ds), para Pr=1000 años, método Mora&Vahrson en área de San Isidro de Savegre	224
Figura A2-21. Factor de disparo por sismicidad (Ds), para Pr=2500 años, método Mora&Vahrson, en área de San Isidro de Savegre	224
Figura A2-22. Intensidad de la lluvia de 24 horas, para Tr=de 100 años, en área de San Isidro de Savegre..	226
Figura A2-22. Factor de disparo derivado de intensidad de las lluvias (Dp); método Mora&Vahrson, en área de San Isidro de Savegre.....	227
Figura A2-24. Factor de disparo (Dp100-24, Ds500), método Mora&Vahrson, en área de San Isidro de Savegre	229
Figura A2-25. Factor de disparo (Dp100-24, Ds1000), método Mora&Vahrson, en área de San Isidro de Savegre	229
Figura A2-26. Factor de disparo (Dp100-24, Ds2500), método Mora&Vahrson, en área de San Isidro de Savegre	229
Figura A2-27. Factor de disparo (Dp=5, 24, Ds500), método Mora&Vahrson – área de en área de San Isidro de Savegre	230
Figura A2-28. Ecuación para reclasificar la amenaza de la inestabilidad de laderas, según los valores obtenidos mediante la superposición de las capas realizada mediante el sistema de información geográfica.	231
Figura A2-29. Amenaza de la inestabilidad de laderas, calculada con Sp, y Ds=500 y Dp24, 100.....	232
Figura A2-30. Amenaza de la inestabilidad de laderas, calculada, con Sr, y Ds=1000 y Dp24, 100	232
Figura A2-31. Amenaza de la inestabilidad de laderas, calculada, con Sp, y Ds=2500 y Dp24, 100.....	232
Figura A2-32. Amenaza de la inestabilidad de laderas, calculada, con Sp, y Ds=2500 y Dp máximo.....	233

Índice de Cuadros del Anexo 2

Cuadro A2- 1. Valores para obtener el factor SP, a partir de las pendientes del terreno, en grados.	204
Cuadro A2- 2. Valores para obtener el factor Sr, a partir del relieve relavo (m /-Ha).....	208
Cuadro A2- 3. Clasificación del factor SI para San Isidro de Savegre.....	212
Cuadro A2- 4. Influencia de las fallas tectónicas, con su valor asignado y área buffer respectiva	215
Cuadro A2- 5. Valores del factor de humedad en función de la precipitación que infiltra	218
Cuadro A2- 6. Aceleración pico del terreno (PGA), valores del factor de influencia de la intensidad sísmica (Ds) y su calificación.	223
Cuadro A2- 7. Calificación de la influencia de la intensidad de la precipitación máxima de 24 horas, para Tr= 100 años	225
Cuadro A2- 8. Reclasificación de los valores de la amenaza de la inestabilidad de laderas.....	231

Índice Figuras Anexo 3

Figura A3-1. Inundaciones para PR 10 años, con rompimiento de presa efímera	234
Figura A3-2. Velocidades del flujo para PR=10 años, con rompimiento de presa efímera	235
Figura A3-3. Inundaciones para PR= 25 años, con rompimiento de presa efímera	236
Figura A3-4. Velocidades del flujo para PR= 25 años, con rompimiento de presa efímera	237
Figura A3-5. Inundaciones para PR= 50 años, con rompimiento de presa efímera	238
Figura A3-6. Velocidades del flujo para PR= 50 años, con rompimiento de presa efímera	239

Presentación

Este informe presenta la metodología y los resultados de la consultoría solicitada por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), cuyo objetivo principal es: "caracterizar la inestabilidad de laderas en dos sitios: a) Pirrís (Copey) y b) Savegre (cantón de Dota).

El informe se inicia con el marco conceptual que se utilizará en los análisis; y la metodología que se usó se desarrolla con detalle en los anexos, donde además se incluyó una tipificación de deslizamientos y la forma de tratar con represamientos efímeros causados por deslizamientos que represan los cauces de los ríos.

Ha sido recolectada la información disponible relacionada con la amenaza de la inestabilidad de laderas en ambas localidades. El análisis se ha llevado a cabo con énfasis en el diagnóstico inicial de las inestabilidad de laderas, con la búsqueda o desarrollo de parámetros relacionados a las susceptibilidad potencial (relieve, humedad del suelos, litología) del deslizamiento agregando la información las amenazas hidrometeorológicas y sismológicas que se materializan en la región y que han contribuido con la generación y desarrollo de diversos eventos de inestabilidad de laderas. Estos afectan a la población expuesta, la infraestructura, los medios de subsistencia y las actividades productivas de bienes y servicios en el área. Para la realización del análisis, se han incluido diferentes escenarios, con objeto de desarrollar los factores que influyen en el proceso y los criterios de la planificación del desarrollo y para aumentar la resiliencia de la población. Adicionalmente para el caso de Copey-Santa María el análisis incluyó la modelación de la ruptura de un represamientos efímero causado por un deslizamiento en el sitio de la Quebrada Escuadra.

Con base en lo anterior, se ofrecen algunos criterios que conviene tomar en cuenta como bases para avanzar en la puesta en marcha de: a) las medidas para mejorar la resiliencia de los elementos expuestos y vulnerables, con una zonificación que toma en cuenta tanto criterios de conflictos de uso de la tierra como de la amenaza por inestabilidad, y en el caso de Copey-Santa María, de inundación por embalsamiento de la presa efímera provocada por el deslizamiento, y b) los criterios fundamentales para el establecimiento de un sistema de observación, vigilancia, alerta, advertencia, alarma, respuesta y continuidad operativa y funcional (SOAAARCO) para la localidad.

Resumen

El área de estudio se encuentra en el Pacífico Central, en las cuencas de los ríos Pirrís y Savegre, las cuales son cuencas que, de acuerdo con su configuración geomorfológica, las características de su geodinámica interna (tectónica), su variación altitudinal y condiciones hidrometeorológicas y climáticas, requieren modelarse bajo el concepto de cuenca hidrográfica, además de reconocer, en particular, las necesidades, problemas, las amenazas, vulnerabilidad y riesgo asociado a las amenazas de la inestabilidad de laderas.

Las cuencas, además de ser el territorio en donde se desarrollan las partes fundamentales del ciclo hidrológico, son espacios geográficos en los cuales las comunidades comparten identidades, tradiciones y cultura y en donde las personas socializan y trabajan, en función de sus medios de subsistencia, derivados según la disponibilidad y aprovechamiento de los recursos naturales, renovables y no renovables. Por otra parte, el crecimiento y expansión espacial de la ocupación humana urbano-rural, ha sido la causa del incremento de la exposición a las amenazas de la inestabilidad de laderas y de las inundaciones.

En los últimos tiempos, se ha reconocido al concepto de la cuenca hidrográfica como la subdivisión territorial más apropiada para conducir los procesos del manejo, aprovechamiento, planificación territorial y administración de los recursos naturales, como por ejemplo el agua y la tierra y el concepto amplio del ambiente: el medio físico, el medio biológico y el medio humano.

De esta forma y a solicitud de la CNE, los términos de referencias fueron ampliados para agregar, en el caso de Pirrís (Copey) el análisis de las áreas de aporte y las áreas de los posibles efectos e impactos de las amenazas concatenadas (deslizamiento + represamiento + evento extremo de lluvia). Para ello, se ha partido de diferentes modelos de inestabilidad de laderas y de inundación, todos bajo el concepto de cuenca hidrográfica. Luego, la generación de estos su modelos y escenarios ha permitido conocer las áreas expuestas, tanto a la inestabilidad de laderas como a la posible inundación derivada por el alud torrencial que se derivaría de la ruptura de una posible presa efímera en el cauce del río Pirrís. Al combinarse esta información con los parámetros de la exposición respectivos, puede alcanzarse un nivel preliminar en el análisis de la vulnerabilidad: social – económica – cultural.

Aunque para que el análisis riguroso del riesgo todavía sería necesaria la aplicación de modelos probabilísticos y estocásticos más avanzados, sobre una base de datos espacio-temporales más completa y de mayor resolución que la disponible en esta ocasión, ya es posible identificar, de manera preliminar, una serie de aspectos, parámetros y factores para orientar la zonificación espacial, con criterios de gestión del riesgo y ordenamiento territorial. De esta manera se podrían brindar las bases para: a) la planificación territorial, b) el establecimiento de las acciones para reforzar la resiliencia de la población y de la infraestructura actual y c) establecer y poner en marcha el funcionamiento de un sistema de observación, vigilancia, alerta, alarma, advertencia, respuesta y continuidad operativa y funcional (SOAAARCO).

En el caso de San Isidro de Savegre, el enfoque deberá comenzar con el análisis de la inestabilidad de laderas, el estudio de diferentes escenarios de encadenamiento y las recomendaciones para una vigilancia continua. El enfoque se debe concentrar en la promoción de un traslado pasivo y de mediano plazo de los habitantes del área hacia sitios seguros, mediante los procesos y mecanismo adecuados y factibles para lograrlo.

Además de todo lo anterior, es conveniente considerar la inclusión de un análisis de la posibilidad y de los escenarios de un represamiento efímero en el cauce del río Savegre y de su posterior ruptura y generación de un alud torrencial hacia aguas abajo. Este análisis, como ya se ha realizado en el caso del río Pirrís, podría ilustrar la amenaza y los daños y pérdidas sociales, humanas, económicas y ambientales que se podrían producir y que afectarían a la población, las actividades productivas, infraestructura y la región marino-costera.

1. Introducción

La situación geográfica y las características geomorfológicas de las cuencas de los Ríos Pirrís y Savegre, hace que las mismas estén sometidas a una variabilidad climática importante, sometida a los efectos e impactos=directos y/o indirectos de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), las ondas, los ciclones tropicales y a los procesos de desarrollo pluvial orográfico. Esta situación a su vez se agrava por la presión que ejerce la sociedad al exponerse, de manera vulnerable con respecto a las amenazas de la inestabilidad de laderas provocadas por eventos hidroclimáticos y sísmicos.

En esta consultoría y de acuerdo con los términos de referencia, será analizada la amenaza de la inestabilidad de laderas, como primer paso para el análisis preliminar del riesgo.

Específicamente, la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), en sus términos de referencia señala:

Más recientemente, es posible demostrar que estas cuencas se han visto recurrentemente afectadas por deslizamientos e inundaciones que han generado no solo abundantes pérdidas materiales, sino la necesidad de reconstrucción de infraestructura dañada, muchas veces afectada nuevamente en el siguiente evento. Algunos de los principales eventos que han afectado este sector son:

- El huracán No. 8 en el año 1906, provoco en el área de estudio, desbordamiento del río Parrita a su paso por Santa María de Dota, destruyendo varios puentes y produciendo el aislamiento de esa zona con respecto al resto del país (*El Noticiero*: 11 de octubre de 1906, p. 3 y 12 de octubre de 1906, p. 2), citado por Díaz, R. & Alfaro, E., 2015
- Los efectos de eventos ciclónicos, en particular los huracanes Gilbert (1988) y Juana (1988) provocaron fuertes pérdidas para las cuencas del cantón de Dota, con inundaciones y deslizamientos en el Cantón de Dota y la región Pacífico Central. por Díaz, R. & Alfaro, E., 2015.
- *Para el año 1996, en el documento Informe Técnico Huracán Cesar: evaluación de áreas afectadas por inundaciones y deslizamientos Pacífico Central y Sur, elaborado por el Geol. Julio Madrigal, en el capítulo CANTONES DE TARRAZÚ, DOTA Y LEÓN CORTES "ZONA DE LOS SANTOS", se menciona que la parte alta de la cuenca del río Pirrís, varios afluentes arrastraron cantidad de rocas, troncos e inclusive varias viviendas fueron dañadas en su totalidad. Además, se indica que el sector San Isidro de Dota, el cual tiene un difícil acceso, una pequeña población agrícola se asentó en un área de alta inestabilidad y cerca del Río*

Blanco.

- Se señala para este lugar, que, en visita de campo, se verificó que en el área existen indicios de un desprendimiento de rocas de gran magnitud que se deslizó y cambió parte de la morfología del área, inclusive, existe una quebrada donde el flujo cambió de dirección. Se mencionan, además, indicios de flujos de lodo, rocas y troncos, que se encausaron por una quebrada, hasta su desembocadura en el río Savegre
- Más recientemente, Geol. Madrigal realiza el informe CNE-UIAR-0261-2019, en una actualización de seguimiento del sector de Río Blanco- Copey, indica varias referencias que hay del lugar y sus deslizamientos en los años 1995, 1996, 2010. En todas ellas debido a eventos hidrometeorológicos extremos (Huracán Cesar, Tormenta Thomas).
- Sismo de Parrita, el 20 de noviembre del 2004 (Decreto Ejecutivo -D.E.- 32118-MP), se reportan solamente en el cantón de Parrita 80 casas dañadas y múltiples pérdidas en agricultura, transportes, comunicaciones, salud y otros.
- Temporal y Onda Tropical, 29 de octubre del 2007, daños generalizados en toda la cuenca, sobre todo en agricultura y viviendas. (D.E. 34045-MP)
- Tormenta Tropical Alma, 10 de junio del 2008, daños por casi 2 mil millones de colones solamente en el cantón de Parrita (D.E. 34553-MP).
- Depresión Tropical N° 16, 4 de noviembre del 2008, durante 3 días este evento afecta al país provocando el desbordamiento de ríos, las inundaciones, las cabezas de agua y los deslizamientos, que se agrava por la saturación de suelos en el Pacífico Norte, Pacífico Central, Pacífico Sur, Valle Central y la Zona Norte. Solamente en Parrita se reportan más de 47 mil millones de colones en pérdidas. (D.E. 34805-MP).
- Tormenta Tropical Nicole, 30 de setiembre del 2010, genera enormes pérdidas en diferentes comunidades del Valle Central y Pacífico Central, en Parrita se reportan pérdidas mayores a 184 mil millones de colones.
- Huracán Tomas, 2-7 noviembre 2010, se cobra la vida de más de 30 personas y extendidos daños en el Pacífico Central. Solamente en el Parrita se estiman más de 20 millones de colones en pérdidas (D.E. 36252).
- Más recientemente la tormenta tropical Nate, con afectación a todo el territorio, con énfasis en la vertiente Pacífico, l marco aproximadamente 250 mm acumulados en la región de Los Santos, para los días 4 y 5 de octubre del 2017, provocando deslizamientos, cierres de vías e inundaciones en las cuencas del Pirrís y Savegre, entre otras.

Estos antecedentes, demuestran, con claridad, el elevado grado de exposición de la población, las actividades agrícolas e infraestructura pública a los deslizamientos e inundaciones recurrentes que se presentan en el sector, lo que fija el enfoque principal de este estudio.

Esta clase de eventos incide en el desarrollo sostenible, al destruir años de esfuerzo e inversiones y crearle nuevas cargas para la reconstrucción y la rehabilitación a la sociedad, así como por desviar las prioridades de desarrollo de los objetivos, a largo plazo, hacia la satisfacción de necesidades más inmediatas.

Ambos tipos de procesos, sean de gran escala (El Niño-La Niña/oscilación del Sur, ciclones tropicales y terremotos) o de pequeña escala (tormentas orográficas), no deberían convertirse en "desastres sociales" si las comunidades fuesen resilientes, si el uso de la tierra se rigiera por los criterios adecuados del ordenamiento territorial y si la gestión del riesgo fuese una política pública vigente. Gran parte del riesgo puede reducirse con una planificación apropiada, incluyendo el manejo adecuado de la gestión ambiental y el manejo de las cuencas hidrográficas y esto puede llegar ser más eficiente que un sistema de observación, vigilancia, alerta, advertencia, alarma, respuesta y continuidad operativa y funcional (SOAAARCO), en el sentido que si bien este tipo de mecanismos y procesos puede salvar las vidas de la población en los momentos críticos, los daños y pérdidas sobre los bienes, servicios y personas pueden reproducirse.

Por otra parte, la amenaza de la inestabilidad de laderas puede ser exacerbada por las tendencias socioeconómicas que conducen hacia el uso inadecuado de la tierra y el deterioro ambiental: expansión urbana desordenada, asentamientos humanos expuestos, construcciones e infraestructura mal diseñadas, pobreza, la deforestación, sobrepastoreo y la degradación de la tierra. Estos factores pueden ser atendidos durante el proceso de reconstrucción posterior a un evento destructivo, para no replicar la vulnerabilidad prevalente y mediante los criterios del manejo adecuado de las cuencas hidrográficas. Es aquí en donde las acciones que realizan diferentes instituciones y entidades relacionadas con la regulación del uso de la tierra y la ocupación de espacios seguros, inspirándose en la zonificación territorial, toman importancia, sobre todo si se incorporan los principios y criterios de la Gestión del Riesgo durante los procesos de toma de decisiones.

El enfoque moderno de la planificación del uso de la tierra y del manejo de los recursos naturales, mediante los principios y criterios del manejo de cuencas hidrográficas, desempeña un papel fundamental en la gestión del riesgo.

Hay una variedad de medidas de tipo político y herramientas que se pueden utilizar con el fin de disminuir la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Las entidades públicas pueden hacer cumplir las medidas reguladoras, así como el control del uso de la tierra. Otro enfoque lo constituye la creación de incentivos económicos mediante los cuales se anima a los involucrados a invertir en los procesos de la gestión ambiental. Sin embargo, estas acciones requieren del conocimiento de la distribución espacial y temporal de las amenazas, la vulnerabilidad y del riesgo en su conjunto.

2. Objetivo general

El objetivo general de este análisis consiste en la caracterización de la amenaza de la inestabilidad de laderas en dos sitios del cantón de Dota: a) La cuenca del río Pirrís, en la microcuenca de la quebrada Escuadra, aguas arriba de Copey y Santa María de Dota y b) en la localidad y microcuenca del Río Blanco, en la parte media-baja del río Savegre. Se trata de conocer la dinámica de los deslizamientos detectados e informar a las poblaciones en esas áreas acerca de los efectos e impactos posibles, evitables o mitigables mediante la gestión del riesgo.

La caracterización de la amenaza de la inestabilidad de laderas y la distribución espacial y temporal de su intensidad, pretende ser el primer paso para la determinación del **riesgo** y evitar, eventualmente, el efecto e impacto que podrían ocasionar los eventos futuros. El análisis se realizará con una escala base equivalente a 1:5.000, aunque parte de los datos e información disponibles se han encontrado con escalas diferentes.

3. Objetivos específicos

Los objetivos específicos, definidos a partir de los productos estipulados y transcritos literalmente de los términos de referencia, se citan a continuación.

3.1. Caracterización de la amenaza por deslizamientos y procesos de inestabilidad de laderas.

1. Áreas susceptibles a deslizamiento tanto en el sector afectado directamente por el deslizamiento, como sectores de influencia indirecta, obtenidas por medio de una metodología para zonas tropicales que integre al menos los siguientes aspectos:
 - a. Tipo de suelo
 - b. Topografía
 - c. Geología
 - d. Pendientes
 - e. Factores de disparo (lluvias, actividad sísmica)
 - f. Datos históricos y comparación con la memoria histórica de la comunidad.
2. Posibles medidas de intervención (estructurales y no estructurales) tanto en el ámbito local (comunidad y municipal) y nacional (instancias del Sistema Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias).
3. Estimación a partir de parámetros hidrometeorológicos, si es posible que el deslizamiento se active o se encuentre en una fase de potencial activación (umbrales de disparo).
4. Propuesta de uso de la tierra en el entorno del deslizamiento, a una escala de 1:25000 o menos si es posible, con una propuesta de cronograma de acciones a un plazo de 5 años para la aplicación de las medidas, tanto en el plano local (municipal), como nacional.

3.2. Caracterización de la vulnerabilidad y medidas de intervención. Establecer una línea base que integre al menos los siguientes aspectos:

- 1) Uso actual de la tierra y capacidad de uso, conflictos del uso.
- 2) Registro de eventos críticos vinculados al deslizamiento. Debe incluirse cronología, localidades afectadas, número de personas afectadas, número de viviendas afectadas y mapa de impacto. El rango de escala será 25000 o menos, dependiendo de la información cartográfica existente.
- 3) Composición etaria de la población en el área de amenaza y distribución (datos estadísticos y distribución geográfica de la población, así como la nomenclatura del lugar, toponimia).
- 4) Inventario de las principales organizaciones sociales del cantón, año de creación, forma de administración, áreas de acción social actual, número de miembros, tipo de relaciones o vínculos con la municipalidad, proyectos, programas o acciones vigentes en la temática ambiental, educación, protección de cuencas, organización para emergencias, vigilancia de amenazas, formas de obtención de recursos, humanos y materiales y cualquier otra información que se considere necesaria.
- 5) Descripción de las principales actividades económicas en el entorno del sitio donde se presenta el deslizamiento.
- 6) Identificación y señalamiento de la infraestructura vulnerable ante la amenaza por deslizamiento.
- 7) Análisis de la percepción comunal del riesgo al deslizamiento con actores claves de la comunidad (entrevistas, talleres)
 - a. Mapas de percepción, memoria histórica (respaldada con documentos).
 - b. Conclusiones donde se integra toda la información histórica y la percepción del riesgo.
- 8) Aspectos positivos y negativos identificados con los siguientes ejes:
 - a. Degradación ambiental
 - b. Emergencias y desastres
 - c. Trámites de construcción – plan regulador
 - d. Salud - educación
- 9) Escenarios de intervención del Estado y el Municipio, sobre las causas, efectos para reducir el riesgo al deslizamiento.
- 10) Señalar opciones validadas con las comunidades para la transferencia del riesgo (seguros y otros).
- 11) Propuesta para incorporar la información generada en el plan regulador del cantón.
- 12) Propuesta de una estrategia de intervención a cinco años plazo con las comunidades priorizadas, identificando responsables y medidas a implementar

3.3. Diseño del sistema de vigilancia y alerta temprana del deslizamiento

- 1) Monitoreo meteorológico
- 2) Propuesta de medición de desplazamientos del terreno
- 3) Propuesta de capacitación y preparación a la población
- 4) Diseño de alertas y protocolos

3.4. Análisis adicional

- a. Modelaje hidrológico- hidráulicos, de un posible disparo de la masa y su área de influencia a lo largo del cauce, en el tramo Copey-Santa María.
- b. Zonificación y avenida de la masa probable lo largo del cauce, en este tramo, esto debido al análisis de represamiento por deslizamiento hacia aguas arriba.

4. Metodología

El concepto y análisis del riesgo se entiende como una evaluación cognoscitiva de las pérdidas que pueden sucederle a un elemento expuesto, de acuerdo con sus características, su situación y contexto particular de tiempo y de espacio.

Estos criterios pueden ser aplicados en el análisis de las medidas para el diseño un modelo preliminar de un proceso de reordenamiento territorial, con énfasis en la prevención y en el que se considera al riesgo como una función convolutiva de la amenaza y de la vulnerabilidad, esto es:

$R = f(A, V)$, en donde:

R = Riesgo ante una amenaza y según los factores de la vulnerabilidad.

V = Vulnerabilidad, es decir, los grados de exposición y fragilidad, valor económico, potencial de daño a la vida humana y al ambiente; esto es el impacto de la amenaza sobre la vida humana y el ambiente.

A = Amenaza de la inestabilidad de laderas, con y sin la intervención humana.

Si se piensa en “*el riesgo como un proceso*”, se trata de la combinación situaciones complejas que se construyen social e históricamente y se materializan en un territorio.

Si la solución es la “*gestión del riesgo, como continuo*”, se pueden considerar como sus partes los pilares fundamentales diferenciados siguientes:

- Identificación y comunicación del riesgo:
 - Conocimiento, percepción, medición y evaluación de las amenazas y vulnerabilidad; distribución espacial y temporal de su intensidad; factores agravantes e incertidumbre de las estimaciones.
 - Transferencia de información para asistir el proceso de toma de decisiones políticas, empresariales y comunales, la educación y la ciencia.
- Reducción del riesgo:
 - Acciones y medidas de: i) prevención, ii) mitigación y iii) adaptación, para disminuir los factores que causan o intensifican los daños.
 - Medidas estructurales y/o no-estructurales, según su relación de costo/beneficio, para reducir la vulnerabilidad, pues no siempre es posible reducir las amenazas.
- Financiamiento del riesgo:
 - Instrumentos para reducir el impacto económico de las crisis. Se diseñan “ex-ante”, según los umbrales del riesgo “aceptado” vs. “aceptable”.
 - a. *Retención* (manejo del presupuesto fiscal, fondos de emergencia y contingencia, provisiones, reservas)
 - b. *Transferencia* hacia otros actores y plazos más largos (seguros, reaseguros, créditos, endeudamiento contingente, colocaciones en el mercado de valores)
 - c. Cuantificación y cobertura del *riesgo “residual”*.

➤ Gestión de emergencias y desastres:

- Instrumentos y acciones preparadas y articuladas “ex-ante”; planes, protocolos y preparación:
 - i. Observación, vigilancia
 - ii. Alerta, alarma, advertencia, respuesta
 - iii. Rehabilitación, continuidad operativa y funcional, recuperación; para enfrentar las crisis y evitar reproducir los factores previos de la vulnerabilidad

Desde la perspectiva de la planificación del desarrollo sostenible y del manejo de cuencas hidrográficas, como parte del proceso de ordenamiento territorial, pueden integrarse los elementos de la reducción del riesgo y respectivamente, dentro de las medidas “no-estructurales”.

A partir de la definición del riesgo, se diferencian, analíticamente, 4 dimensiones irreductibles:

1. Amenaza o peligro (distribución espacial y temporal de su intensidad).
2. Grado de exposición de los elementos vulnerables.
3. Valoración social y económica de los elementos expuestos a la pérdida.
4. Incertidumbres y contextos sobre los que se toman las decisiones.

A pesar de que existen modelos de análisis, al final privan los criterios del especialista frente a las variables con que se materializa, en cada sitio, la amenaza analizada. Por ello, debe escogerse el mejor modelo disponible y adaptarlo, según sea el caso y para contar con el escenario más realista posible y así apoyar, racionalmente, el proceso de toma de decisiones.

Un diagnóstico cuali - cuantitativo del riesgo permite identificar las heterogeneidades y singularidades principales en el área involucrada y en consecuencia, realizar aportes concretos diferenciales para su gestión, con el objeto de contar con información de consulta directa y para tomar medidas diversificadas, según las características, necesidades y posibilidades de los distintos grupos sociales.

Deben considerarse todas las circunstancias de origen natural necesarias para el diagnóstico del riesgo: condiciones geológicas, hidrometeorológicas, ambientales, situación social, cultural y económica, etc.

Por estas razones, la incorporación del riesgo en el ordenamiento territorial y los planes de manejo de las cuencas hidrográficas coadyuva a mejorar el proceso de toma de decisiones, en beneficio del ambiente, las comunidades y del aprovechamiento racional de los recursos naturales. Más aún, en opinión de Saborío, J. (2002), el análisis del riesgo, a las escalas adecuadas, se convierte en una herramienta útil para alcanzar el desarrollo sostenible y realista.

4.1 Caracterización del riesgo

En este apartado se han seguido los términos de referencia indicados por la CNE; dado que algunos de ellos son de tipo general, se adaptarán al área de estudio y a la calidad y cantidad de los datos disponibles. La caracterización del riesgo se inicia con la caracterización de la amenaza, luego de la exposición y la vulnerabilidad y concluye con la propuesta de las medidas factibles de intervención (estructurales y no estructurales) tanto en el ámbito local (comunidad y municipal), como en el nacional (instancias del Sistema Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias). Los insumos de este proceso serán beneficiosos, también, para el Plan Regulador que realiza la Municipalidad de Dota.

Se debe indicar que el análisis se circunscribe al área de estudio; sin embargo, los aspectos organizacionales e institucionales trascienden al área de análisis y pueden ser aplicados (todas las proporciones guardadas) a los otros tipos de amenazas naturales y antropogénicas.

4.2 Metodología para el análisis de la amenaza de la inestabilidad de laderas

La amenaza de la inestabilidad de laderas se ha modelado en Costa Rica mediante la metodología Mora & Vahrson (1993, 2012), la cual considera la litología, humedad del suelo y relieve relativo como la susceptibilidad intrínseca del terreno, e incluye la intensidad de la lluvia y la sismicidad como los factores externos de disparo.

Enfoque técnico. Incluye las siguientes etapas:

- a. Identificación de la amenaza de la inestabilidad de laderas en el área de interés, a partir de las bases de datos existentes, con la cartografía a utilizar y actualizada en el ámbito local.
- b. Realización de los mapas de los factores que caracterizan la amenaza (susceptibilidad y disparo) siguiendo los criterios de a) confiabilidad de la información, b) exactitud de la información, e) limitaciones de la información, f) utilidad de la información, g) integración de la información.

4.3 Amenaza de la inestabilidad de laderas

La amenaza de la inestabilidad de laderas se estimó mediante la aplicación del método “Determinación de la amenaza de deslizamientos en grandes áreas y utilizando indicadores morfodinámicos de Mora – Vahrson” (1992), modificada por Mora-Saborío (2014, 2015).

Este método permite desarrollar una aproximación del grado de la amenaza de la inestabilidad de laderas, para el área de estudio y de los eventos naturales que influyen mayormente esta condición. En este apartado se presenta un resumen del método, incluyendo la presentación de los parámetros utilizados.

Descripción de la metodología. Este método se aplica mediante la combinación de varios parámetros y factores. Estos se obtienen de la observación de indicadores morfodinámicos y de su distribución espacio-temporal. La combinación de los factores se realiza considerando que la inestabilidad de laderas se produce cuando, en una determinada ladera, compuesta por una determinada litología, con un cierto grado de humedad y con cierta pendiente, adquiere un grado de susceptibilidad. Bajo estas condiciones los factores externos y dinámicos, como la sismicidad y las lluvias intensas, actúan como elementos de disparo que destruyen los equilibrios existentes. Es así como se considera que el grado de la amenaza es el producto de la susceptibilidad y de la acción de los elementos de disparo (Mora - Vahrson, 1992). Dada la escala a la que se aplica el método, debe advertirse que este no es un sustituto de los análisis geotécnicos específicos y más bien, es un

instrumento de diagnóstico que señala, con cierto grado de precisión, las áreas bajo amenaza de inestabilidad y que por lo tanto, requerirán del análisis geotécnico posterior para resolver el problema identificado.

Cada factor se establece a partir de un índice de influencia para determinado sitio y con él, al combinarse de acuerdo a su peso específico ponderado, permite obtener un valor relativo de la amenaza.

Factores de susceptibilidad

Son aquellos que, intrínsecamente, forman parte de las propiedades y comportamiento del medio, es decir, que constituyen los elementos pasivos. Tal es el caso de la pendiente del terreno, su constitución litológica y las condiciones usuales de su humedad natural y prevalente.

Factores de disparo

Son los que inducen, desde el exterior, hacia un comportamiento dinámico activo que, a partir de las condiciones iniciales generarán, con mayor o menor intensidad, los procesos decisivos de movilización. Se trata de la intensidad de los sismos y de las lluvias.

Combinación de los indicadores. Para cada uno de los parámetros se define un peso relativo y específico propio y se pondera su grado de influencia. La combinación de los pesos relativos puede realizarse por medio de una ecuación empírica sencilla

$$\mathbf{Ad = Susc * Disp} \quad (1)$$

En donde:

Ad = Amenaza de la inestabilidad de laderas
 Susc = Parámetros de susceptibilidad
 Disp = Parámetros de disparo

Esta ecuación nace de la combinación de los factores de susceptibilidad y de disparo, los cuales se describen a continuación.

$$\mathbf{Susc = Sp * SI * Sh} \quad (2)$$

En donde:

Sp= Índice de influencia de la pendiente (alternativamente Sr, respecto al relieve relativo)
 SI=Índice de influencia de la litología
 Sh= Índice de influencia de la humedad prevalente del terreno

$$\mathbf{Disp = Ds + Dp} \quad (3)$$

En donde:

Ds = Índice de influencia de la intensidad sísmica
 Dp = Índice de influencia de la intensidad de las lluvias

Finalmente, la ecuación se puede separar, en todos sus componentes, de la siguiente manera.

$$\mathbf{Ad = (Sp * SI * Sh) * (Dp + Ds)} \quad (4)$$

La ecuación (4) puede considerarse como una situación extrema (e.g. un sismo intenso durante la estación lluviosa).

También puede separarse en sus dos escenarios individuales:

- $Ad = (Sp * Sl * Sh) * Dp$, en el caso de un escenario de lluvias intensas, sin sismo
- $AD = (Sp * Sl * Sh) * Ds$, en el caso de un sismo, durante la estación seca.

La combinación de valores y su cartografía se realiza en forma digital por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se debe aclarar que la amenaza de la inestabilidad de laderas puede presentarse con una variedad grande de formas diferentes: deslizamientos traslacionales sobre superficies planas de suelos y rocas, deslizamientos rotacionales sobre superficies cóncavas hacia arriba, caída de bloques de roca, aludes torrenciales y otros. El Método Mora-Vahrson no distingue entre esos tipos de procesos.

4.4 Factores de la amenaza

Siguiendo el esquema mostrado en la Figura 1, se describirán los pasos seguidos en la obtención de los indicadores y mapas de susceptibilidad y disparo, respectivamente, que configuran la amenaza a la inestabilidad de laderas en el área de análisis.

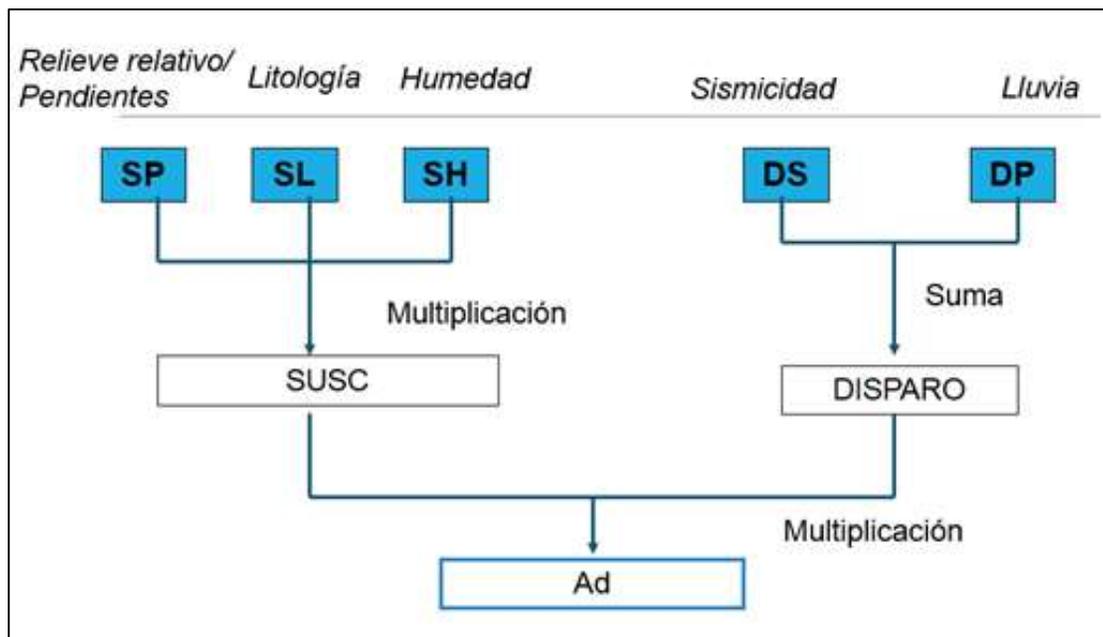


Figura 1. Esquema del proceso Mora & Vahrson

Fuente: Oikológica-Ecoplan, 2017, con base en el modelo Mora&Vahrson

5. Descripción del área de estudio de Copey-Santa María, ampliada por la modelación.

Las áreas de cobertura del levantamiento de la información corresponden a la cobertura directa e indirecta de la inestabilidad de laderas de los sitios a estudiarse: Figura 2.

- 1) Partes altas de la cuenca del río Pirrís.
- 2) Cuenca del Río Blanco en la parte media-baja de la cuenca del río Savegre.

En la Figura 3 se hace referencia al área de análisis local, en donde se ubica el deslizamiento en la Quebrada Escuadra, y que incluye el área de la población de Copey de Dota.

En la Figura 4 se muestra el área de análisis de San Isidro de Savegre.

En los apartados 6 y 7 se realiza la caracterización biofísica de los sitios en estudio.

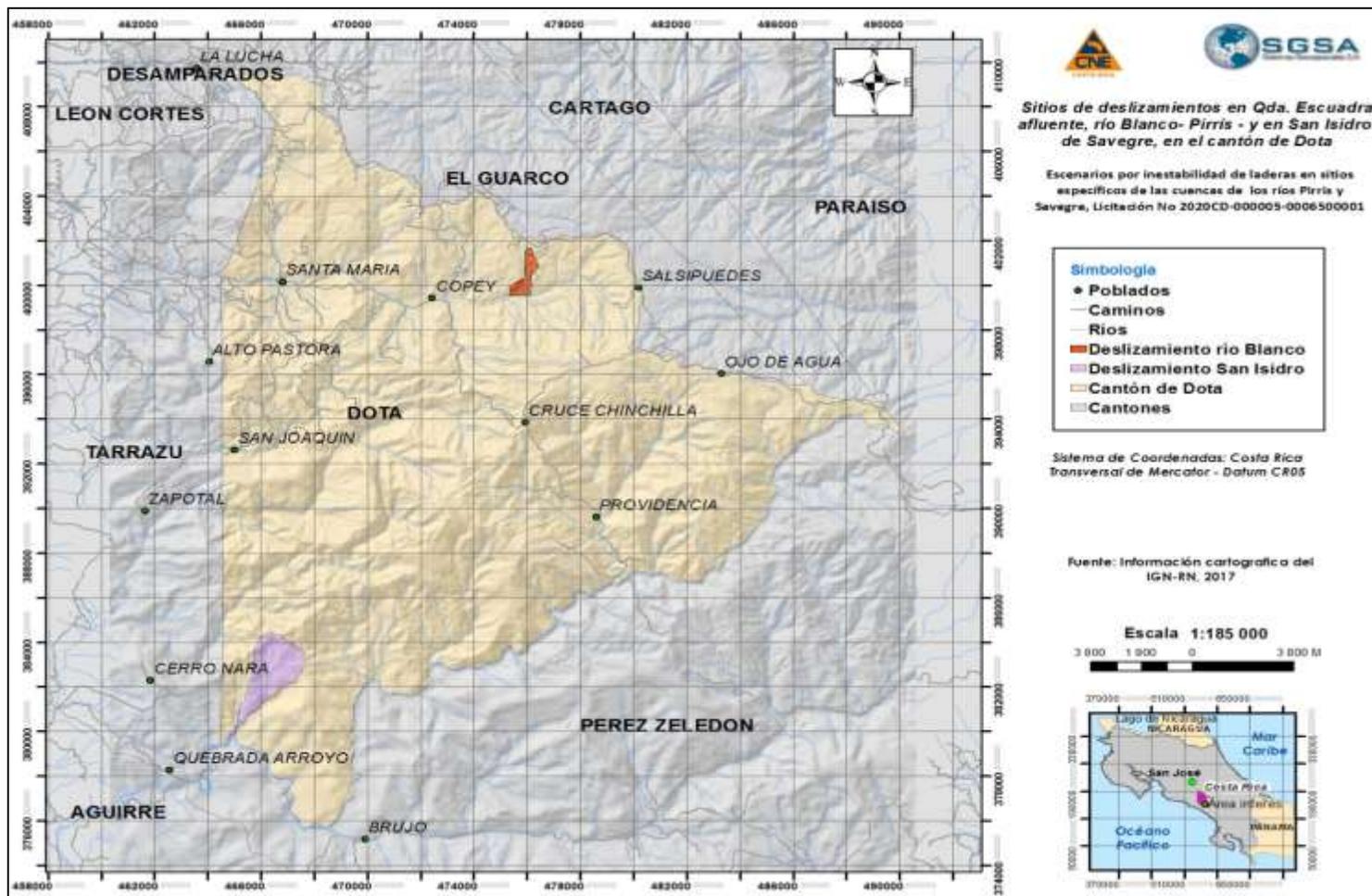


Figura 2. Ubicación de las áreas analizadas en el cantón de Dota

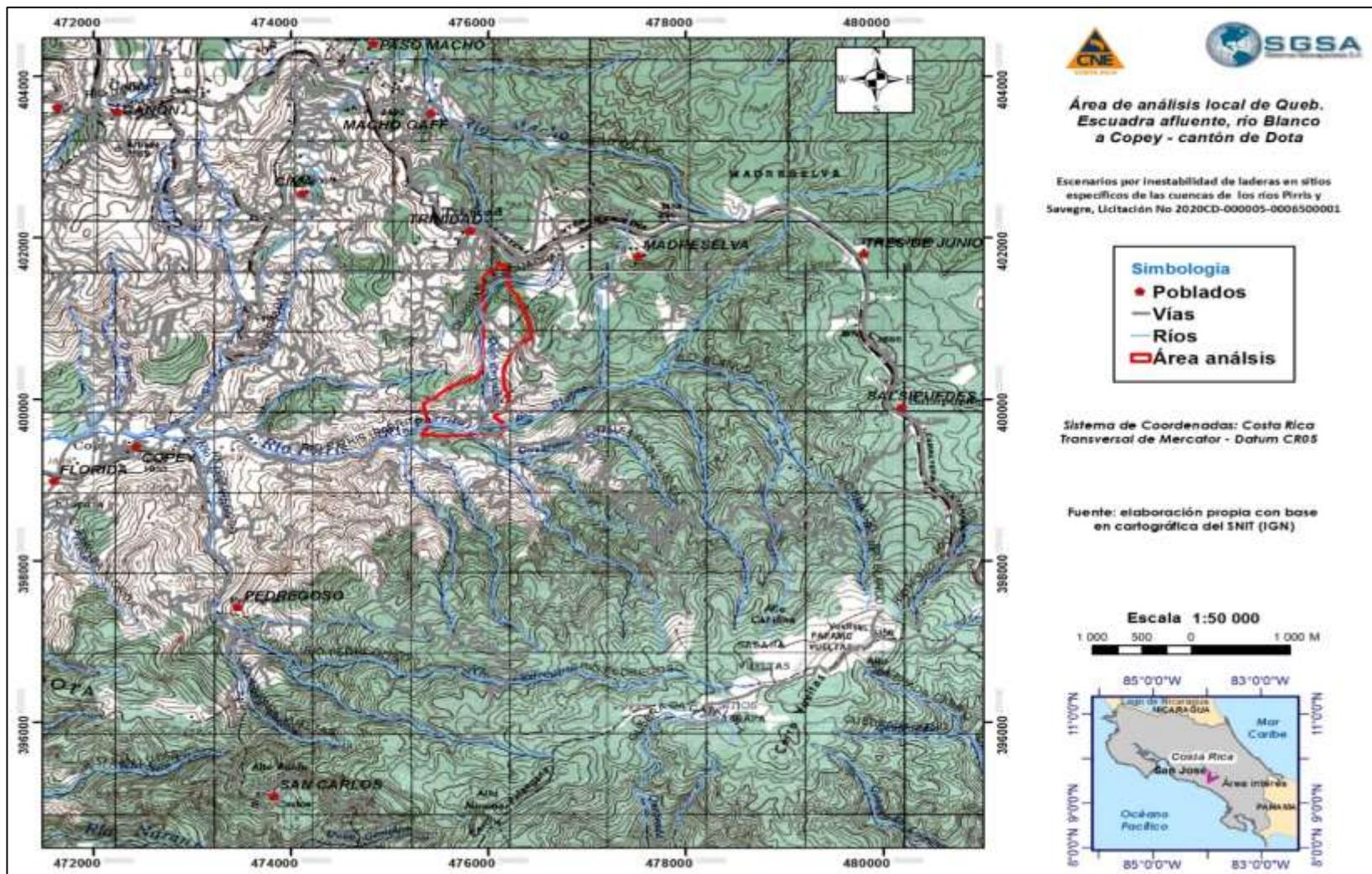


Figura 3. Ubicación del área en la parte alta del río Pirris

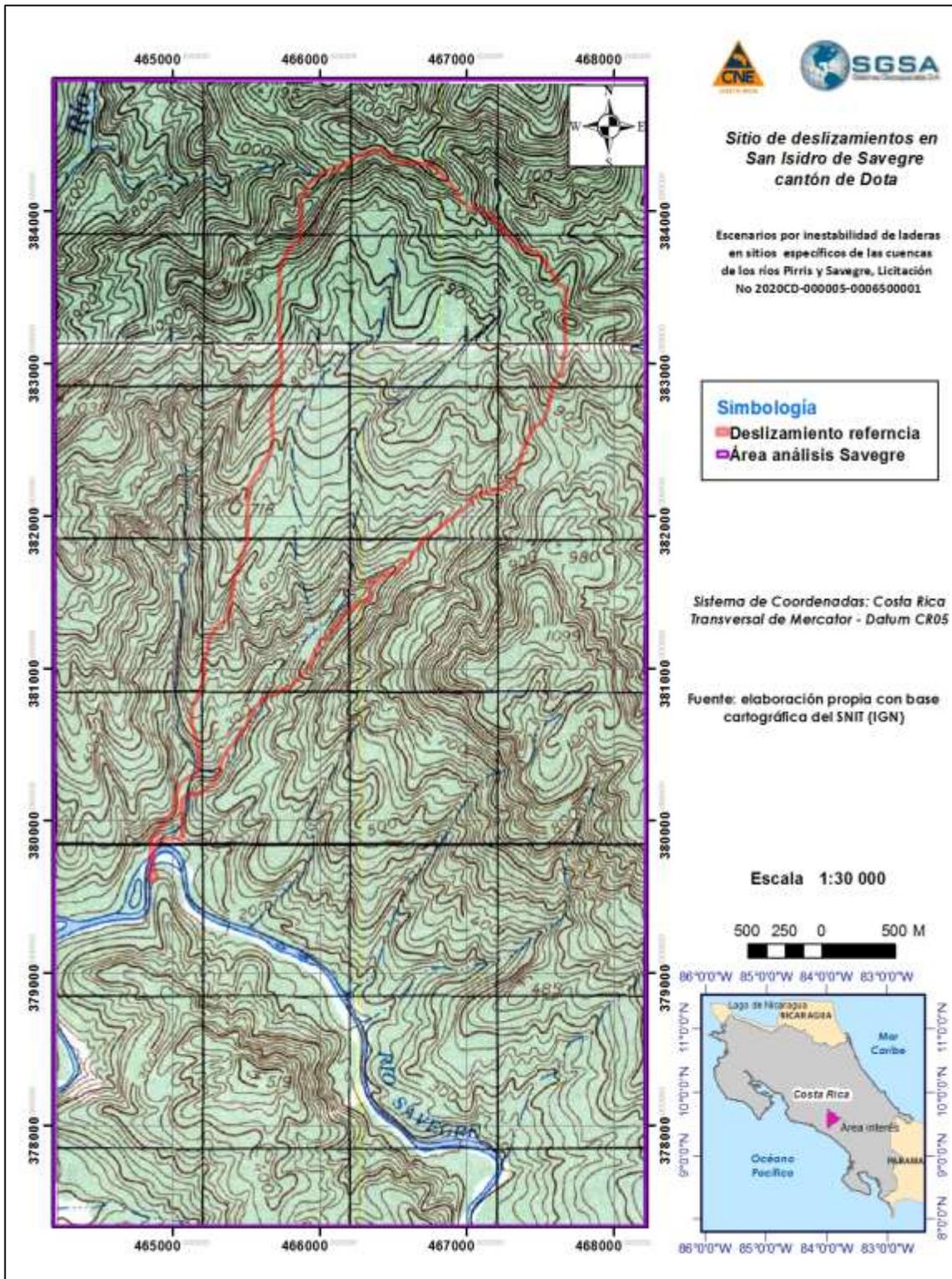


Figura 4. Área de análisis deslizamiento San Isidro - parte alta río Savegre

6. Caracterización biofísica del área de Copey Santa María

6.1. Orografía

El área presenta altitudes que van desde 1.741 msnm hasta 3.157 msnm, con una media de 2.502 msnm, ver Figura 5; la variación altitudinal es considerable y se considera que éste es un factor que interviene y regula tanto los aspectos climáticos como una parte considerable de la susceptibilidad a la inestabilidad de laderas. Por otra parte, el cambio en altitudes, en cortas distancia, hace que el relieve sea abrupto y con pendientes elevadas.

ta

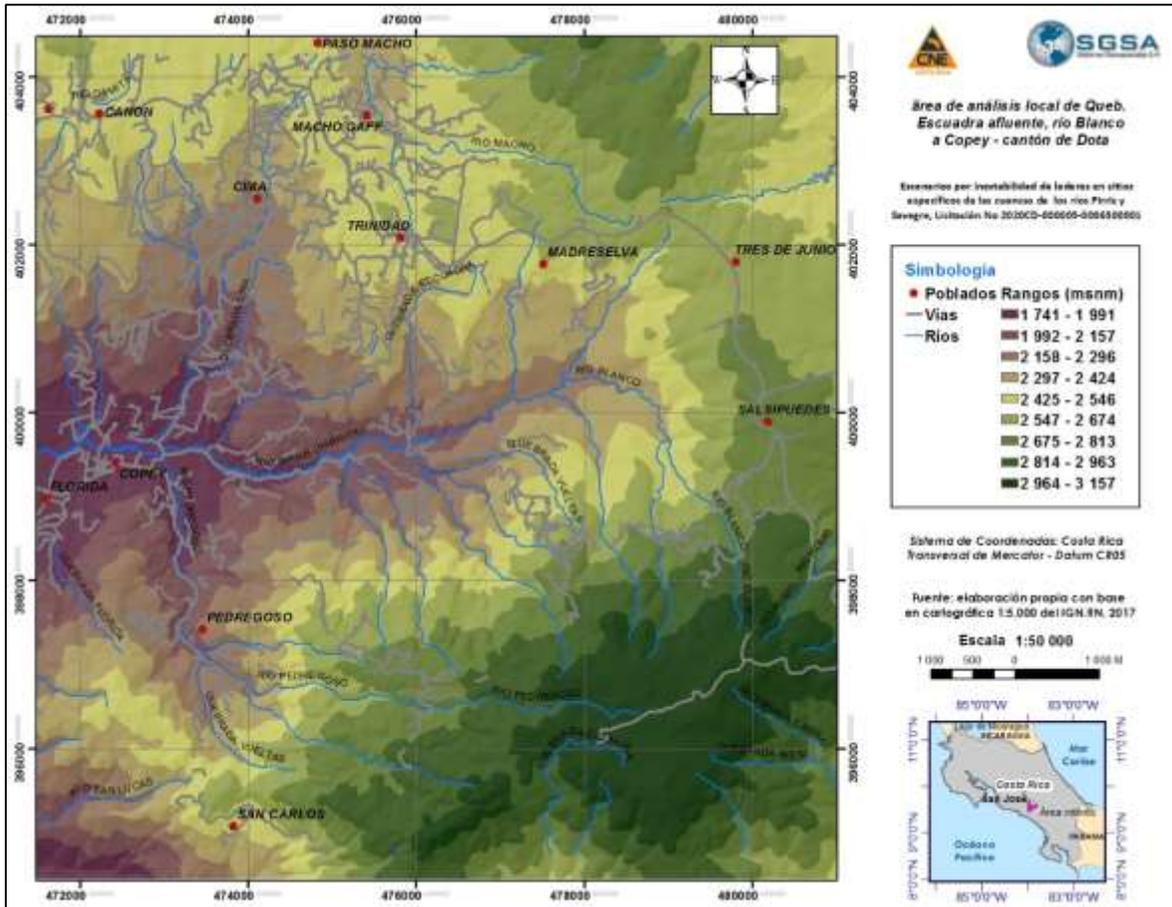


Figura 5. Modelo de Elevación digital del área de análisis en Copey-Dota

6.2. Pendientes

Con base en el Decreto Ejecutivo 41860-MAG-MINAE, se han establecido los rangos de pendiente y su nomenclatura está basados en la metodología de Capacidad de Uso de la Tierra; en la Figura 6 se incluyen los rangos de las pendientes.

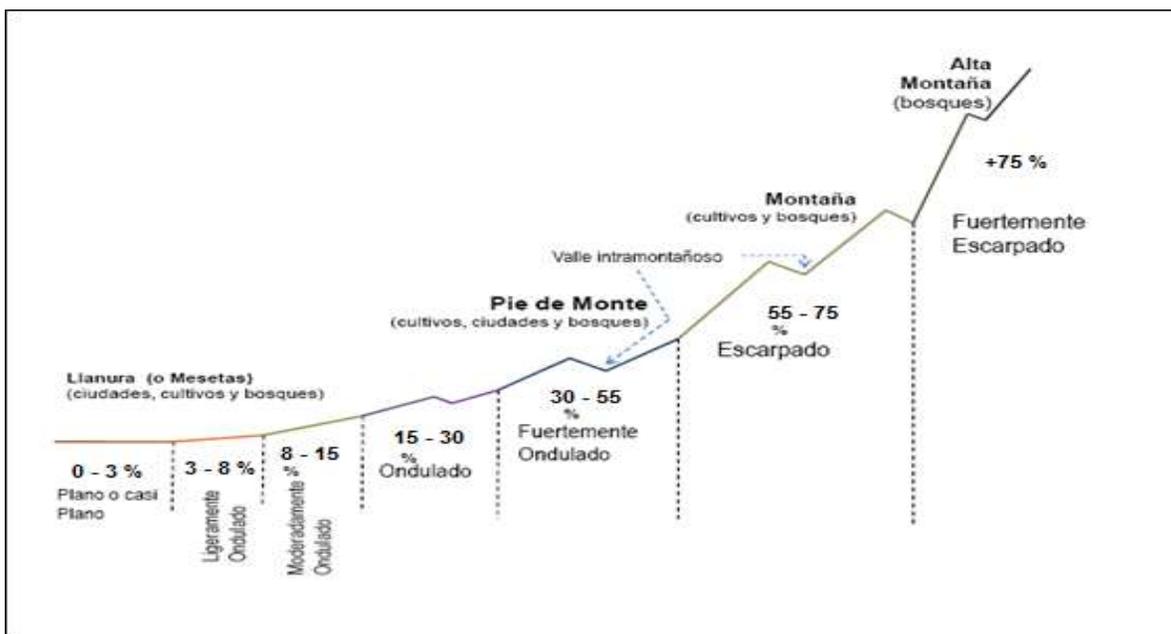


Figura 6. Tipos de relieve y convención de nomenclatura, según Decreto Ejecutivo Nº 41860 MAG-MINAE

En la Figura 7 se incluye la representación espacial del relieve relativo en el área de Copey de Dota.

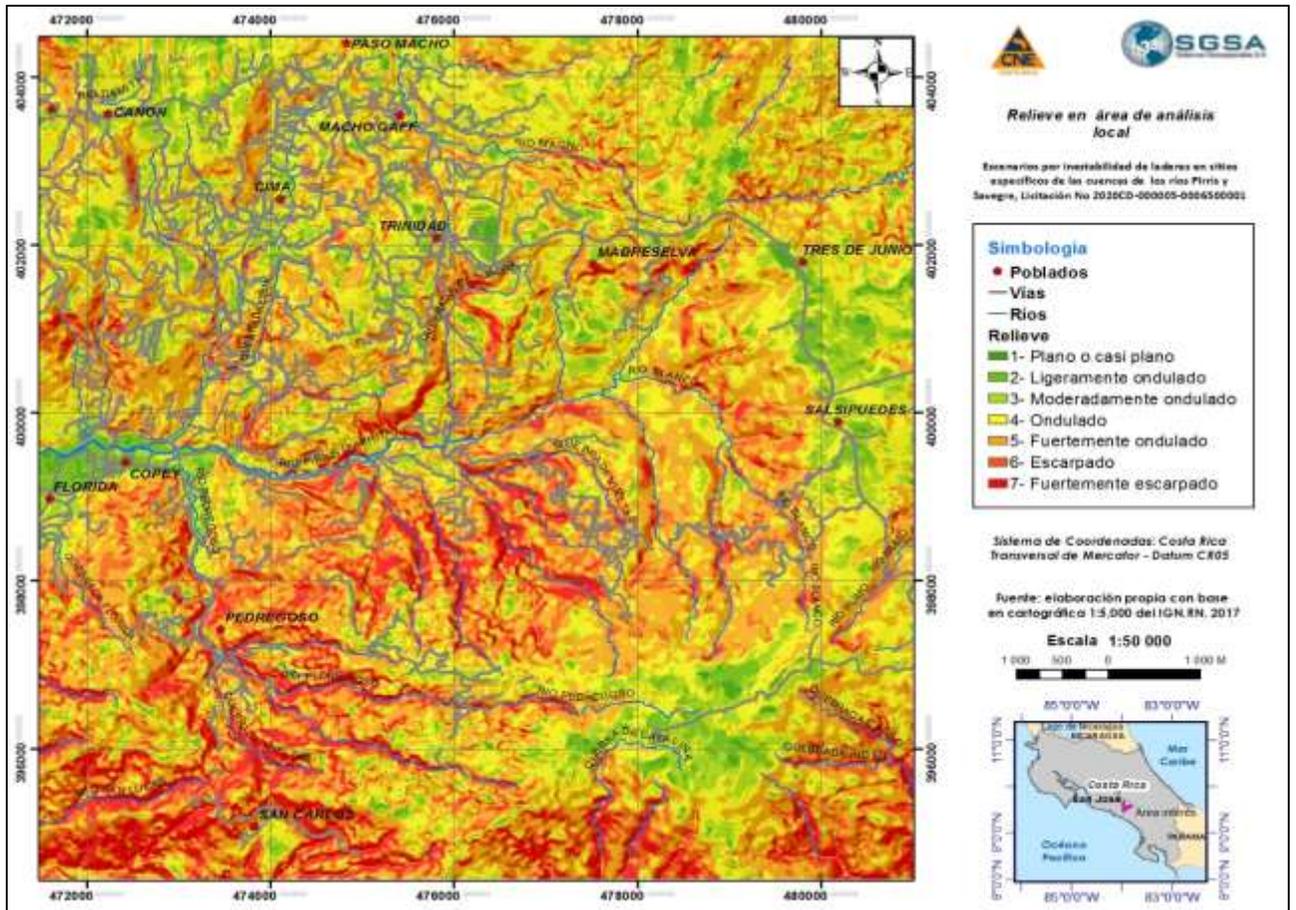


Figura 7. Relieve relativo en el área de análisis de Copey - Dota

Cuadro 1. Relieve y sus áreas respectivas; Copey de Dota

Clase	Rango %	Relieve	Área (Km ²)	Porcentaje
1	0 a 3	1- Plano o casi plano	0.80	0.80%
2	3 a 8	2- Ligeramente ondulado	4.95	4.96%
3	8 a 15	3- Moderadamente ondulado	11.39	11.40%
4	15 a 30	4- Ondulado	27.98	28.00%
5	30 a 50	5- Fuertemente ondulado	33.86	33.90%
6	50 a 75	6- Escarpado	13.32	13.33%
7	Mayor 75	7- Fuertemente escarpado	7.61	7.62%
Total			99.91	100.00%

6.3. Delimitación de las cuencas y subcuencas hidrográficas

Con base al Modelo de Elevación Digital (MED) y utilizando el programa SWAT, se logran delimitar las cuencas y subcuencas hidrográficas en el área de Copey de Dota.

Dado que para el caso del deslizamientos en el área de Copey, Quebrada Escuadra, se pidió el análisis de un efecto combinado entre el deslizamiento, el represamiento y un evento de lluvia intensas, que se logra a través de la modelación del rompimiento de presa se debe utilizar un área mayor, esto es el evento a modelarse comprende un evento extremo de lluvia y el deslizamiento en el sitio, provocando el represamiento del agua, por la presa efímera que se forma.

En la Figura 8 se incluyen las cuencas delimitadas, que incluyen el área por donde transcurre el flujo (material de la presa de tierra y agua) y que se prevé termine acumulándose aguas abajo en el embalse del PH Pirrís, que funcionaría, a la postre como amortiguador del evento pico modelado, y a su vez recibiría una carga importante de sedimentos¹.

¹ En este estudio no se valora la pérdida del volumen útil del embalse, combinada o concatenada.

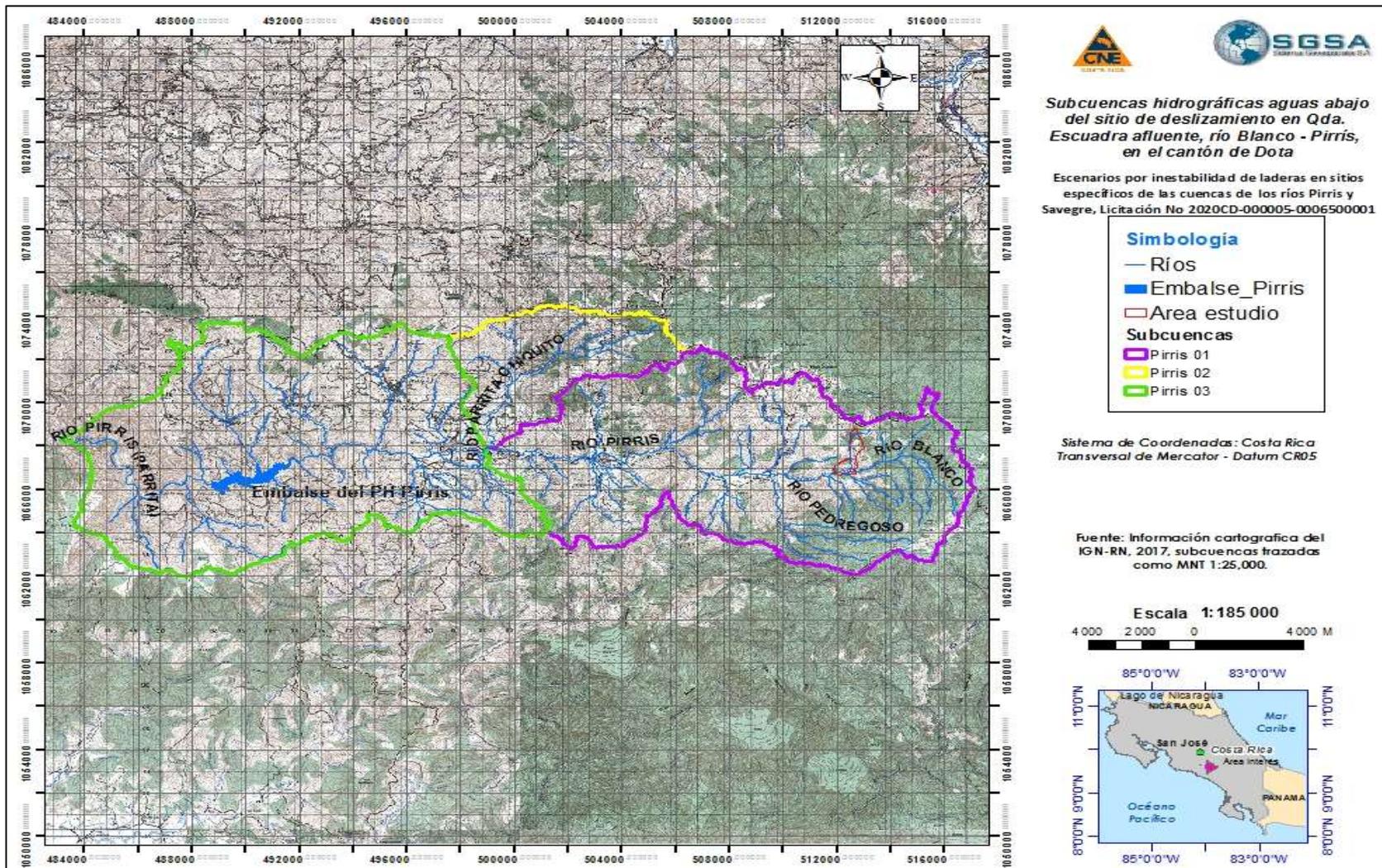


Figura 8. Subcuencas definidas utilizando el MED de 2 metros de pixel.

6.4. Zonas de vida

Con respecto a la clasificación de las Zonas de Vida, se utilizó el Mapa Ecológico de Costa Rica, según el Sistema de Clasificación de Zonas de Vida del Mundo de L. R. Holdridge, del Centro Científico Tropical. En la Figura 9 se muestran las 3 zonas en donde se ubica el área de interés.

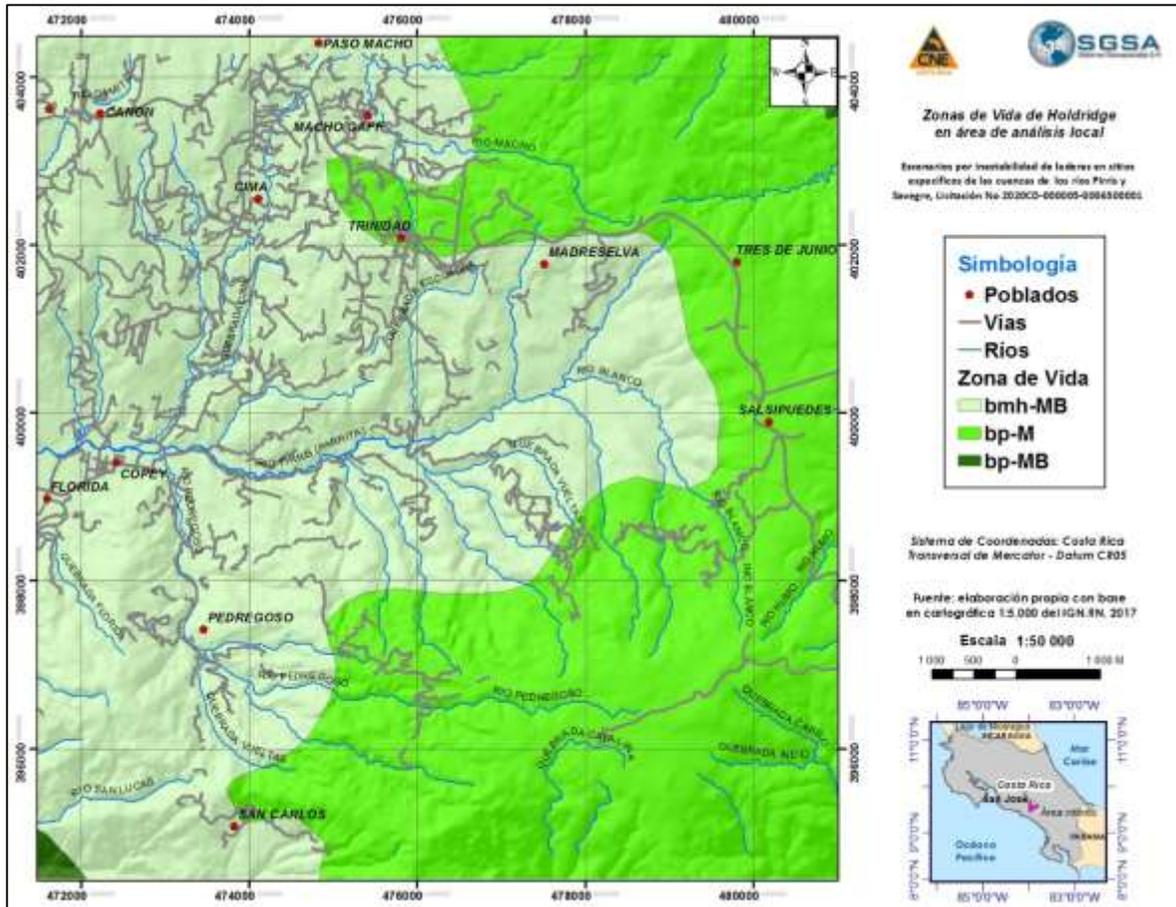


Figura 9. Zonas de vida en el área de interés

Cuadro 2. Características y áreas de las Zonas de Vida en el sitio de análisis

Número	Zona	Nombre de zona - piso	Biotemperatura	Precipitación (mm)	Area (Km ²)	Porcentaje
1	bmh-MB	bosque muy húmedo - Montano Bajo	12-18	2000-4000	54.33	54.49%
2	bp-M	Bosque pluvial - Montano	6-12	2000-4000	44.85	44.98%
3	bp-MB	Bosque pluvial - Montano Bajo	12-18	4000-8000	0.52	0.53%
Total					99.70	100.00%

6.5. Aspectos climatológicos

Con base en el mapa de precipitación anual, correspondiente al estudio del balance hídrico CATIE/CRS, 2015, con los datos del IMN para el período 1961-2015 para el área de interés, la precipitación media anual es de 2.682 mm, con un máximo de 3.600 mm y un mínimo de 1.996 mm. Se observa la presencia de un cinturón pluviométrico en la parte de mayor elevación de la cuenca y que contiene los máximos de precipitación, los cuales descienden hacia la parte central y occidental del área. Es probable que este máximo se deba al ascenso y condensación orográfica del aire húmedo procedente del Pacífico. La distribución temporal de la precipitación permite detectar un período menos lluvioso entre diciembre y abril.

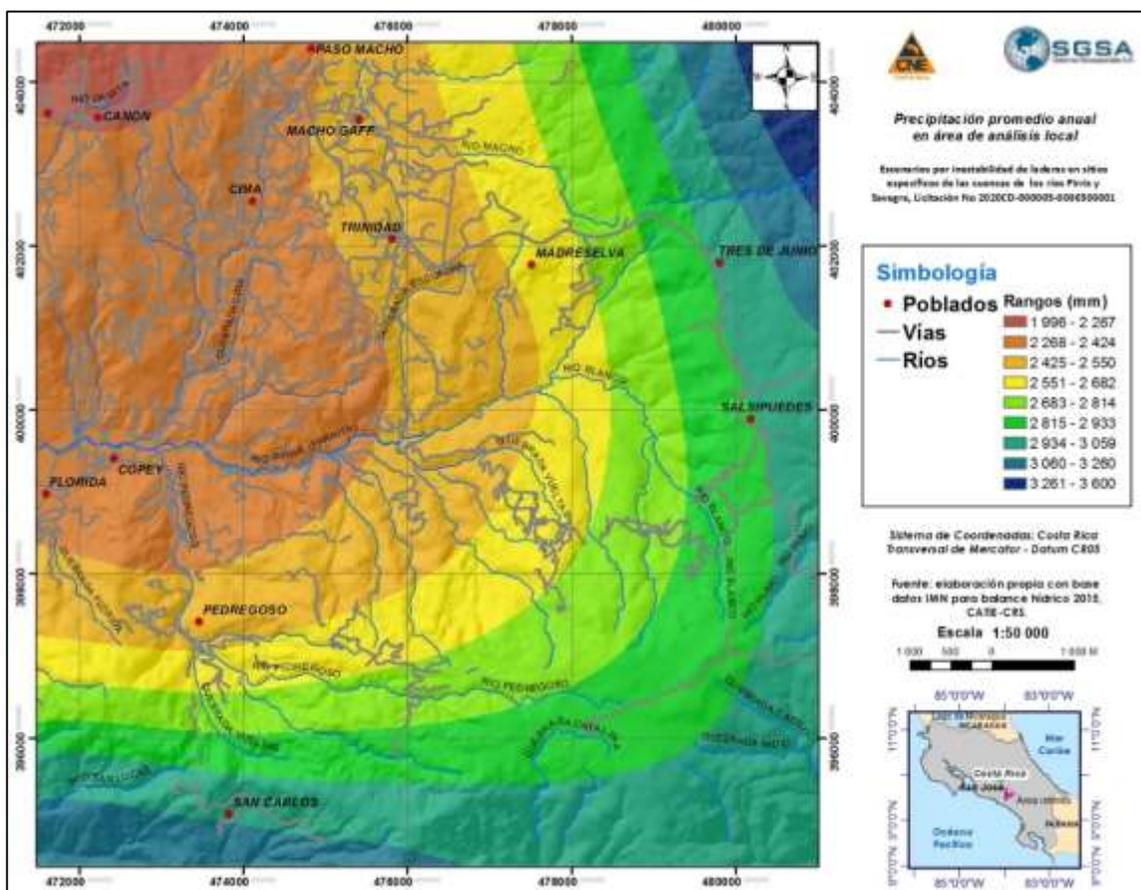


Figura 10. Precipitación promedio anual en la cuenca alta del río Pirrís.

En la Figura 11 se incluye la distribución de la temperatura en el área de interés. La temperatura está asociada a las elevaciones del terreno. Así, hacia el Suroeste se presentan las temperaturas más bajas, con un La temperatura de 8,9 °C y los máximos al Oeste con 16,6 °C., y un promedio para el área de análisis de 11.0 °C.

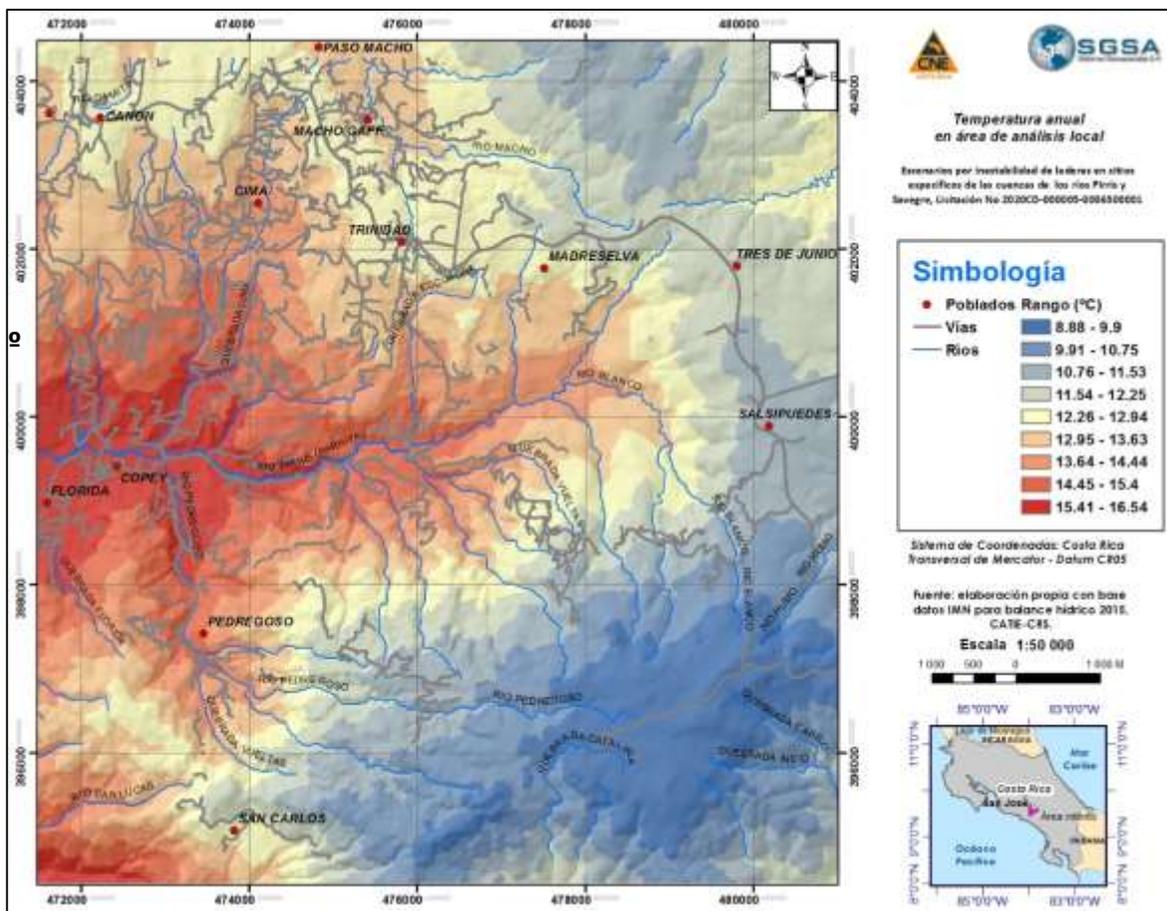


Figura 11. Temperatura promedio anual en el área de interés

6.6. Análisis de la capacidad de uso de la tierra

Determina el mejor uso posible del recurso “tierra” para fines agrícolas y de protección forestal. Para ello, los datos empleados se obtuvieron del mapa homólogo elaborado por la Fundación Neotrópica, 1:50,000, 1999. La capacidad de uso de la tierra es un instrumento muy valioso para la toma de decisiones en medio rural, puesto que involucra un conjunto de variables biofísicas muy importantes sobre los suelos y su articulación con los otros componentes del medio natural.

De la conjugación de esas variables se origina una clasificación en 8 clases, cuyas últimas 4 son las más restrictivas, por presentar limitaciones severas, que tienen que ver con la zona de vida, la amenaza de la erosión, el drenaje, la pendiente. Comparadas estas zonas con el uso actual, definen lo que se ha llamado la condición de uso, es decir el tipo de respuesta logrado una vez que se correlaciona el uso actual de las tierras con su capacidad.

En el caso del mapa de la capacidad del uso de la tierra de la Fundación Neotrópica, las clases agrícolas se agrupan en: Clase A, y las clases de vocación forestales se identifican como VI, VII y VIII. Para el caso de área analizada, se ha preparado el mapa mostrado en la Figura 12.

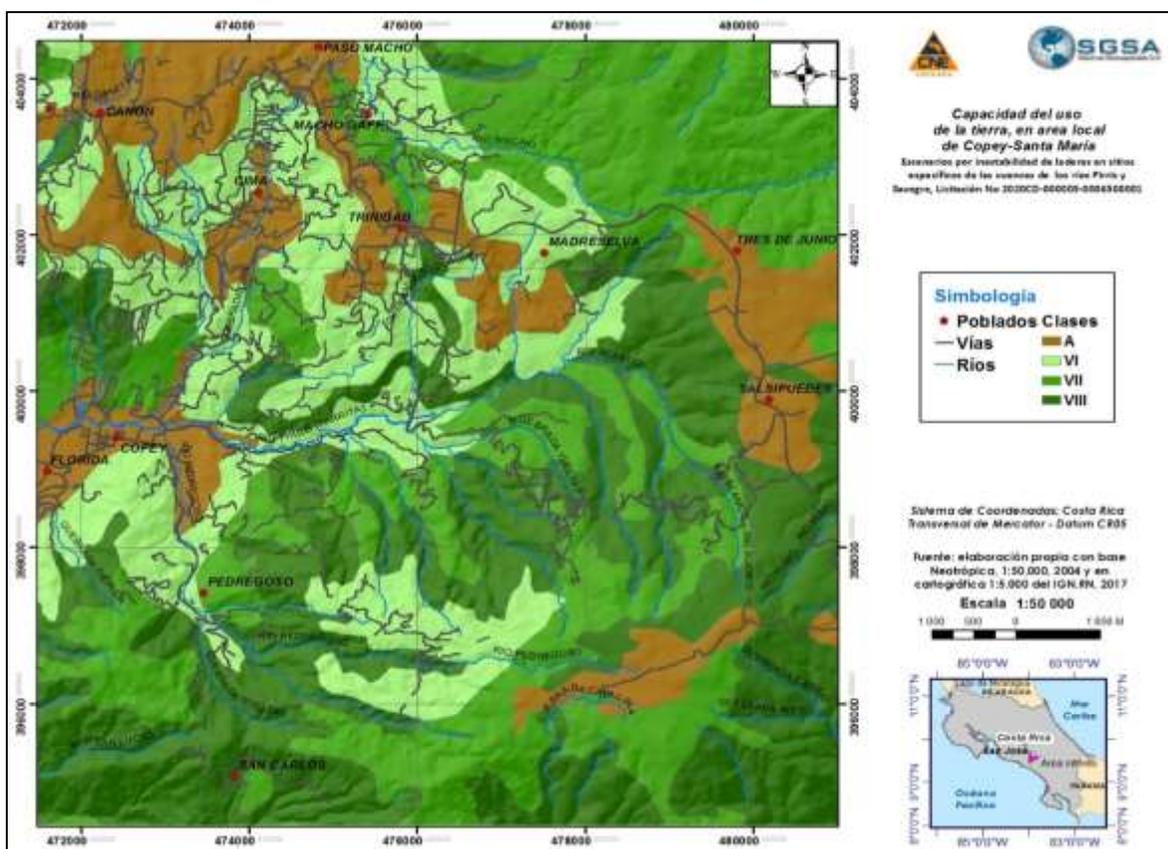


Figura 12. Capacidad de uso de la tierra en el área de Copey-Santa María

6.7. Uso – cobertura de la tierra

Por “uso de la tierra” se entiende la función o la utilidad productiva que se le da a la misma, con fines de su aprovechamiento por medio de cultivos, de pastoreo (ganado u otro), urbanización, conservación de suelos, bosques naturales, bosques implantados, etc. De esta manera se puede determinar cuál es la utilidad en la cuenca hidrográfica y cómo ha sido su desarrollo a lo largo de un tiempo específico.

El mapa de cobertura – uso de la tierra es el producto de la interpretación de la orthofoto del 2017, IGN-RN, con apoyo en la información proveniente del Proyecto Grúas del INBIO (2007).

En la Figura 13 se muestra el uso - cobertura de la tierra en el área de interés.

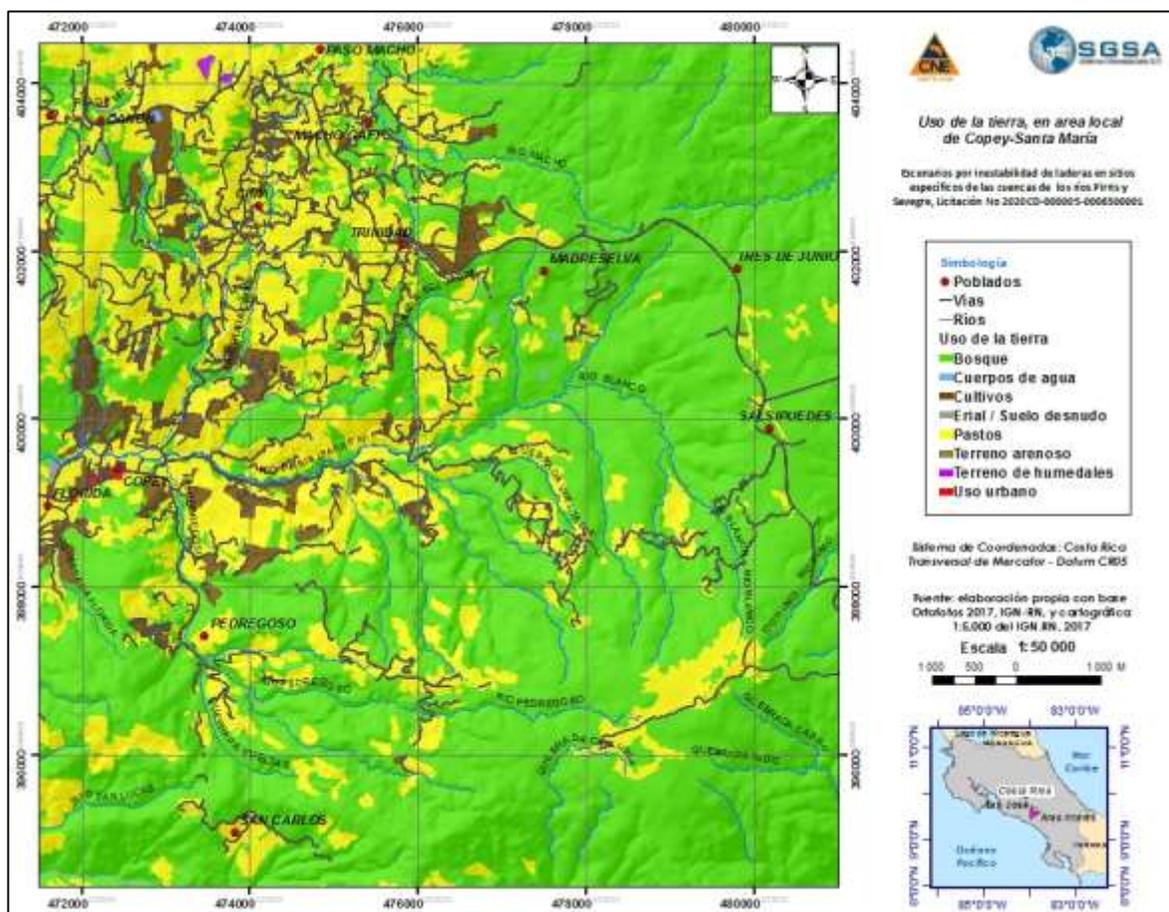


Figura 13. Uso - cobertura de la tierra en el área de Copey-Santa María

6.8 Uso actual de la tierra, capacidad de uso, conflictos del uso.

Para este análisis se aplicó la metodología incorporada en el Decreto Ejecutivo 41860-MAG-MINAE para establecer las áreas de conflictos de uso, esto es el uso que debería ser el correcto, concordante o recomendado, versus la subutilización y/o sobreutilización. Para ello, fue realizada una correlación espacial, por sobreimposición, del Uso Actual de la Tierra y de la Capacidad de Uso de las Tierras.

Esto ha permitido elaborar varias propuestas de reordenamiento del recurso tierra, de modo más claro y apropiado, el cual, en conjunto con los mapas de las amenazas naturales, constituyen un punto de partida para la aplicación de los instrumentos del ordenamiento territorial y de los Planes Reguladores. Fue utilizada una matriz para determinar la condición del uso de cada tipo (Cuadro 8).

Cuadro 3. Matriz para determinar la condición de uso de la tierra

CATEGORIAS DE USO DE LA TIERRA	A	PB	SPRC	FR	BP
	(I, II, III, IV)	(V)	(VI)	(VII)	(VIII)
Cultivos Anuales (CI) (1)	U(2)	U(2)	Ot (3)	O(4)	Ot (4)
Cultivos Perennes (Csl) (2)	U(1)	U(2)	U(2)	O(3)	Ot (4)
Pastos (P) (3)	U(2)	W(1)	Ut(2)	O(3)	Ot(4)
Bosque natural (Bn) y secundario (4)	W(1)*	W(1)	W(1)*	W(1)	W (1)
Charral (Rpm) y Tacotal (5)	U(2)	W(1)	U(2)	W(1)	W(1)
Tierras misceláneas (terrenos yermos) (6)	U(2)	W(1)	U(2)	W(1)	W(1)
Agua y anegados (7)	W(1)	W(1)	W(1)	W(1)	W(1)
Urbano (8)	W(1)	W(1)	W(1)	O(3)	Ot(4)

Fuente: SGSA (2010)

Las claves de esta matriz son las siguientes:

<i>Símbolo</i>	<i>Criterios de definición</i>
W:	Utilización dentro de su capacidad, con y sin tratamientos de conservación (1)
U:	Subutilizados (2)
O:	Sobreexplotado (3)
Ot:	Gravemente sobreexplotado (4)

La combinación del mapa de capacidad del uso de la tierra, con el uso u ocupación de la tierra, permite obtener las divergencias del uso de la tierra, el cual se presenta en la Figura 45. En el Cuadro 9 se incluyen las áreas, según el tipo de divergencias, para el área de interés.

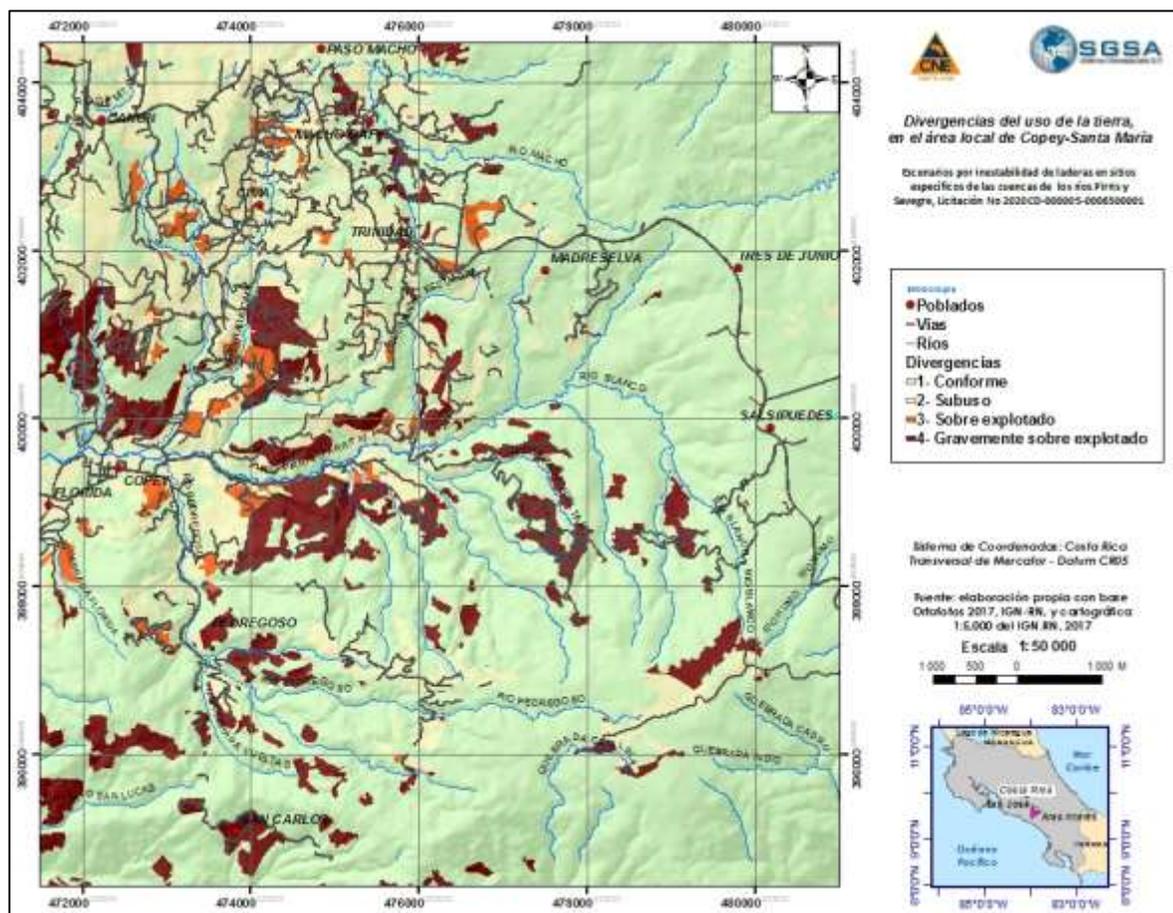


Figura 14. Divergencia de uso de la tierra para en el área de Copey-Santa María
Elaboración propia, siguiendo metodología de Capacidad de uso de la Tierras

Cuadro 4. Áreas de divergentes en el área de Copey- Santa María

Código	Divergencia	Área (km ²)	Porcentaje
W	A capacidad o conforme	69.13	72.79%
U	Sub utilizado	15.99	16.83%
O	Sobreexplotado	1.57	1.65%
Ot	Gravemente sobreexplotado	8.29	8.73%
Total		94.97	100.00%

El área se encuentra con un uso con capacidad “conforme” en un 69 Km² o 72,8% del área de análisis, 16,0 Km² o 16,8% de subutilización y 9,9 Km² o 10,4% en sobreuso, que se debe corregir. Respecto al subuso hay que verificar que no sean áreas en inestabilidad de laderas alta y muy alta

6.10. Geología

6.10.1. Copey de Dota y alrededores

El área bajo estudio se sitúa en la vertiente del Pacífico, dentro de la unidad morfoestructónica “Cordillera neógena del arco interno”, sección Talamanca (Denyer et al., 2003, 2009). Las unidades geológicas predominantes son sedimentarias y volcánicas del Mioceno, pertenecientes a la cuenca Candelaria y al Grupo Aguacate, así como depósitos cuaternarios de origen coluvio-aluvial y los coluvios generados por la inestabilidad de laderas.

La geología del área de la cuenca alta del río Pirrís, vertiente pacífica de la cordillera de Talamanca en la fila Dota, en Copey de Dota y alrededores ha sido reconstruida a partir de una serie de trabajos anteriores (Mora et al., 1985; Obando, 2004, 2011; Denyer & Alvarado, 2007; ICE, 2007; CNE, s.f.; Sojo et al., 2017; y Obando & Murillo, 2019), la cual ha sido modificada y reinterpretada en parte con base en trabajo de campo, fotografía aérea, y criterios fotogeológicos y geomorfológicos a partir del uso de imágenes *Google Earth* y la base cartográfica SNIT (IGN) (Figura 16).

El mapa geológico del área seleccionada para el estudio alrededor de Copey de Dota (aproximadamente 100 km²), se muestra en la Figura 16. La estratigrafía utilizada en este trabajo sigue la propuesta convencional del área central de Costa Rica de Denyer & Arias (1991).

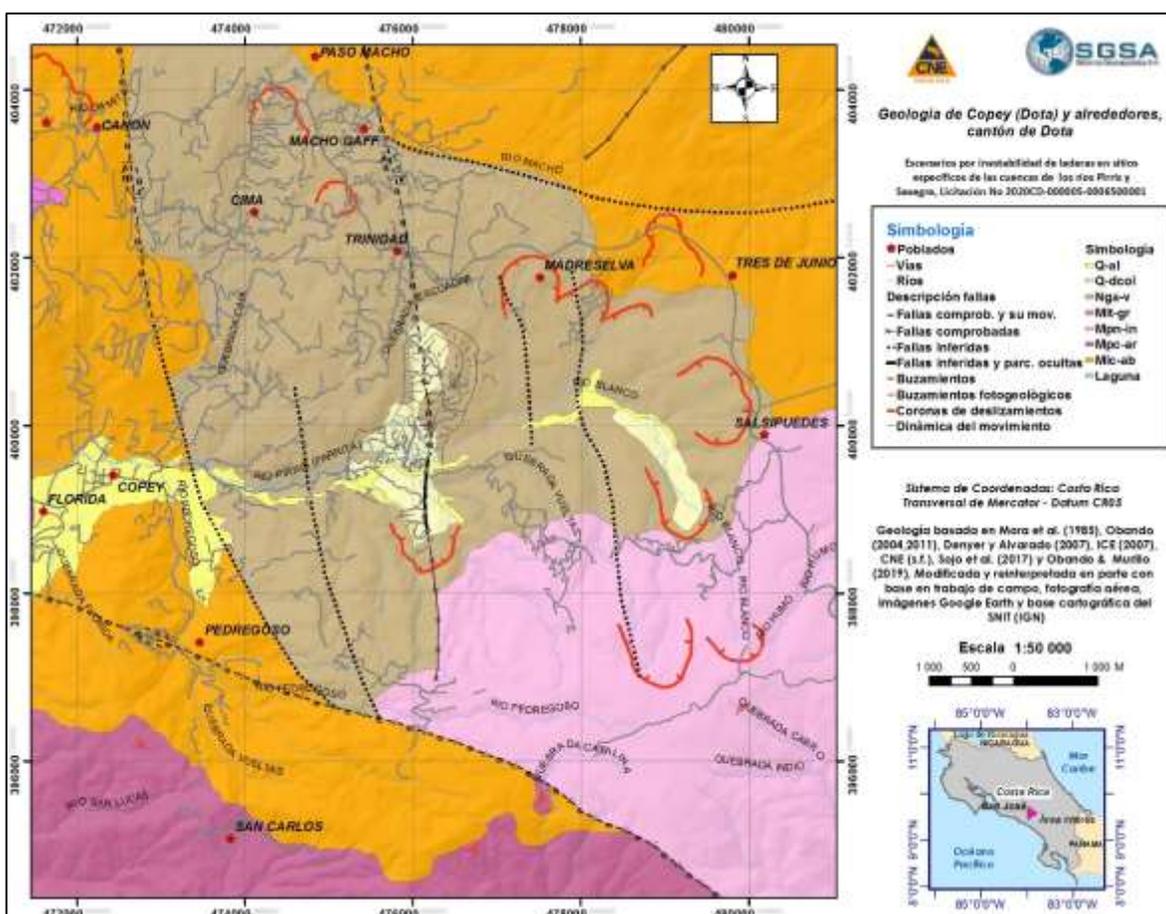


Figura 16. Geología en el área de Copey – Santa María

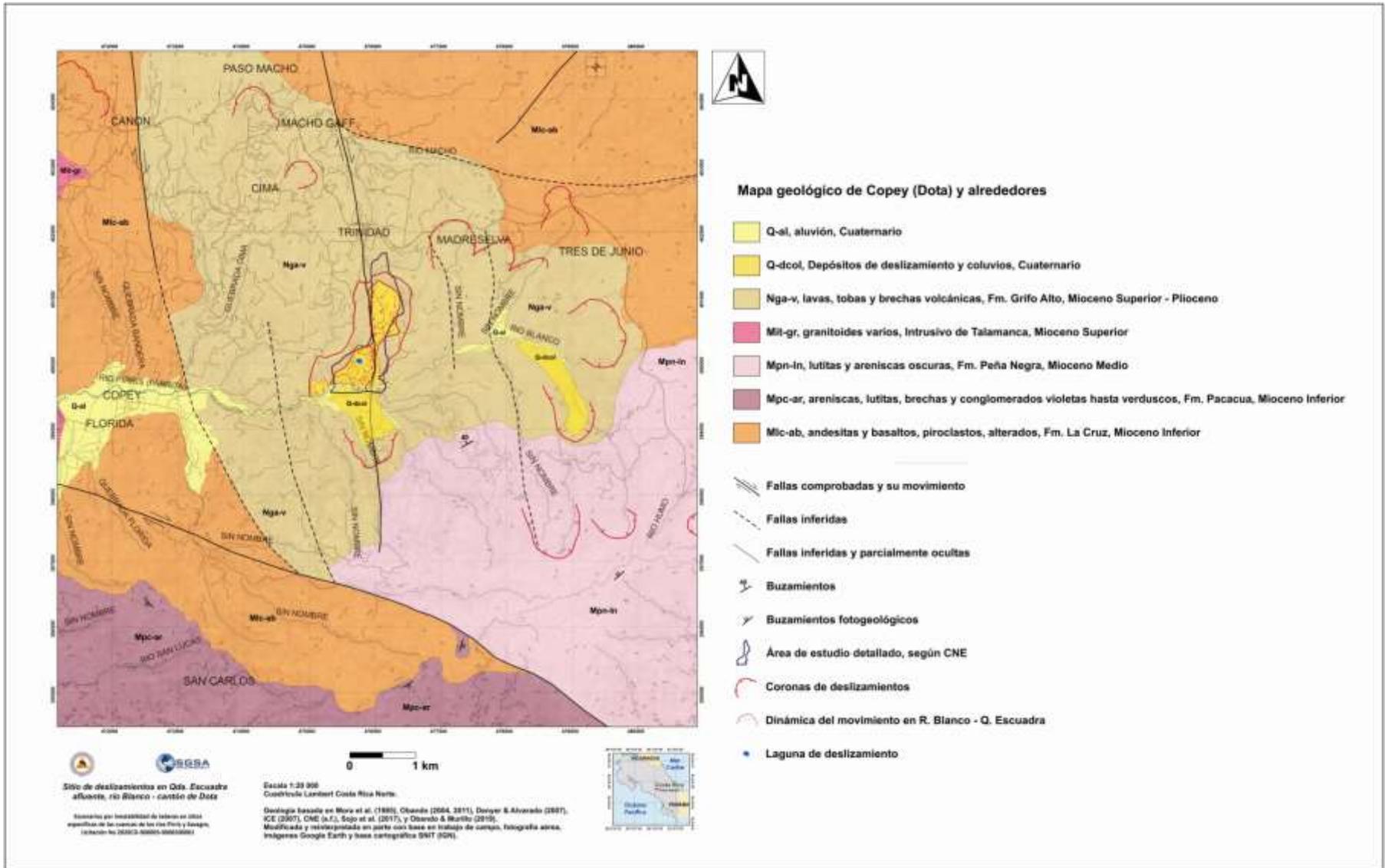


Figura 17. Mapa geológico del área estudiada, en la periferia de Copey –Santa María de Dota.

6.10.1.1. Formación La Cruz (Grupo Aguacate) (Mlc-ab, andesitas y basaltos, piroclastos, alterados, Mioceno Inferior)

Denyer & Arias (1991) definieron esta formación como un conjunto de lavas predominantemente basálticas y tobas que sobreyacen concordantemente la secuencia sedimentaria en el Valle Central. Vienen a ser las facies volcánicas aproximadamente concordantes con las sedimentitas, hoy basculadas, y por tanto discordantes bajo las secuencias volcánicas no basculadas. Forma parte de lo que se ha llamado ampliamente como Grupo Aguacate.

Al noroeste del área del área de estudio (hoja topográfica Caraigres), Arias & Denyer (1990) habían mapeado principalmente volcanitas de la Formación Grifo Alto. Sin embargo, con base en el mapa reciente de Sojo et al. (2017b), se ha comprobado que gran parte de las volcanitas corresponden con las de la Formación La Cruz, en tanto están fuertemente basculadas y posiblemente hasta plegadas. De hecho, el mapa de Arias & Denyer (1990) muestra buzamientos de 25° y 45° al N±20°.

Fuera del área cartografiada, sobreyacen entre concordante y ligeramente discordante a las formaciones Peña Negra, Coris y Pacacua (Arias & Denyer, 1990; Denyer & Arias, 1991; Sojo et al., 2017 a,b), y alcanzan unos 1500 m de espesor, según Denyer & Arias (1991), quienes consideran que tiene una edad de Mioceno Superior terminal. Dos dataciones en el noroeste de la hoja Caraigres arrojan edades de $10,90 \pm 0,10$ Ma y $11,35 \pm 0,10$ Ma (MacMillan et al., 2004), y una mostrada en el noroeste de la hoja Tapantí (Sojo et al., 2017b) muestra una edad de 9,3 Ma, que vienen a ser todas Mioceno Superior temprano. La sobreyacen discordantemente la Formación Grifo Alto y varias otras unidades volcánicas cuaternarias, o bien depósitos de sedimentos recientes, principalmente aluviales.

No obstante, las rocas que han sido cartografiadas en este trabajo, al sur de Copey, por los ríos Pedregoso y Naranjo, en las inmediaciones de la Fila Dota, sugieren que al menos una parte de las volcanitas subyacen a la Formación Pacacua (o se interdigitan), y que por tanto, pueden abarcar un rango desde el Mioceno Temprano. Serían eventualmente correlacionables con lo que ha sido cartografiado por Alfaro et al. (2018) como Unidad Lohmann en la cordillera de Tamanca, y para lo cual se necesitan más detalles de cartografía geológica, para aclarar los detalles estratigráficos.

En esta área son principalmente lavas andesíticas y basálticas lajeadas y alteradas, porfiríticas con fenocristales de plagioclasa y piroxenos (y cantidades variables de olivino), y abundante clorita secundaria a partir de los minerales máficos, gris verdosas (Figura 18). También hay tobas y brechas, aunque relativamente menos abundantes que las lavas. Las lavas y tobas presentan un grado mediano a elevado de alteración hidrotermal; a veces no poseen sus estructuras originales y aparecen tan solo sus fantasmas. Las rocas se encuentran además meteorizadas, y muestran suelos residuales no muy desarrollados, con espesores de apenas 1 m máximo en algunas áreas, aunque son de hasta >3 m de espesor en las zonas altas, hacia los páramos. Los espesores de roca meteorizada son del orden de 4,5-8,5 m, y de mediana a mala calidad mecánica.

La Formación La Cruz aflora en los alrededores de Copey, al norte y sur, y hacia la Fila Dota, así como al noreste de Macho Gaff y Paso Macho, cerca de la carretera Interamericana Sur, y hacia el noreste (Sojo et al., 2017 a, b).



Figura 18. Rocas de la Formación La Cruz. A y B: Lavas lajeadas al noroeste del área cartografiada.

6.10.1.2 Formación Pacacua (Mpc-ar, areniscas, lutitas, brechas y conglomerados violetas hasta verduscos, Mioceno Inferior)

Son principalmente rocas volcánicas masivas a estratificadas decimétrica a pluridecimétricamente, que van de areniscas medias-gruesas a brechillas, color gris, rojizo, moráceo o verdoso, con abundantes cristales y litoclastos volcánicos, así como lutitas y conglomerados subordinados (Figura 19). Están interestratificadas con rocas tobáceas, algunas de las cuales muestran recristalización y geodas milimétricas a centimétricas rellenas con cristales de cuarzo. Se encuentran basculadas principalmente al suroeste, al sur de la Fila Dota. Como en el sector de la hoja Tapantí (Sojo et al., 2017b) y en parte de la hoja Carairges se ven basculadas al NW, se infiere que hay un plegamiento regional.

Las rocas se presentan medianamente tectonizadas, alteradas y meteorizadas. Se observan discontinuidades frecuentes y persistentes, principalmente diaclasas en al menos dos direcciones, que, aunadas a las estratificación, dan paralelepípedos (Figura 18), que con frecuencia desarrollan meteorización esferoidal. Las diaclasas observadas suelen ser abiertas, rugosas, con rellenos, con y sin sello. Al sur de la Fila Dota, los buzamientos de las rocas tienen una con tendencia a orientarse a favor de la pendiente de la ladera.

Las rocas meteorizadas tienen colores pardos hasta café o rojizo, y han desarrollado suelos residuales (arenas, limos y arcillas) y coluvios (bloques, arenas, bloques y cantos) de 3-5 m de espesor. La vegetación es moderada (semideforestada en sectores de pastoreo, o plantaciones, y hacia los páramos de las zonas altas) a densa.

El contacto inferior de esta formación en el área estudiada no se observa, aunque por las posiciones estratigráficas observadas, sobreyace al menos en parte a la Formación La Cruz (o Unidad Lohmann, como se ha discutido supra), y el contacto superior sería concordante y por falla con la Formación Peña Negra. Bajo Belén, se encuentra a unos 200-250 m bajo la superficie (o sea, alrededor de los 700 m s.n.m.). No es posible, por tanto, determinar su espesor, aunque los calculados previamente son de 1200 a 2000 m (Denyer & Arias, 1991).

Su edad había sido establecida como Mioceno Medio- Superior por Alvarado (1982). Denyer & Arias (1991), empero, con base en criterios estratigráficos consideraron que se depositó durante el Mioceno Inferior.



Figura 19. Rocas de la Formación Pacagua. A y B: Roca volcániclastica gris, poco fracturada, en estratos decimétrico a pluri-decimétricos. C y D: Rocas tobáceas y volcániclasticas, general y en detalle macroscópico de la brechilla con gradación normal, fuertemente basculada. Hay además areniscas volcániclasticas de medias a muy gruesas, color gris, con litoclastos y abundantes cristales.

6.10.1.3 Formación Peña Negra (Mpn-In, lutitas y areniscas oscuras, Mioceno Medio)

Denyer & Arias (1991) definieron esta formación a partir de un estratotipo en la localidad homónima en la hoja Candelaria. Las rocas que la conforman son areniscas medias a finas y lutitas, pardas y grises hasta negras, en estratos usualmente decimétricos.

Este tipo de rocas se observan aflorando en el sector sureste del área cartografiada, entre el río Pirrís, y el cerro y páramo Vueltas. Las rocas son principalmente areniscas medias a lutitas, no calcáreas hasta levemente calcáreas, gris claras a oscuras, con laminaciones paralelas y hasta ligeramente convolutas, volcániclasticas, con granos de bien redondeados a subredondeados, elongados y con moderada a buena selección, localmente con colores verdosos, muy deleznable (Figura 20). En algunos afloramientos se observan alteradas con parches varicolores sin alteración visible, pero con vetillas milimétricas de ceolitas, de entre las cuales se ha reconocido bien la yugawaralita (Obando & Murillo, 2019).

Las rocas están profusamente meteorizadas a suelos color pardo-rojizo, con espesores de 5 a más de 10 m, y con perfiles de roca meteorizada que pueden alcanzar hasta 25 m. Las rocas se presentan medianamente tectonizadas, alteradas y meteorizadas, con discontinuidades frecuentes y persistentes (diaclasas y estratificación; Figura 20) abiertas, lisas, con rellenos sin sello. El suelo residual (limos, arcillas) es de elevada compresibilidad y plasticidad (tipos MH, CH) y los coluvios (arenas, bloques centimétricos) suprayacentes son frecuentes y espesos (> 5m).

Al noroeste del cerro Vueltas hay una tendencia marcada a que sus buzamientos estén orientados a favor de la pendiente de la ladera, de modo que los buzamientos muestran una estructura homoclinal desde el cerro Vueltas hacia el noroeste, sobreyacida por las volcanitas de la Formación Grifo Alto. Su edad había sido establecida como Mioceno Medio por Denyer & Arias (1991).

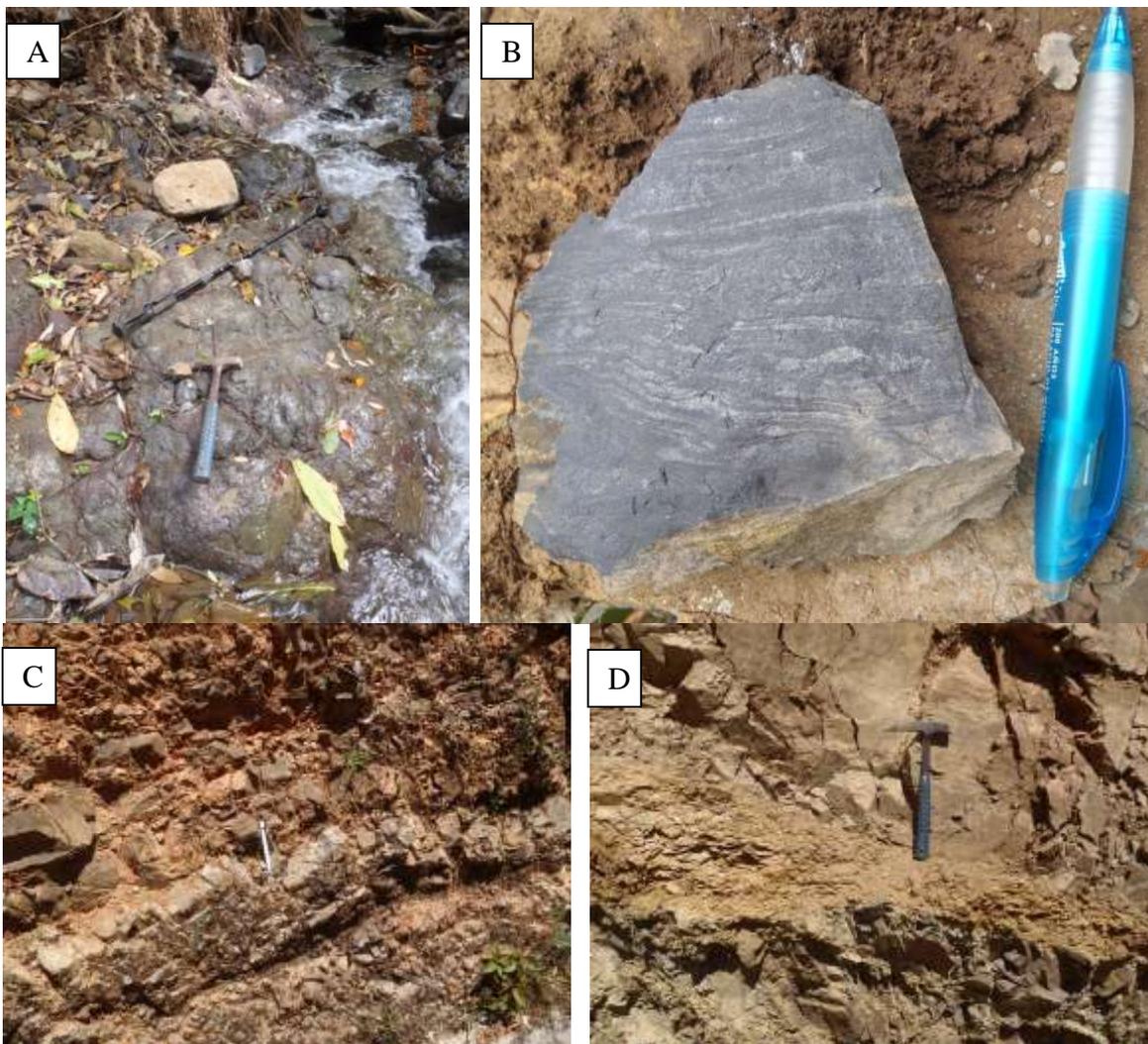


Figura 20. Lutitas y areniscas finas oscuras de la Formación Peña Negra. A: Frescas en un pequeña quebrada. B: Un detalle de la roca, con sus laminaciones. C y D: Detalles de afloramientos de la roca meteorizada, de colores pardos y tendencias a un desmoronamiento en fragmentos centimétricos, deleznales.

6.10.1.4. Intrusivo de Talamanca (Mit-gr, granitoides varios, Mioceno Superior)

En la zona estudiada aparece como un *stock* principal alrededor de Santa María, que cubre parte importante de la fila Dota, aunque en el área cartografiada solo aparece en un par de parches del sector oeste. Sin embargo, el cauce del río Pirrís entre Copey y Santa María, discurre sobre estas rocas (Denyer & Alvarado, 2007).

Son principalmente granodioritas y monzogabros cuarcíferos, con hornblenda y biotita, blancuzcas a grises, de grano medio a fino, con abundantes xenolitos y enclaves (Figura 21). Sus edades determinadas radiométricamente son de 8,7-8,9 Ma (Mioceno terminal; MacMillan et al, 2004), de modo que el magmatismo ha sido en previo al de Grifo Alto, y por lo tanto documentan dos momentos diferentes de un arco del Mioceno, antecedente al arco cuaternario actual en el centro de Costa Rica.



Figura 21. Rocas del Intrusivo de Talamanca. A y B: Bloques decimétricos a métricos residuales que aparecen en afloramientos parcialmente meteorizados y arenitizados en la carretera entre Copey y Santa María. C: Según sus características macroscópicas (roca porfirítica) son de composición andesítica. En B se compara con la Ignimbrita Peñas Blancas. C y D: Vistas macroscópicas de la roca. C, de grano medio, y D de grano grueso con enclaves. E: Río Pirrís entre Copey y Santa María, donde discurre sobre las rocas plutónicas en un tramos encañonado. Vista hacia aguas arriba.

La intrusión del *stock* de Dota no ha causado un metamorfismo de contacto acentuado en las rocas adyacentes, aunque sí probablemente la alteración hidrotermal visible en muchas rocas de las formaciones presentes volcánicas en el área. Las rocas sanas son muy duras, los afloramientos masivos a poco fracturados son muy escasos; y más bien se ven fracturados en varios juegos de diaclasas; usualmente se presentan de mediana a altamente meteorizadas esferoidalmente y con

arenitización (Figura 20); las fracturas-diaclasas son medianamente densas, y los niveles freáticos son medianamente profundos (≥ 10 m). Se meteorizan a colores blancuzcos a pardos, también con suelos pardos de varios metros, y una arenitización intensa. Los suelos húmicos son de espesores medianos (≥ 3 m), con regolitos de desarrollo moderado a elevado; se observan sectores aislados con alteración hidrotermal.

6.10.1.5. Formación Grifo Alto (Grupo Aguacate) (Nga-v, lavas, tobas y brechas volcánicas, Mioceno Superior - Plioceno)

Denyer & Arias (1991) definieron esta formación para incluir volcanitas post-basculamiento del Mioceno Superior, sobreyacentes a sedimentitas y volcanitas basculadas en el Valle Central. De modo que es un grupo heterogéneo que incluye los Basaltos La Garita, ignimbritas y lavas andesíticas varias, así como las volcanitas y rocas fuertemente mineralizadas en los cerros de Escazú, y en otras estribaciones y cordillera de Talamanca (Sojo et al., 2017a, b; Alfaro et al., 2018).

Dentro del sector geológicamente cartografiado en este trabajo, afloran en general entre la carretera Interamericana sur, hasta la margen izquierda del río Pirrís. Son volcanitas varias, entre las cuales predominan las lavas andesíticas porfiríticas, lavas andesítico-basálticas y basálticas menos frecuentes, tobas y brechas, paleosuelos en medio de algunas secuencias, algunos de ellos calcinados. Algunas áreas presentan alteración hidrotermal, como ciertos sitios al sur del río Pirrís, hacia el cerro Vueltas. Estas rocas hidrotermalizadas muestran los fenocristales de plagioclasa arcillitizados, arcillas verdosas y óxidos de hierro con abundante ceolitización, las cuales pueden rellenar vesículas, y de entre las cuales sobresalen la yugawaralita y la laumontita (Obando & Murillo, 2019).

En el sector de la quebrada Escuadra y su intersección con el río Blanco para formar el río Pirrís, donde se encuentra el deslizamiento principalmente estudiado en este trabajo, afloran lavas andesíticas lajeadas meteorizadas en la base y hacia el sector superior afloran tobas, aunque los afloramientos son pequeños, discontinuos y muy meteorizados (Figura 22).

En general, las rocas son duras a medianamente blandas; medianamente meteorizadas y alteradas hidrotermalmente; las fracturas-diaclasas poco densas, pero abundan las rocas lajeadas. En ocasiones se aprecian paleosuelos “quemados” y metamorfismo optálico. Los suelos húmicos son de espesores medianos (≥ 3 m), con regolitos de desarrollo moderado a elevado. Los niveles freáticos son medianamente profundos (≥ 12 m).

El contacto inferior no es visible en afloramientos vistos, pero es disconforme, según las posiciones estructurales, sobre la Formación Peña Negra. El espesor visible es de algunas centenas de metros, aunque varias fallas la cortan y hacen difícil un mejor cálculo.

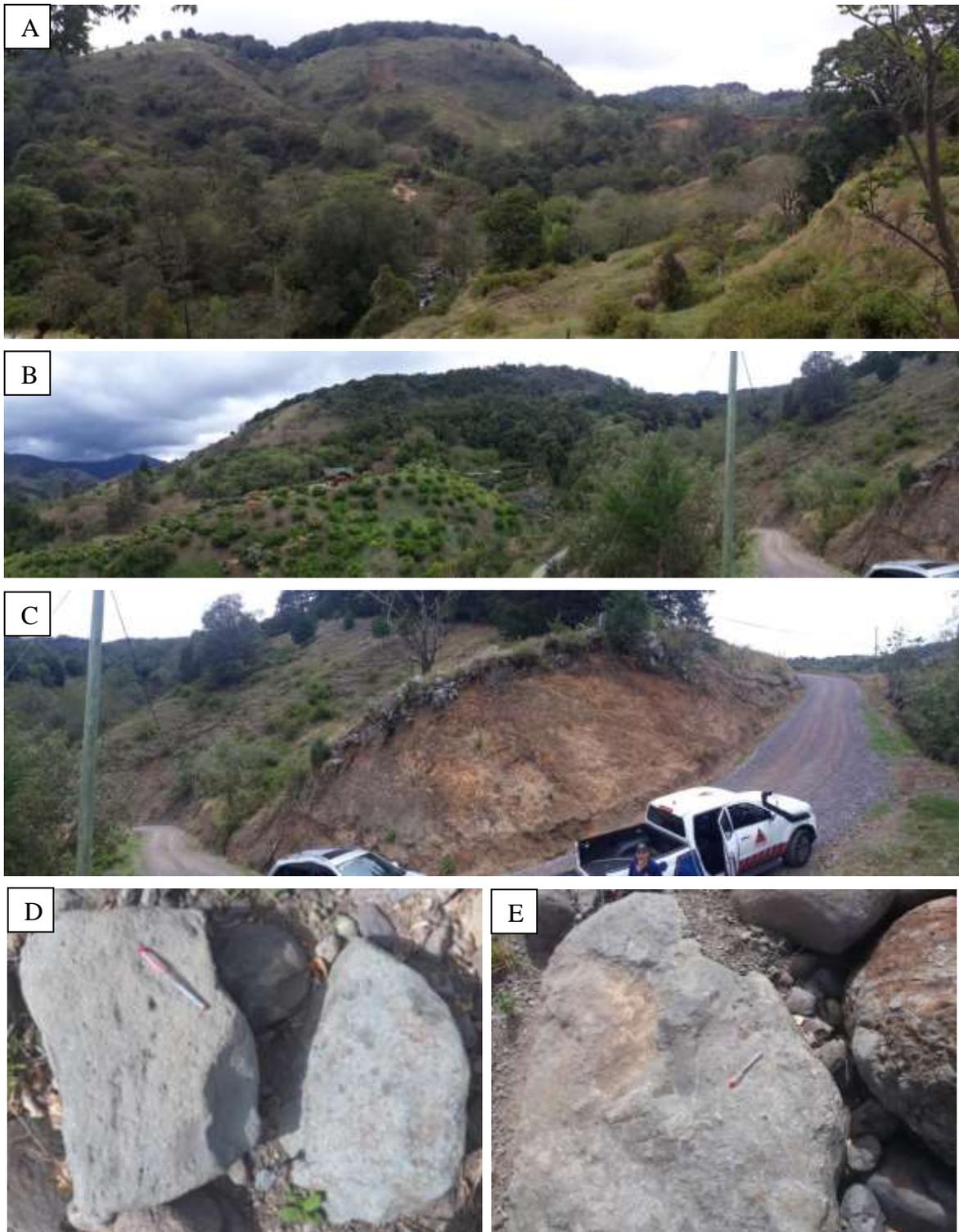


Figura 22. Sector al norte del río Pirrís (margen derecha), en donde aflora la Fm. Grifo Alto, y forman colinas abruptas, suavizadas por la erosión (A, B). C: Camino ligeramente al este de quebrada Escuadra, donde afloran lavas andesíticas muy meteorizadas. D y E: Lavas porfíricas y brechas, respectivamente, de la Fm. Grifo Alto, en bloques sanos en aluvión del río Pirrís.

Su edad aún es tema de discusión. Denyer & Arias (1991) propusieron que es entre 0,2 a 4 Ma con base en edades radiométricas publicadas hasta ese momento. Con base en las edades reportadas por Marshall et al. (2003) ($5,01 \pm 0,011$ y $5,52 \pm 0,08$ Ma), y MacMillan et al. (2004) ($4,04 \pm 0,04$ y $5,10 \pm 0,10$), la recopilación reciente de datos por Alvarado & Gans (2012) en rocas atribuibles a Grifo Alto, y en vista de que las rocas son un grupo heterogéneo, las edades están en el ámbito entre 7,3-3,3 Ma, aunque probablemente del Mioceno terminal al inicio del Plioceno, y representen parte de las rocas del paleoarco del Plioceno.

6.10.1.6 Aluviones (Pleistoceno Superior – Holoceno) (alQ)

Los aluviones, en esta área, son característicos del sector montañoso, alojado en cauces angostos, estrechos y con poco espesor. Se componen de bloques decimétricos a métricos y matriz arenosa gruesa a gravillosa (Figura 23).

Se han cartografiado principalmente en la parte alta del río Blanco (Figura 17). Aguas debajo de la quebrada Escuadra en su intersección con el río Blanco, donde inicia el río Pirrís, el aluvión se amplía y engrosa en espesor, hasta alcanzar la periferia este de Copey, en donde, al juntarse los ríos Pirrís y Pedregoso, se amplía como un abanico aluvial de hasta 600 m de ancho en Copey. Este abanico se amplía aún más, hasta 1 km de ancho, al oeste de Copey, donde se juntan las quebradas Florida y Loaiza. Justo donde estas dos quebradas juntas llegan al río Pirrís, está el contacto de las rocas intrusivas, y entonces el río se encañona, y no hay depósitos aluvionales hasta donde se asienta Santa María de Dota.

6.10.1.7. Depósitos de deslizamiento y coluvios (Cuaternario) (dQ, col)

Estos depósitos son coluvios gruesos, cuyas fracciones poseen dimensiones finas (suelos) hasta bloques métricos, como por ejemplo los de las rocas del Grupo Aguacate.

Casi todas las montañas ubicadas a una y otra margen el río Blanco y nacientes de los tributarios altos del río Pirrís, que bajan de la cordillera de Talamanca cerca del paso de la Interamericana Sur, presentan deslizamientos, con formas y tamaños diversos. Entre ellos destaca el de la quebrada Escuadra – Río Blanco, por ser el de mayor tamaño y porque un poblado se asienta sobre él.

El depósito de los materiales coluviales de este deslizamiento forma un abanico compuesto amplio, de pendiente suave a mediana hacia el sur-suroeste, de alrededor de 1,65 km de longitud y 0,85 km de ancho máximo. El deslizamiento, en general, se mueve en bloques diferenciales, con caídas ocasionales de bloques desde los acantilados escarpados (>120 m de altura; Figuras 24, 25 y 26).

Otros depósitos de coluvios importantes asociados con deslizamientos se observan en las nacientes del río Blanco, en la quebrada Vueltas y otras innominadas al frente de la quebrada Escuadra, sobre margen izquierda del río Pirrís, y en varios sectores de la margen derecha alta del río Pirrís hacia la carretera interamericana (Figura 17).



Figura 23. Depósitos aluviales en la periferia de Copey de Dota. A: Río Pirrís, al este de Copey, viendo aguas arriba. B: Este de Copey, en el puente sobre el río Pirrís, viendo aguas abajo. C: Río Pedregoso, cerca de la intersección con el río Pirrís, viendo aguas arriba, hacia el cerro Vueltas.

6.10.1.8. Tectónica y estructuras del área

Denyer et al. (2003; 2009) han mapeado una estructura regional posiblemente neotectónica (al menos en parte) con dirección ESE al sur de Copey, que cruza el área cartografiado de lado a lado (Figura 16), a la cual han nominado falla Pirrís-Pangolín, y viene a ser una extensión de la falla Frailes al NW. Esta falla tiene una extensión total de 55 km (Denyer et al., 2003), y corresponde con una falla dextral con componente normal. Su traza fotogeológica y geomorfológica es muy clara, con la presencia de leves escarpes mirando al oeste y hay desvíos derechos de varias quebradas (Denyer et al., 2003; Montero et al, 1998). No se conocen terremotos históricos destructivos asociados con esta falla.

En el sector norte del área cartografiada hay otra falla inferida que pasa por Río Macho, con una tendencia WNW, a casi W-E. Otras fallas mapeadas van desde inferidas a bien trazables fotogeológica y geomorfológicamente, con direcciones en general, N-S, en donde dos de ellas han sido previamente mapeadas por Denyer et al. (2003, 2009). Una falla en particular, es de importancia, porque corta el área del deslizamiento principal bajo estudio, y se considera que promueve en parte el proceso de deslizamiento.

Además de la litología, calificada de acuerdo con la unidad geológica respectiva, se analizó la influencia de las fallas tectónicas sobre la calidad geomecánica de las litologías. Por lo general, su presencia ocasiona fracturación y alteración hidrotermal, por lo que debilita sus estructuras y reduce su resistencia. En el Anexo 1, Cuadro A1-4 se muestran las condiciones, actividades, valor asignado y buffer, para cada falla respectiva. En el Anexo 1, la Figura A1-10, se incluye el factor de susceptibilidad litológica empleado en el modelo.

6.10.1.9. El deslizamiento de quebrada Escuadra – río Blanco

Morfológicamente, el área de deslizamiento en la confluencia de la quebrada Escuadra con el río Blanco (Figura 24), presenta dos sectores divididos por la quebrada Escuadra, el cual responde a una falla que corta con dirección prácticamente N-S. El sector occidental muestra deslizamientos que se ubican más cerca del río Blanco, mientras que la mitad oriental presenta deslizamientos desde la parte alta de la cabecera, con una serie de movimientos más complejos (Figuras 25 y 26).



Figura 24. A: Vista panorámica de la zona del deslizamiento desde el SSW. B: Detalles del sector más occidental del deslizamiento, visto desde el sur. En ambas, el río Pirrís muestra su dirección de flujo a través de la flecha.

En varios sectores se observa fracturas en el terreno, lo cual ha sido identificado desde varios años atrás. Se identifican además lagunas de deslizamiento y movimientos diferenciales (Figuras 25, 26 y 27). La integración de esas interpretaciones geológicas se muestra en la Figura 27, y los perfiles geológicos, en la Figura 28.

A partir de los datos cartográficos y las imágenes satelitales disponibles y trabajadas, se han determinado cartográficamente, áreas de formación de posibles represas y embalses efímeros, en caso de un evento de deslizamiento masivo súbito o escalonado en un corto tiempo.

Asimismo, a partir de esta interpretación, se ha esquematizado un área primaria que tendría efectos por el tránsito y decantación de un alud torrencial por la ruptura súbita o en un corto tiempo, de la represa y embalses señalados (Figura 28). A partir de esta conceptualización, se ha diseñado un modelo de alud torrencial, para diferentes escenarios, los cuales se presentan y discuten en detalle en el apartado 8 y 9, y en el Anexo 4

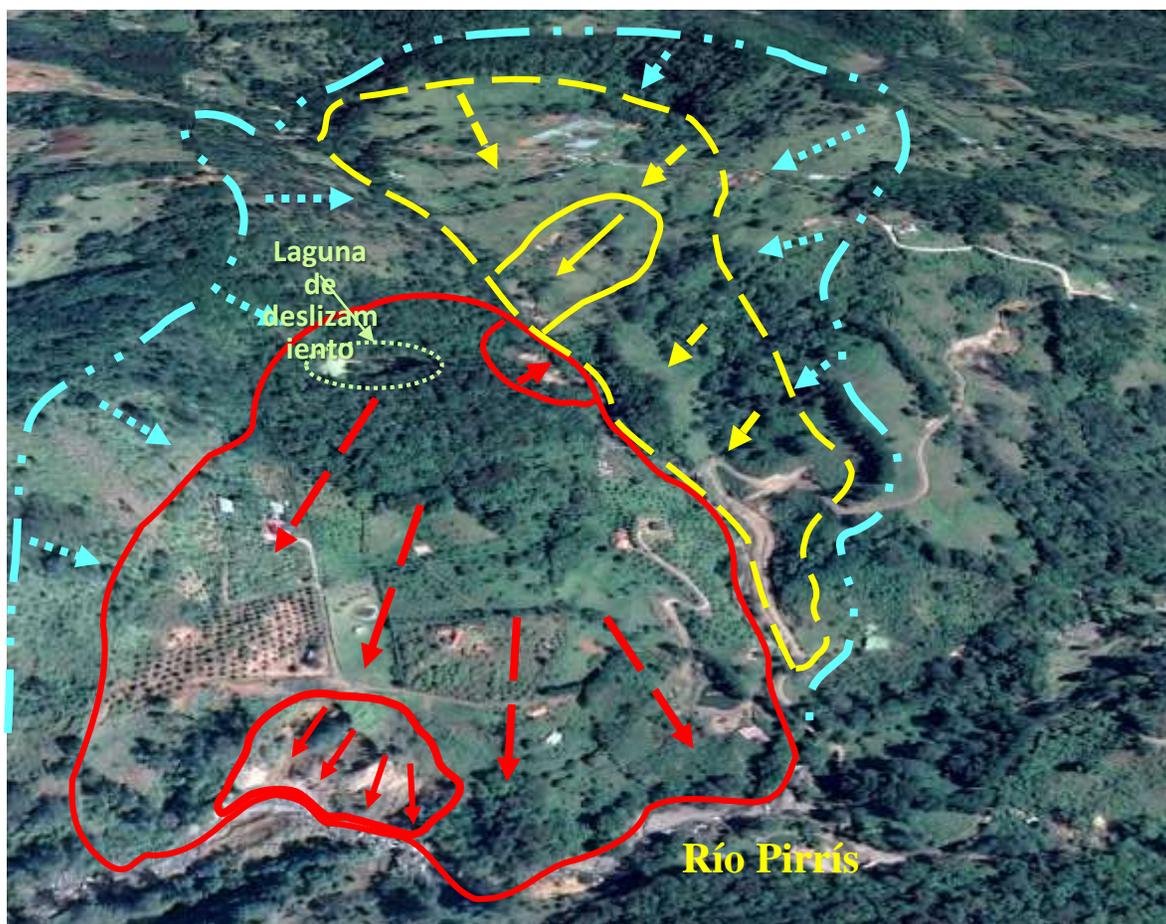


Figura 25. Interpretación en vista oblicua a partir de la imagen de *Google Earth*, del deslizamiento de quebrada Escuadra – río Blanco.

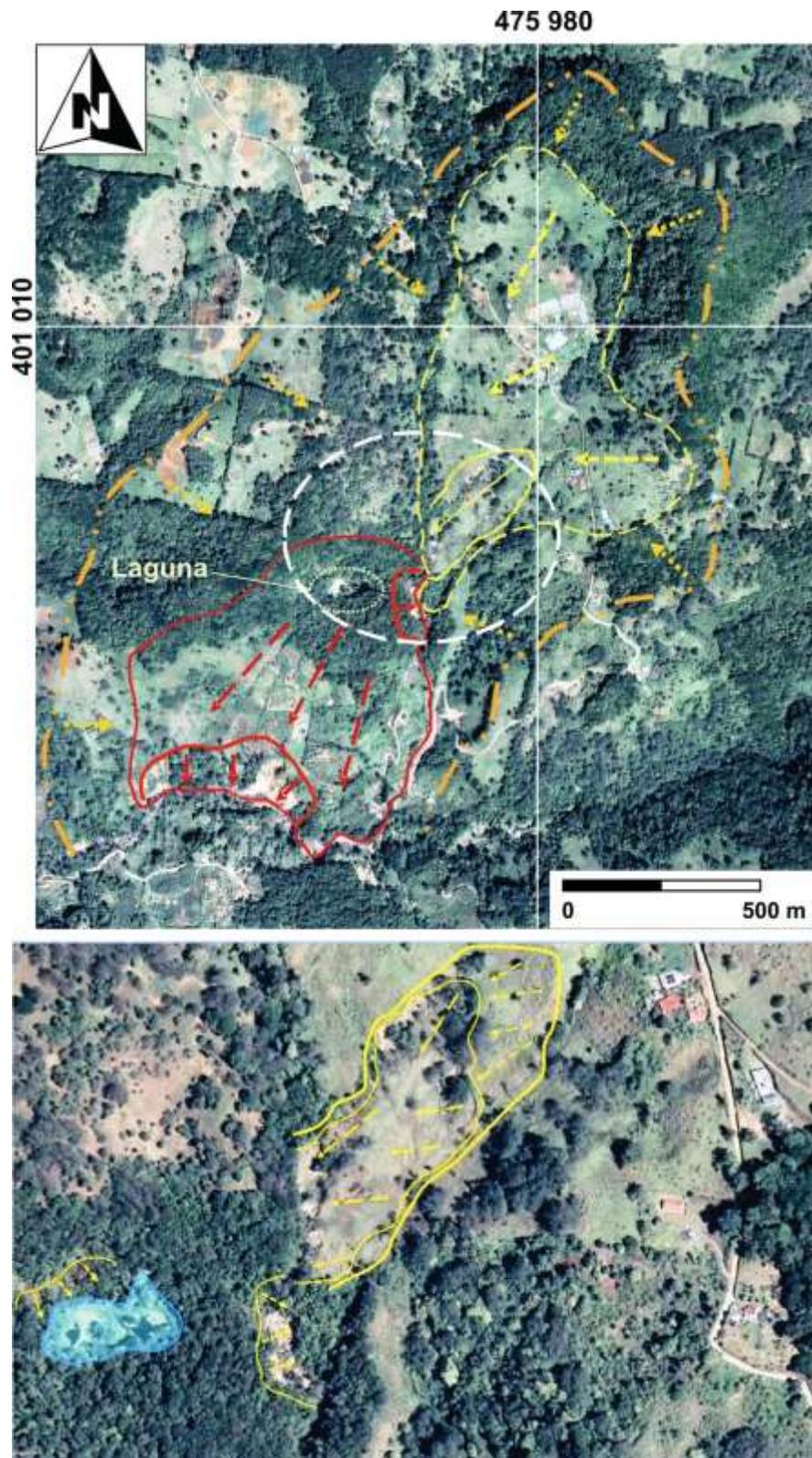


Figura 26. Interpretación en planta y detalle de un sector hacia la zona de falla, a partir de la imagen de *Google Earth*, del deslizamiento de quebrada Escuadra – río Blanco

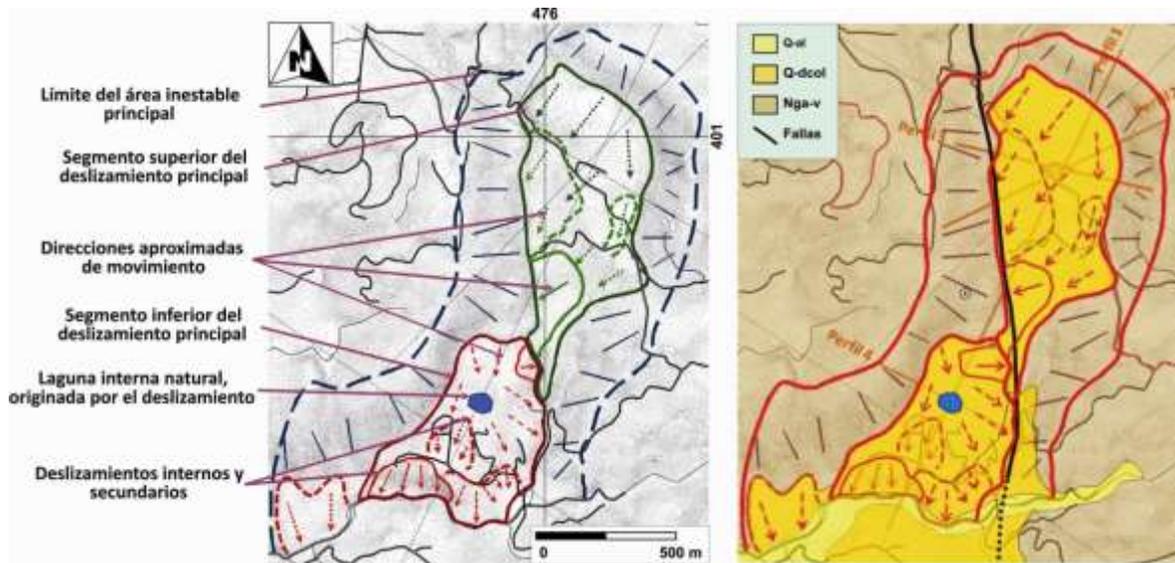


Figura 27. Cartografía de los detalles de las áreas de deslizamiento (izquierda) y la integración con las unidades geológicas y estructurales (derecha), que muestran asimismo, las líneas de perfil geológico.

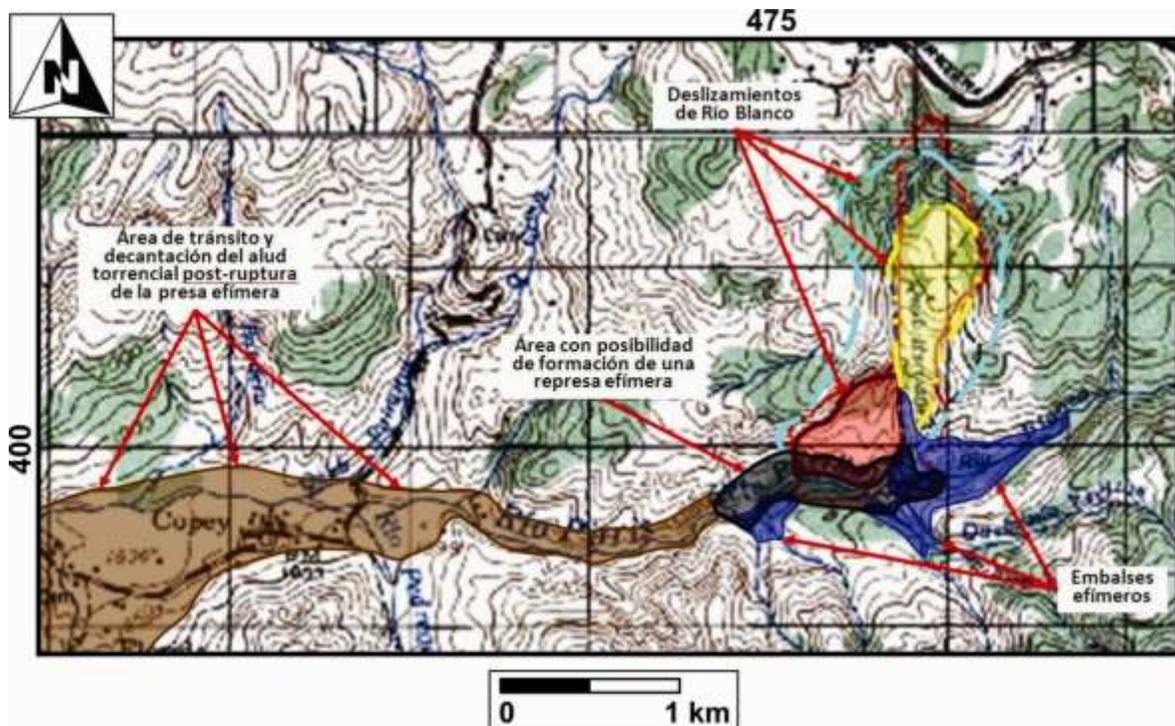


Figura 28. A: Esquema generalizado del área del deslizamiento de quebrada Escudra – río Blanco (en amarillo el sector orientado; en rojo, el occidental) y áreas con inestabilidad de laderas en celeste. Se muestran las áreas asociadas con procesos de geodinámica externa, de manera esquemática.

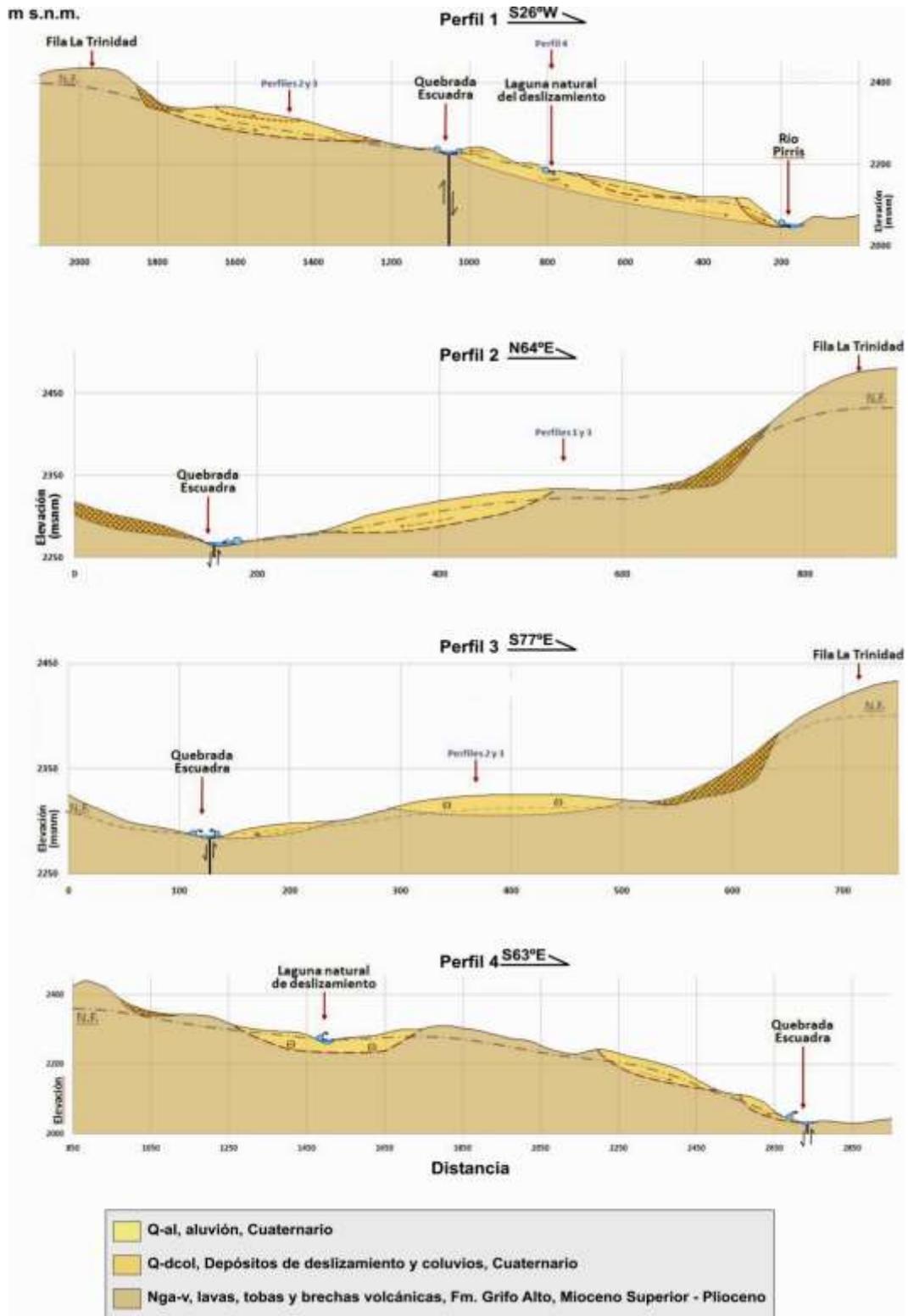


Figura 29. Interpretación de los perfiles indicados en la Figura 26.

La caracterización de los aspectos hidrogeológicos, es decir, de las aguas subterráneas, acuíferos y sus características hidrodinámicas (niveles freáticos, redes de flujo, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc.), no forman parte de este análisis, pues requieren de estudios especializados y de instrumentación específica (perforaciones, piezómetros, pruebas de bombeo, geofísica, etc.)

Una primera estimación preliminar ha permitido evaluar el área, espesor y volumen del deslizamiento de quebrada Escuadra – Río Blanco, en alrededor de 9,8 millones de m³, como se muestra en el apartado 8.

7. Análisis de la amenaza de la inestabilidad de laderas

En este apartado se desarrollan los parámetros de susceptibilidad de laderas y los mecanismos de disparo que comprenden la metodología de Mora&Vahrson. En esta oportunidad se han aplicado los factores de disparo para diferentes períodos de recurrencia en la construcción de los escenarios de inestabilidad de laderas. El desarrollo detallado de la metodología, según cada uno de los factores, se incluye en el Anexo 3.

7.1 Inestabilidad de laderas

Luego de la construcción de varios escenarios, los cuales toman en cuenta una variedad amplia de casos y valores de los factores relacionados con la sismicidad, la intensidad de lluvia y la humedad prevalente del suelo, se ha decidido seleccionar la conjugación de los rangos que se muestran en la Figura 30. En este caso y para un factor de relieve basado en las pendientes, con un disparo por lluvias acumuladas (D_p) de 24 horas y 100 años de período de recurrencia, además del disparo sísmico (D_s) con 500 años de período de recurrencia.

En la Figura 31, se ha reclasificado la amenaza de la inestabilidad de laderas de 5 a 3 rangos, esto es para expresarla mediante un criterio con forma semafórica y así facilitar la comprensión del mismo. Este será el criterio que se aplicará en el análisis de la exposición – vulnerabilidad y en otros análisis subsiguientes.

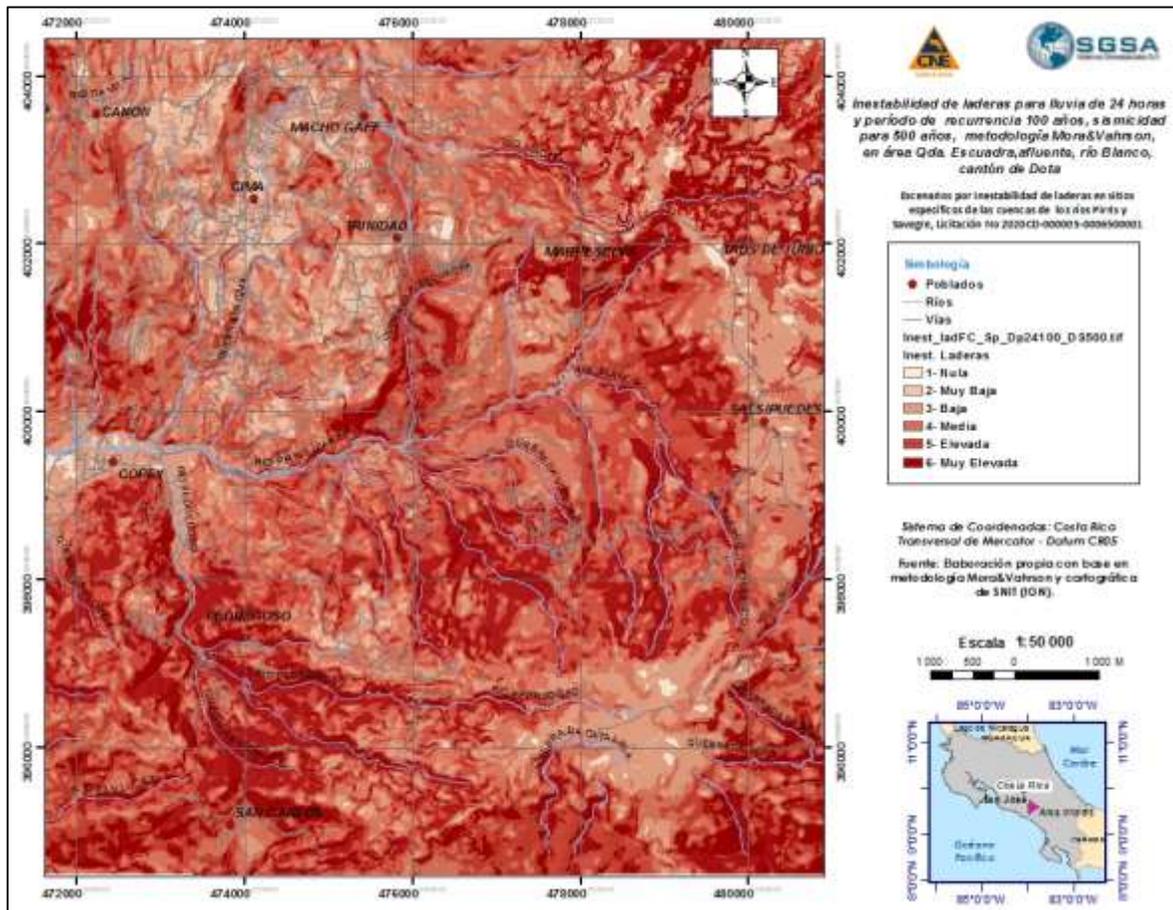


Figura 30. Amenaza de la inestabilidad de laderas en el área de Copey – Santa María
 Fuente: elaboración propia con base en la metodología Mora&Vahrson

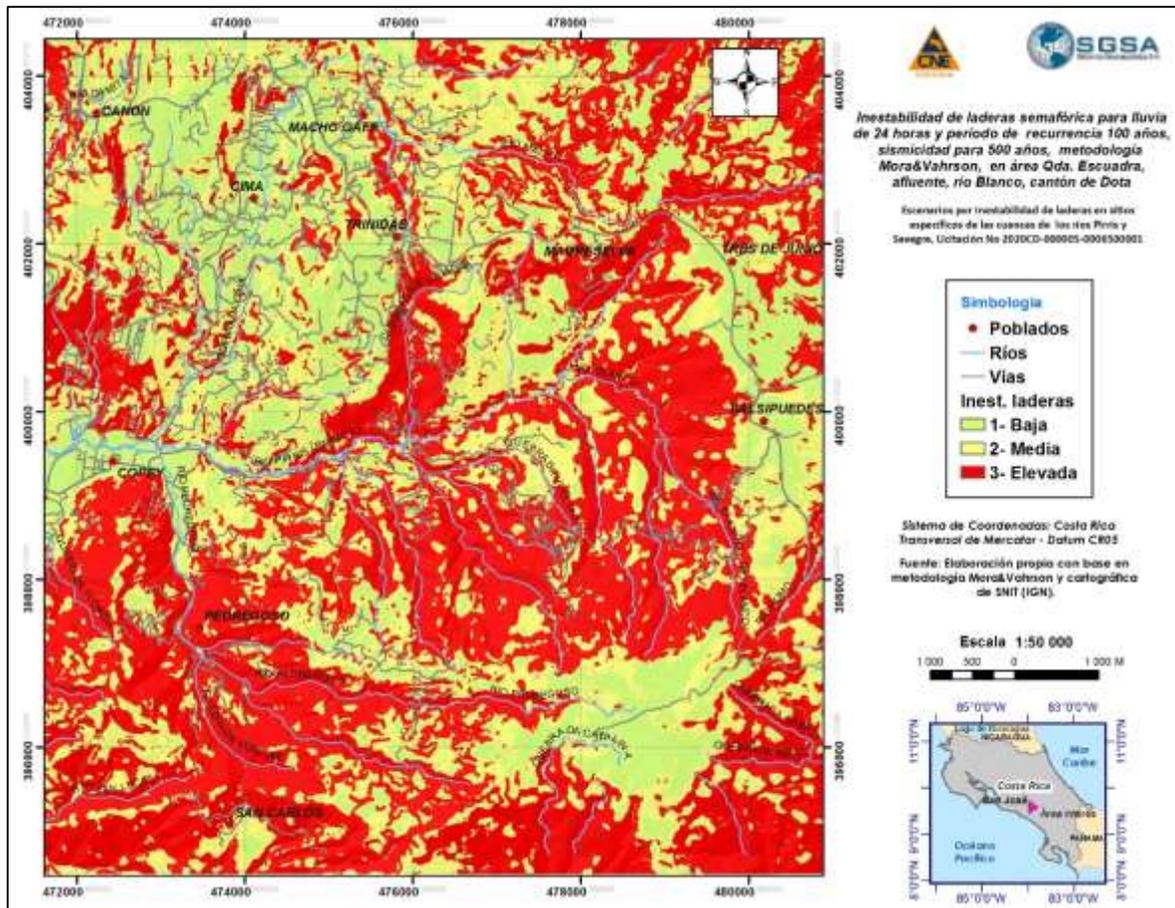


Figura 31. Inestabilidad de laderas, expresada en 3 niveles, para el área de Copey-Santa María
 Fuente: elaboración propia con base en la metodología Mora&Vahrson

8. Volumen del deslizamiento de la Quebrada Escuadra

El deslizamiento en el área de Copey-Santa Marta, en el sitio de Quebrada Escuadra, se presenta en la Figura 32. A partir del análisis de las condiciones del terreno y de la construcción de los perfiles geológicos correspondientes, se han estimado los espesores de la masa deslizante y con ello, se realizaron los cálculos del volumen aproximado. En la Figura 33, se incluyen los espesores estimados del deslizamiento.

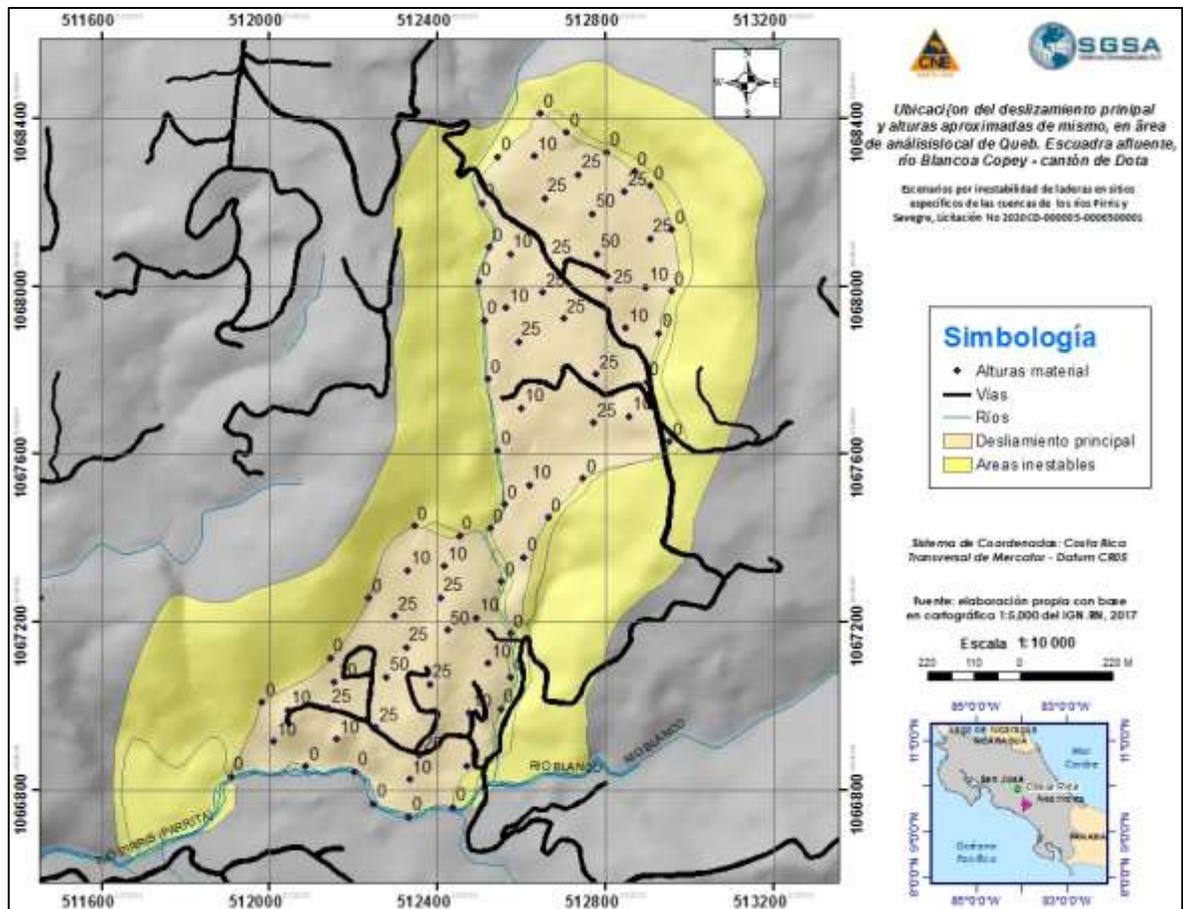


Figura 32. Ubicación y espesores estimados del deslizamiento principal en el sitio de Quebrada Escuadra

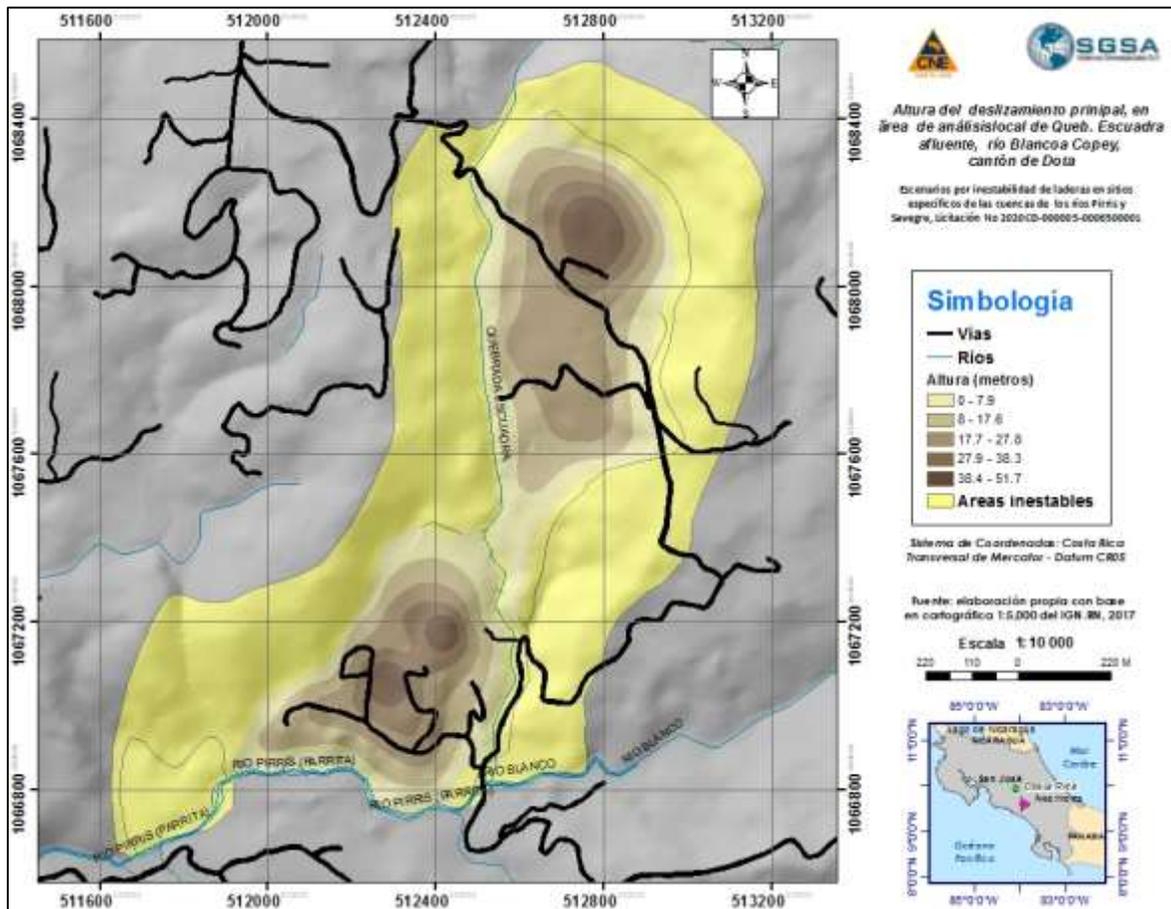


Figura 33. Espesor aproximado del deslizamiento
Fuente: elaboración propia, con base en MNT de 2 metros.

Al contarse con los espesores aproximados del deslizamiento y dado que el pixel es de 2 metros, el volumen para cada pixel se calcula como $4 * \text{espesor de deslizamiento}$. Con base en esto, en la Figura 34 se muestra el volumen por celda o pixel, del área bajo análisis.

En el Cuadro 5 se incluye el resumen del cálculo del deslizamiento en el sitio de Peñas Bancas, el cual se estima en aproximadamente 9,8 millones de m³.

Cuadro 5. Resumen del volumen del deslizamiento

Resumen cálculo volumen deslizamiento	
Pixeles	154429.00
Area (m ²)	617642.00
Altura media (m)	15.80
Volumen (m ³)	9768829.882
Volumen (millones m ³)	9.77

9. Caracterización de la amenaza de la generación de un alud torrencial generado por un posible represamiento formado por el deslizamiento de la quebrada Escuadra

Con base en los objetivos de este análisis, debe considerarse el escenario de que, según la probabilidad de que se presente un evento hidrometeorológico y/o sísmico extremo, se produzca una reactivación súbita y masiva del deslizamiento en la quebrada Escuadra y que a su vez, la masa desplazada forme una presa efímera en el cauce del río Pirrís y sus afluentes aledaños.

El escenario fundamental, para analizar la posibilidad de que, al cabo de un tiempo determinado, el agua acumulada en el embalse efímero rompa la presa, dependerá esencialmente del tipo de evento pluviométrico que se produzca de manera simultánea.

El origen de este evento puede deberse a una serie de situaciones discretas o conjugadas de lluvias extremas con volúmenes e intensidades extraordinarias, originadas en la actividad orográfica y derivada de la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical y/o de la actividad tropical (ondas-vaguadas, ciclones). El desarrollo e influencia de los episodios de El Niño-La Niña/Oscilación del Sur (ENOS), deberán ser, también, considerados.

Entonces, la intensidad de las lluvias, los tiempos de concentración y los caudales resultantes en la cuenca, así como la forma, volumen, constitución, granulometría, permeabilidad y resistencia de los materiales que forman la presa efímera, serán los factores críticos que deberán ser tomados en cuenta. Evidentemente, en el caso de que suceda un evento sísmico intenso, el proceso de ruptura podría acelerarse.

A partir de este tipo de escenarios, el paso siguiente es analizar la forma, volumen, proporción sólidos/líquido, viscosidad cinemática, caudal, velocidad, tirantes hidráulicos y características cinemáticas del flujo que definen los escenarios del alud torrencial resultante. De aquí, se podrá estimar su extensión espacial, de acuerdo con las características topográficas y geomorfológicas del valle del río Pirrís, aguas debajo de la presa efímera.

En adelante serán descritos los parámetros y criterios principales utilizados durante este análisis. Como es lógico esperar, la precisión y resolución de los resultados y sus niveles de incertidumbre estadística, dependerán de la calidad y precisión de los datos y de los procedimientos analíticos aplicados.

9.1 Distribución temporal de la lluvia

Machado P., ICE, 2007 incluyó los datos que aparecen en la Figura 35, en donde se presenta la distribución promedio de la precipitación, para tiempos de muestreo de 5 días (péntadas) en la estación 88024-Tabacales localizada en la cuenca del río Pirrís, una de las más cercanas al área de estudio. Se puede observar que la época seca se define a partir de la segunda semana de diciembre y se extiende hasta la tercera semana de abril. La época lluviosa, por el contrario, se define entre la segunda quincena de abril y la primera quincena de diciembre. Durante este período, la mayor parte

de las péntadas tienen valores superiores a 20 mm y se destacan las de mayo, junio, agosto, septiembre y octubre, con valores superiores a 90 mm, en la estaci3n Tabacales.

Durante el mes de julio se presenta una disminuci3n relativa de la precipitaci3n, conocida como "Veranillo" y que es una característica de la vertiente del Pacífico. En esta estaci3n, la precipitaci3n de diciembre a abril representa entre el 8 y 10 por ciento del total anual; por lo tanto, alrededor del 90 por ciento de la lluvia anual se produce de mayo a noviembre.

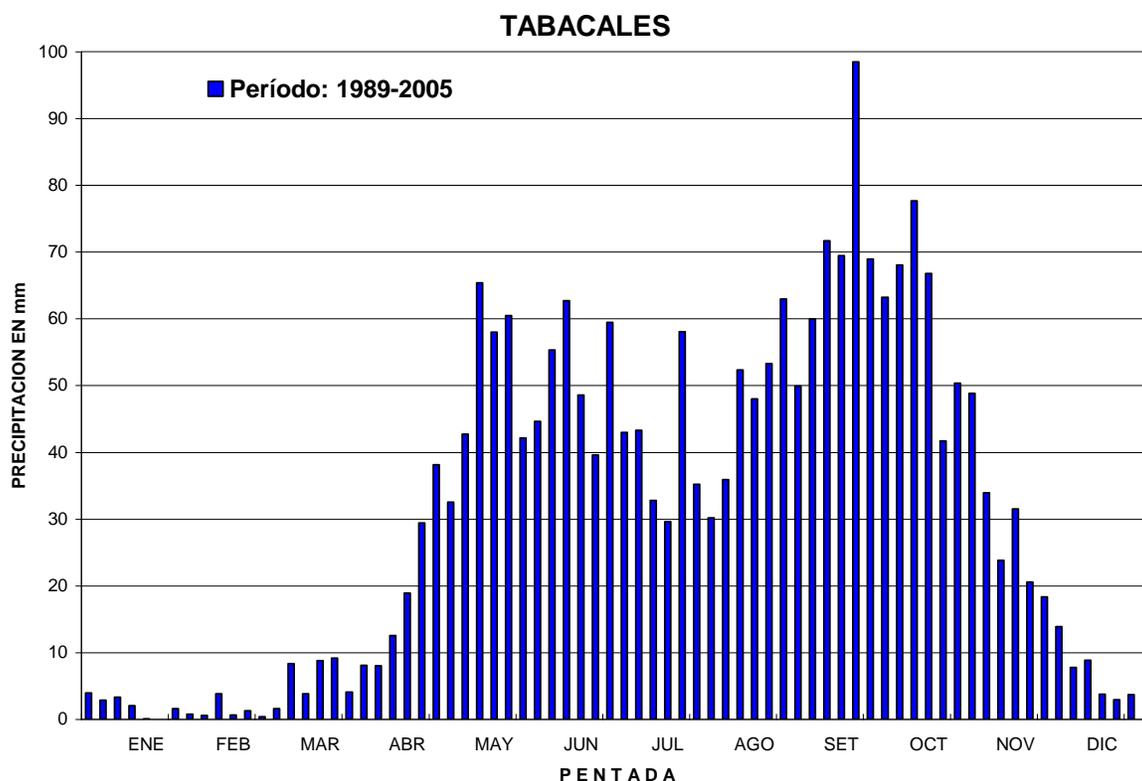


Figura 35. Distribuci3n pentadal promedio en la estaci3n Tabacales

Fuente: Machado, ICE, 2007

9.2 Análisis de las precipitaciones diarias máximas

En forma de referencia se incluyen, en el Cuadro 6, los valores de la intensidad de la lluvia, con diferentes períodos de recurrencia para las estaciones ubicadas en el área de las cuencas de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita y sus alrededores (SGSA, 2010)

Cuadro 6. Valores de Intensidad de la lluvia para diferente período de recurrencia en años

NUMERO	NOMBRE	PERIODO	ELEV	LAT	LON	PPT5	PPT10	PPT20	PPT25	PPT50	PPT100
88002	Finca Tigre	1941-2006	12	9.55000000	-84.33333333	210.5	282.5	335.3	380.0	445.4	534.2
88004	Finca Palo Seco	1941-2006	15	9.53333333	-84.30000000	205.1	242.5	275.4	322.0	350.0	402.7
88013	Finca La Palma	1941-1971	12	9.53333333	-84.38333333	235.2	295.2	360.5	420.0	480.5	562.1
88015	Playón	1975-2006	65	9.53333333	-84.28333333	180.5	218.5	255.5	290.0	365.5	385.2
73033	Villa Mills	1942-2002	3000	9.56666667	-83.71666667	97.2	123.5	164.1	123.5	236.0	284.0
94003	Silencio	ND	ND	9.56666667	-84.03333333	114.6	147.0	179.1	147.0	255.8	295.6
94005	Providencia	1978-2002	1490	9.51666667	-83.86666667	140.2	178.2	236.8	275.0	340.5	409.8
94006	P. H. Savegre	1982-2002	200	9.45000000	-83.98333333	210.4	285.6	380.5	450.0	520.1	640.1
94008	Los Angeles (P.Z.)	1981-2002	1100	9.48333333	-83.80000000	140.3	175.5	235.6	260.0	290.5	351.3
94012	Fila Savegre	1980/2002	1280	9.43333333	-83.81666667	195.0	270.0	380.0	480.0	575.6	763.1
98061	San Ramón Norte	1975-2002	1160	9.43333333	-83.71666667	84.2	116.5	164.0	116.5	248.5	329.4

Fuente: Datos ICE, 2002 y 2007, para Villa Mills, se usó GEV= Distribución General de valores extremos, para el resto LM= Método de momentos lineales. Los valores en rojo fueron estimados por aproximación a la estación más próxima

9.3 Efecto de El Niño-La Niña/Oscilación del Sur

Durante los episodios de “El Niño”, la precipitación en toda el área es deficitaria. Por ejemplo, durante el evento de febrero 1991 a junio 1992 la precipitación mensual estuvo por debajo del promedio, con porcentajes que variaron entre un 10 y 100 %. La precipitación anual registrada fue de 22 % inferior al promedio. El comportamiento de los caudales mensuales fue deficitario durante todo el período de febrero 1991 a junio 1992. Los valores mensuales, en porcentajes, variaron entre un 10 y un 60 % por debajo del promedio. Los meses más críticos fueron mayo y junio 1992, con porcentajes de 50% por debajo del promedio. Los caudales anuales fueron de un 25 % por debajo del promedio.

Durante el episodio de “La Niña” en 1996, la precipitación registrada, en la cuenca, tuvo una tendencia al incremento, principalmente por la mayor actividad tropical (ondas y ciclones tropicales). Durante el período de marzo a diciembre de 1996, la precipitación mensual alcanzó porcentajes hasta de un 150 % sobre el promedio, como en el caso del mes de julio, cuando sucedieron las lluvias producidas por la influencia indirecta del huracán César, el cual provocó lluvias intensas durante los días 27 y 28 de julio, con valores que variaron entre 450 y 737 mm. La precipitación del período marzo – diciembre de 1996 superó al promedio entre un 23 y 31 %. Los caudales mensuales del período marzo – diciembre de 1996 superaron al promedio, con porcentajes que variaron entre un 25 y un 225%. El período marzo – diciembre de 1996 superó al promedio con porcentajes que variaron entre un 52 y un 63 %.

10. Análisis de la inundación y alud torrencial en Copey, producto de efecto combinado de las amenazas analizadas

La reactivación súbita y masiva del deslizamiento que se ha determinado en los alrededores de la Quebrada Escuadra, podría provocar la formación de una presa en el cauce principal del río Pirrés. Conforme se acumulen las lluvias, el embalse efímero formaría un embalse cuyo volumen vararía con la altura del represamiento. Por ejemplo, con el punto de cierre en la cota 2.045 msnm (nivel donde se ubica la presa), el embalse captaría el agua acumulada y drenada en una cuenca de 22,3 Km². En la Figura 36, se han determinado las 8 subcuencas y en el Cuadro 7 se incluyen los tiempos de concentración respectivos.

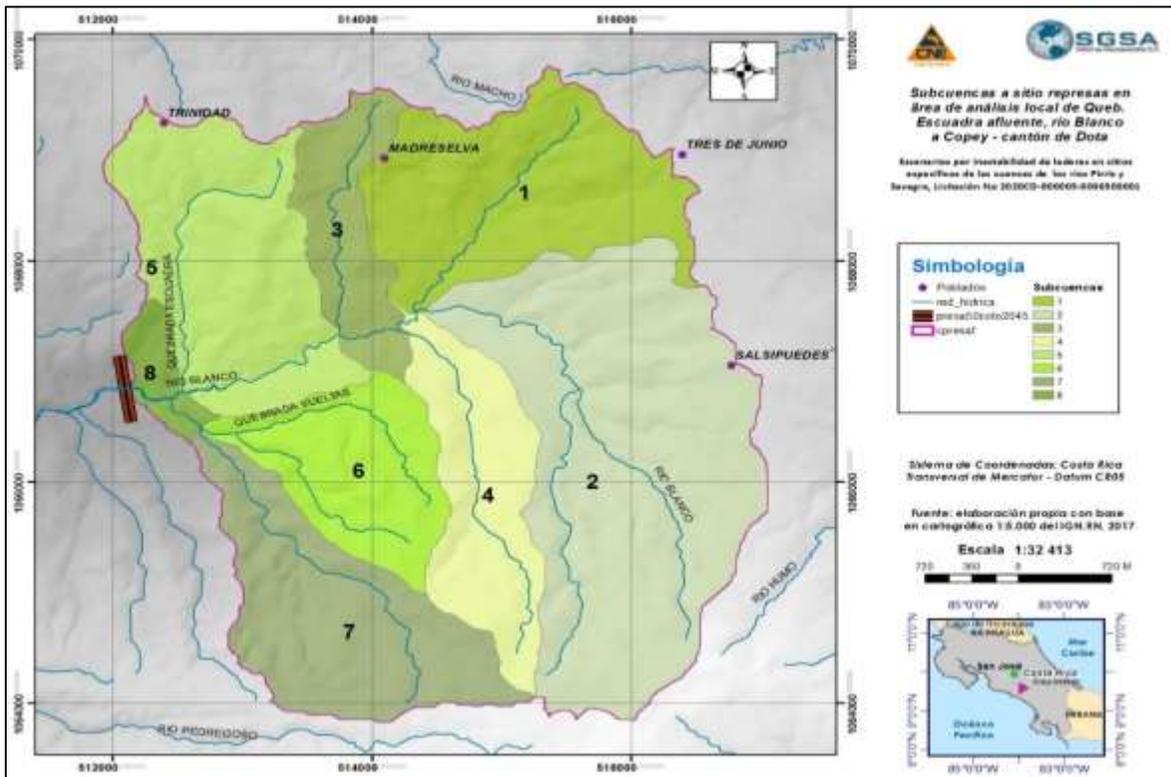


Figura 36. Cuenca y subcuencas de drenaje al punto de taponamiento

Cuadro 7. Tiempos de concentración de cada subcuenca

Subcuenca	Perímetro (m)	Area (m2)	Area (m ²)	Longitud (m)	Hmax(m)	Hmin(m)	Pend_cauce (m/m)	Tkripich (min)
1	10632.10	3362230.0	3.36	2559.78	2594.52	2242.03	0.14	17.59
2	13478.80	6646570.0	6.65	6560.40	3072.63	2246.62	0.13	37.57
3	7423.55	1380220.0	1.38	2459.86	2583.62	2187.77	0.16	16.06
4	9020.05	2168960.0	2.17	3549.21	2615.96	2227.24	0.11	24.70
5	9879.26	3372600.0	3.37	2727.75	2469.82	2082.52	0.14	18.25
6	6440.78	1966200.0	1.97	800.04	2108.44	2043.31	0.08	8.79
7	10327.60	2966630.0	2.97	2201.51	2702.69	2109.27	0.27	12.09
8	3862.48	415480.0	0.42	3517.05	2987.28	2108.69	0.25	17.86

En la Figura 37 se han trazado las áreas de embalses para diferentes elevaciones de la presa efímera. En el Cuadro 8 se incluyen los cálculos de los volúmenes de los embalses para las diferentes alturas o elevaciones de las presas, Se supone que el llenado se hace poco a poco, o bien se llenaría con eventos de períodos de recurrencia como se indica en el Cuadro X, más adelante. Además se supone que una vez lleno, el embalse al ocurrir un evento máximo la presa se rompería. Se debe anotar que aunque la elevación se llevó a 100 metros, esto no es factible, dado que se requerirían longitudes de presa grandes, donde lo que se observa por condiciones de terreno sea menor de 800 metros. En la Figura 38 se incluye una función de la altura-volumen para la presa efímera.

En la condición del nivel máximo de llenado, adicionalmente se requeriría un Tc de aproximado de 2 horas y aplicando el concepto del tiempo de concentración, como aquel que se desarrolla entre el momento en que se produce la precipitación en la cuenca y su reflejo en el caudal del río en el sitio en consideración. Con estos supuestos, el caudal proveniente del rompimiento de la presa efímera, estimado en 388,06 m³/s para la presa de 40 metros se agregaría al pico del hidrograma de la máxima avenida para el período de recurrencia considerado.

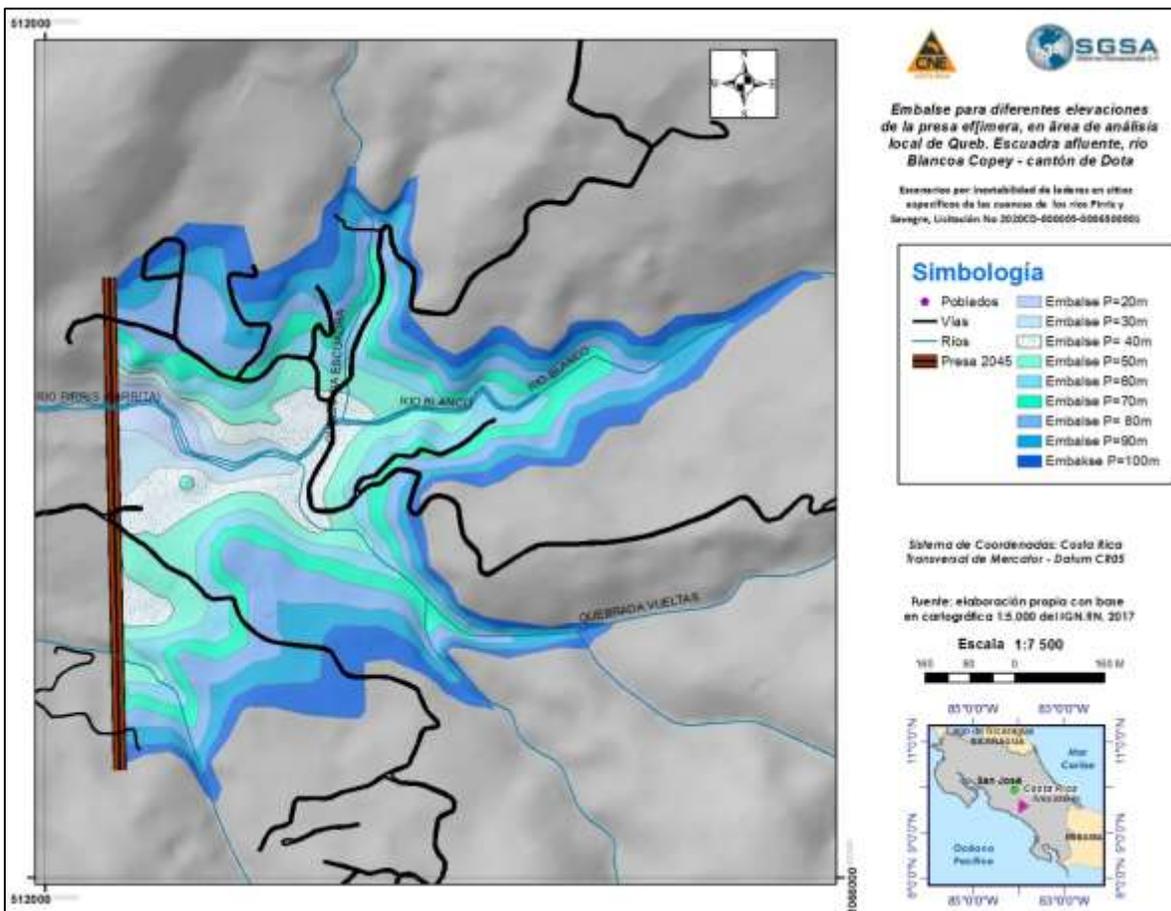


Figura 37. Áreas de inundación para diferentes alturas del terraplén o presa

Cuadro 8. Volúmenes y caudales de embalses efímeros en función de la altura de la presa

Altura presa	Long. Presa (m)	Area (m2)	Alt media (m)	Vol_aprox. (millones m ³)	Vol Final (millones m ³)	tc (min)	tret(min)	tc (s)	Tret (s)	Qtc(m ³ /s)	Qtret(m3/s)
20	89	14151.4	10.35	0.15	0.14	120	72	7200	4320	19.6064493	32.6774154
30	230	36990.1	19.98	0.74	0.73	120	72	7200	4320	100.932409	168.220682
40	471	94605.0	29.65	2.81	2.79	120	72	7200	4320	388.059828	646.766379
50	586	158505.0	36.35	5.76	5.57	120	72	7200	4320	774.173036	1290.28839
60	644	222583.6	41.96	9.34	9.35	120	72	7200	4320	1298.09676	2163.4946
70	680	296530.2	47.72	14.15	14.15	120	72	7200	4320	1965.78708	3276.31179
80	702	412409.1	54.62	22.52	22.52	120	72	7200	4320	3127.2578	5212.09633
90	805	507931.8	60.74	30.85	30.74	120	72	7200	4320	4269.60047	7116.00078
100	853	622232.1	66.97	41.67	41.52	120	72	7200	4320	5766.87785	9611.46309

Fuente: elaboración propia.

Nota: el volumen aproximado se calcula como la altura media del nivel del agua embalsado por el área de espejo que provoca la altura de la presa; en tanto que el volumen final es la suma de los valores de las columnas del volumen,

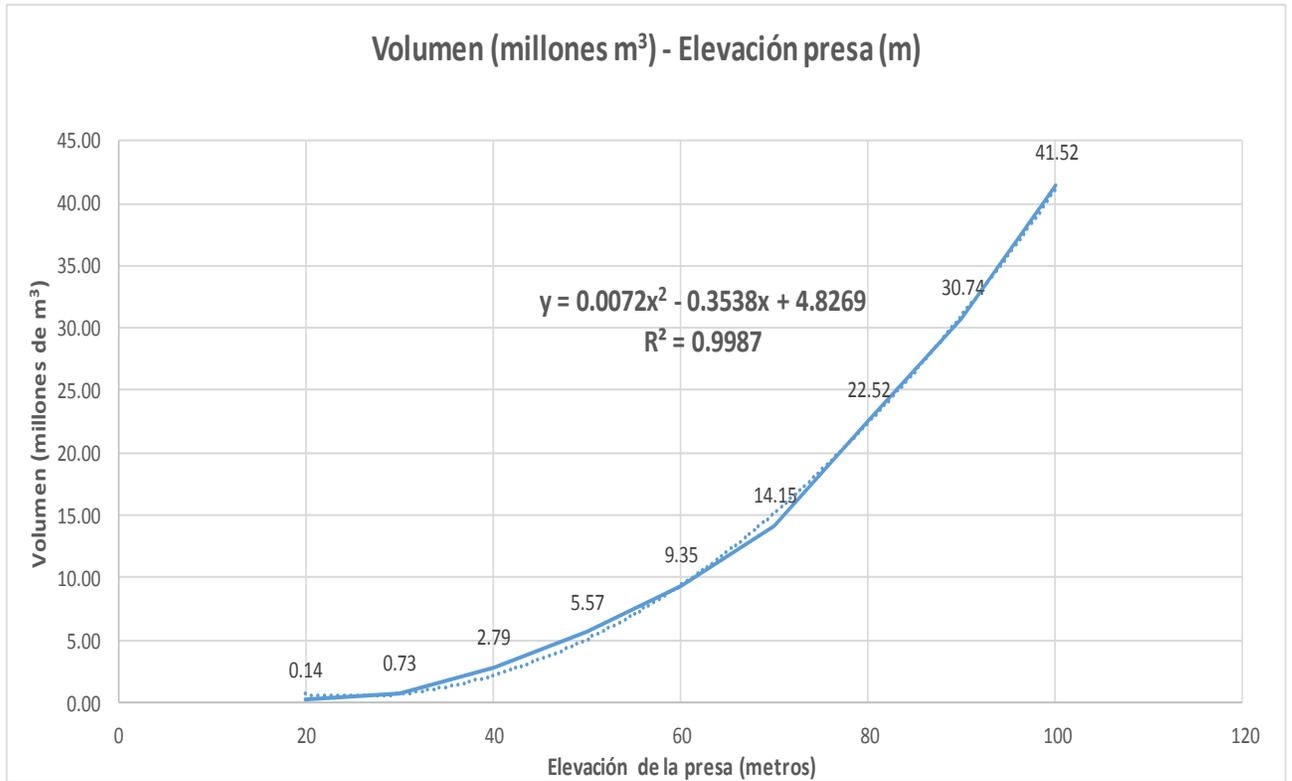


Figura 38. Función de volumen para diferentes alturas de la presa efímera, en la confluencia de la quebrada Escuadra y el río Pirrís.

10.1 Cálculo de caudales máximos al sitio de presa en Quebrada Escuadra

En este apartado se hacen consideraciones acerca del caudal máximo en el sitio del represamiento

10.1.1 Método de Creager

En áreas cuencas mayores a 4.5 Km², se recomienda usar la fórmula de Creager para determinar los caudales máximos

$$Q = 1.3 C \left(\frac{A}{2.59} \right) A^{0.936} A^{-0.048}$$

Donde:

A = Área de la cuenca en Km²

C= constante, que se determina para una distribución probabilística

En Costa Rica se ha aplicado, y de los valores usados, CONAVI, 2017 se presenta la Figura 39, con la se realizaron los cálculos de los caudales pico para diferentes períodos de recurrencia, presentados en el Cuadro 9.

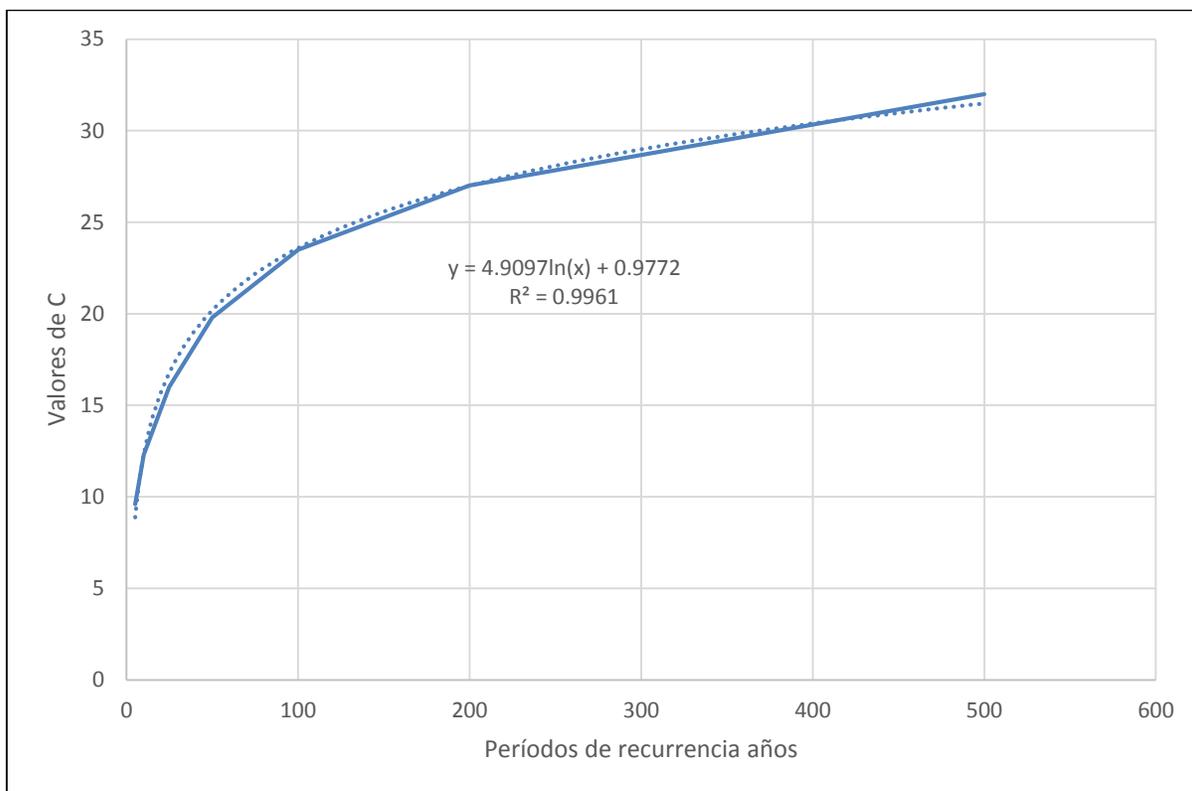


Figura 39. Valores C para diferentes períodos de recurrencia

Cuadro 9. Caudales estimados para diferentes períodos de recurrencia

Área (Km ²)	22.2834	Qpico (m ³ /s)
PR	Valor C	
5	8.9	65.48
10	12.3	90.57
20	15.7	115.67
25	16.8	123.74
50	20.2	148.84
100	23.6	173.93
200	27.0	199.03
500	31.5	232.20

10.1.2 Método del hidrograma unitario del USC

Para el Hidrograma unitario se utilizaron los datos de los hietogramas para diferentes períodos de recurrencia, deducidos a partir de la función Intensidad Duración Frecuencia (IDF) de la estación 90009, Damas, IMN, 2012 y mediante la aplicación de la fórmula para tormenta de 6 horas, se pueden calcular las láminas o precipitación para cada período de recurrencia, como se muestra en el Cuadro 10.

$$i = 509,54 * \frac{T^{0.135}}{t^{0.51}}$$

En este Cuadro se han incluido los cálculos comparativos con la estación La Lucha, que linealmente es cercana al área de estudio, sin embargo, los valores calculado se consideran bajos, siendo más representativos los de la estación damas.

Cuadro 10. Láminas de agua calculadas para tormenta de 6 horas, en la estación Damas y la estación La Lucha

Período recurrencia (años)	Estación Damas. Intensidad (mm/hr)	Estación Damas. Precipitación para 6 horas (mm)	Estación La Lucha. Intensidad (mm/hr)	Estación La Lucha. Precipitación para 6 horas (mm)
5	44.88	269.28	16.40	98.37
10	49.32	295.90	18.15	108.93
25	55.86	335.17	20.77	124.63
50	61.38	368.30	23.00	138.00
100	67.45	404.71	25.47	152.80
500	83.96	503.73	32.26	193.59
Duración de la tormenta 6 horas				

En el Cuadro 11 se incluye el cálculo del caudal pico para un período de recurrencia de 100 años y 24 horas de duración, por el método del hidrograma unitario. En la Figura 40 se ilustra el hidrograma para esta condición. En este cálculo se utilizaron las láminas de intensidad para una tormenta de 6 horas.

Cuadro 11. Datos de entrada y cálculos del caudal pico para Tr=100 años

Long cauce=	8.29 km.	Pendiente=	0.10744 m/m
Cota max=	2935.34 m	(Fórmula tiempo conc. de la norma Kirpich)	
Cota min=	2045.00 m	t conc=	2.29 horas
Superficie=	22.28 km ²	tiempo punta=	13.37 horas
Precipitación=	404.71 mm	tiempo base=	35.70 horas
Duración P neta=	24.00 horas	Caudal pico=	140.33 m ³ /seg.

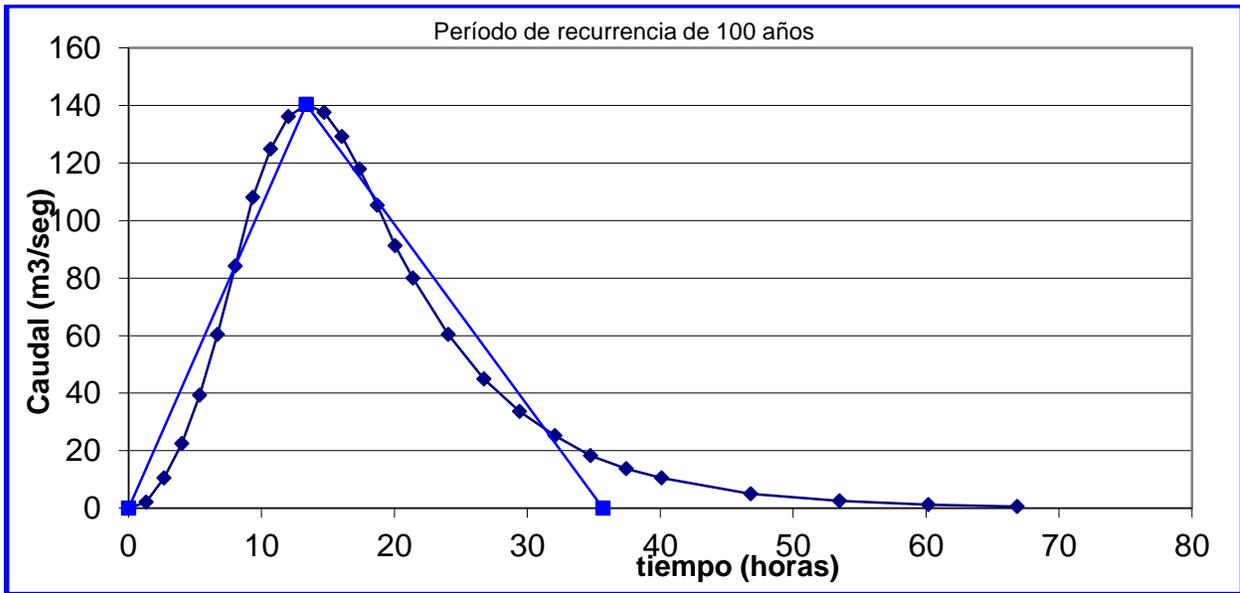


Figura 40. Hidrograma unitario del SCS, para PR=100 años, cuenca aguas arriba de la presa efímera.

En forma similar se obtienen los caudales pico para los períodos de recurrencia de 5 a 500 años, tal y como se muestra en el Cuadro 12

Cuadro 12, Caudales pico para diferentes períodos de recurrencia en el sitio de la quebrada Escuadra, obtenidos mediante el método SCS

Período recurrencia (años)	Qpico (m ³ /s)
5.00	93.27
10.00	73.67
25.00	117.79
50.00	134.39
100.00	140.33
200.00	149.10
500.00	174.76

10.1.3 Método del traslado de la información, por área

En la Figura 41 se muestran las elevaciones a las que se ubican las estaciones fluviográficas, en particular, la estación Tabacales. Tómese en cuenta que esta estación, por ser telemétrica, sería de enorme utilidad para el sistema de observación, vigilancia, alerta, alarma, advertencia, respuesta y continuidad operativa (SOAAARC).

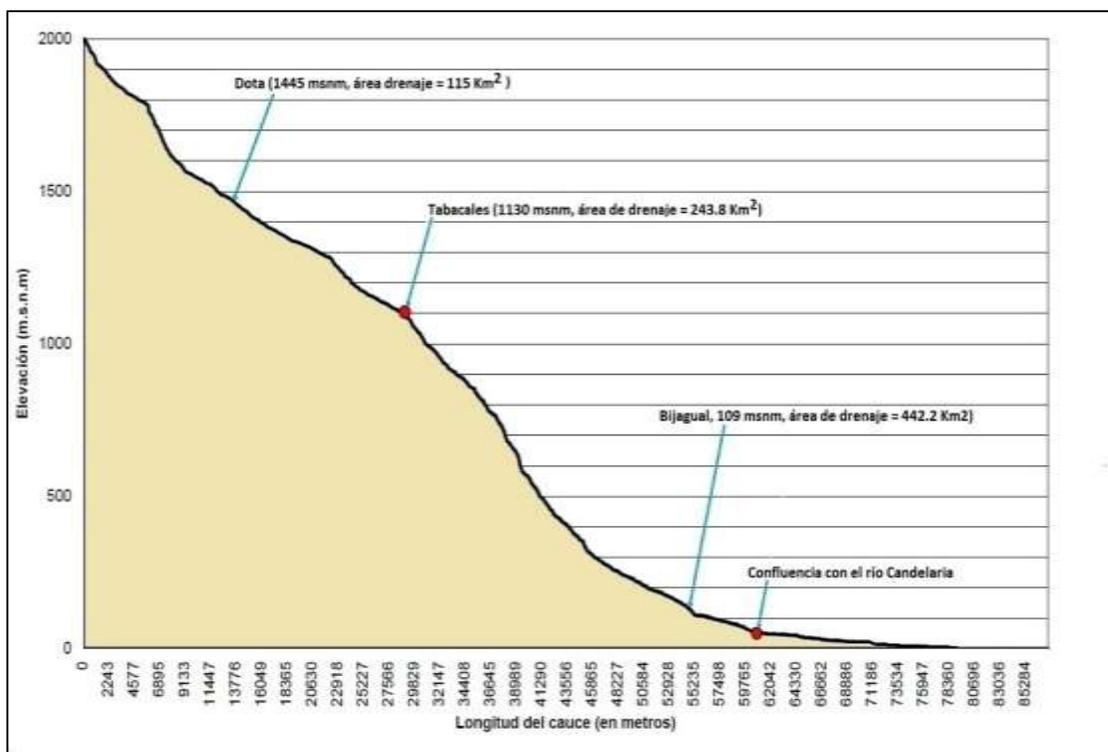


Figura 41. Perfil de las estaciones ubicadas en la cuenca de los ríos Parrita y Pirrís

Luego de revisar las mayores avenidas registradas en las estaciones 26-03 Bijagual, 26-04 Tabacales y 26-02 Dota, se seleccionó la sucedida los días 20 y 21 de octubre del 2005, en la cual, los caudales máximos registrados fueron: 156 m³/s en Dota, 257 m³/s en Tabacales y 473 m³/s en Bijagual; en la Figura 42 se incluyen las avenidas seleccionadas.

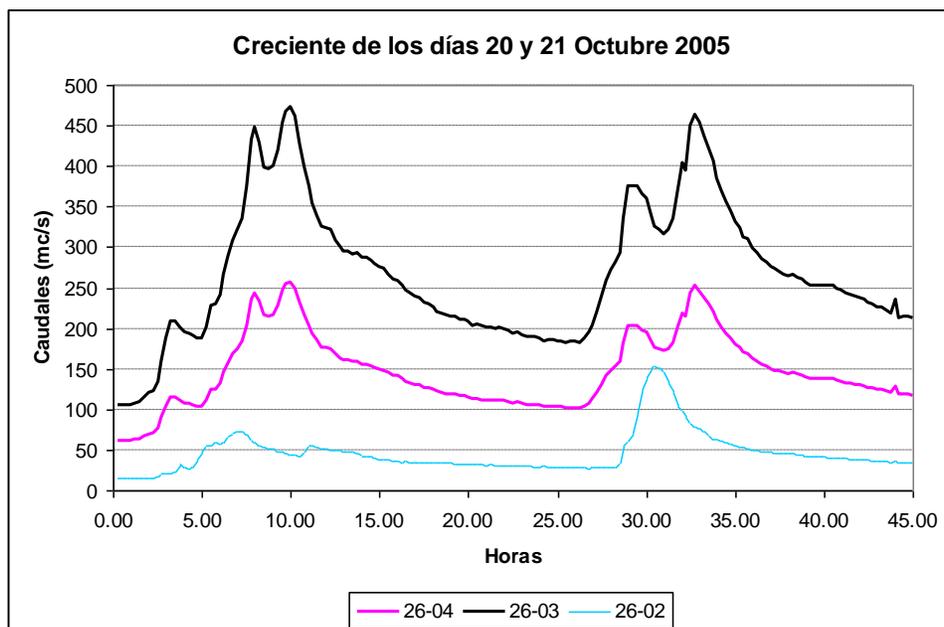


Figura 42. Avenida seleccionada para la simulación de la inundación y el alud torrencial.

Posteriormente, se procedió a efectuar un análisis de la frecuencia de los caudales máximos registrados en las estaciones en mención. De acuerdo con el ajuste de la distribución *general de valores extremos* (GVE), se obtuvo que el caudal de 473 m³/s en Bijagual corresponde a un período de recurrencia (Tr) de 3,5 años, mientras que para 257 m³/s en Tabacales, el período de recurrencia (Tr) corresponde a 5 años. Como lo que se pretende es conocer la extensión posible del área inundada, para varias condiciones extremas, se procedió a “maximizar” la avenida del 20 y 21 de octubre de 2005 para los valores de Tr = 5, 10, 25, 50 y 100 años en cada estación fluviográfica.

En el Cuadro 13 se incluyen los caudales para los períodos de recurrencia de las estaciones estudiadas.

Cuadro 13. Transferencia, por áreas, de los caudales máximos en el sitio de la presa efímera (confluencia del río Pirrís y la quebrada Escuadra)

Estación	Area	T= 5 años	T= 10 años	T= 25 años	T= 50 años	T= 100 años
	Km2	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)
26-03 Bijagual	442.4	723	809	1069	1421	2397
26-04 Tabacales	243.8	257	308	398	541	854
Promedio	343.1	490	558.5	733.5	981	1625.5
Relación área máxima, al sitio de la presa	0.050370931	36.4	40.8	53.8	71.6	120.7
Relación área mínima, el sitio de la presa	0.091403199	23.5	28.2	36.4	49.4	78.1

Al analizar el traslado de información, se concluye que para $T_r=100$ al considera Bijagual el caudal pico es de $120,7\text{m}^3/\text{s}$, y considerando Tabacales se tiene $78,1\text{m}^3/\text{s}$ con un promedio de estos valores de $106,6\text{m}^3/\text{s}$. Por otra parte en el sitio más próximo en la estación Dota (área de drenaje 115m^2) se ha medido como máximo $156\text{m}^3/\text{s}$, sin conocer su período de recurrencia.

Los métodos presentados indican dos extremos, por el método de Creaguer, para 100 años se obtuvo $173,93\text{m}^3/\text{s}$ y el máximo por traslado de medición directa $120,7\text{m}^3/\text{s}$; por esta razón se escogieron los caudales pico estimados por medio del método unitario. En el Cuadro 14 se incluyen los caudales que se utilizarán en la formulación de los modelos y escenarios.

Cuadro 14. Caudales pico y tiempos de llenado del embalse para diferentes períodos de recurrencia en el sitio de la presa efímera (confluencia de la quebrada Escuadra con el río Pirrís)

Período recurrencia (años)	Qpico (m^3/s)	Tiempo llenado embalse efimero de presa de 40 m de altura (hr)	Qpico + Qvol40 (m^3/s)
10	73.67	10.5	461.67
25	117.79	6.6	505.79
50	134.39	5.8	522.39
100	140.33	5.5	528.33

Para el evento de $P_r=100$ años se tendría un margen de tiempo de 5,5 horas, suponiendo que la presa se rompe hasta alcanzar el nivel máximo.

En la Figura 43 se incluyen los hidrogramas para diferentes períodos de recurrencia con un aumento del rompimiento de presa para la elevación de 40 metros.

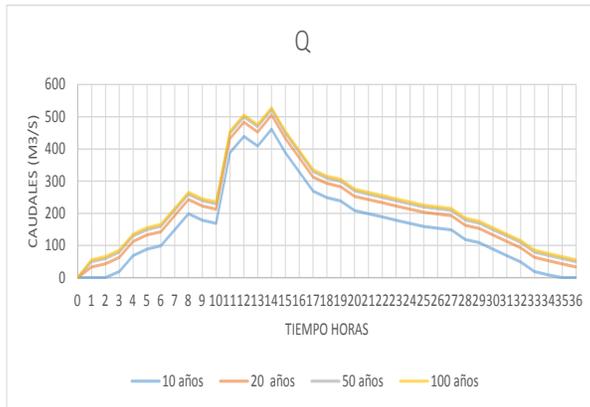


Figura 43. Avenidas seleccionadas para simular los caudales en el sitio de presa efímera

11. Análisis del alud torrencial e inundaciones generados por el rompimiento de la represa efímera (confluencia de la quebrada Escudra con el río Pirrís)

Para este análisis se ha utilizado un modelo de elevación digital (DEM), corregido hidrológicamente, del área de estudio; además, fue desarrollado un mapa de “resistencia al flujo” (“n” de Manning) y un conjunto de hidrogramas correspondientes con los períodos de recurrencia modelados, esto es $Tr=10, 20, 50$ y 100 años.

En la Figura 44 se observa el esquema básico bajo el cual se desarrolla el modelo, cuyo énfasis se concentra en los resultados del análisis hidrológico previo.

Con este modelo es posible definir, no sólo el área expuesta a la inundación, sino que los cálculos proporcionan los niveles del agua en cualquier punto, en diferentes momentos. Tal información suministra un dato básico muy importante para la determinación de la amenaza de la inundación causada por el alud torrencial y, por tanto, para valorar los niveles de exposición de los elementos humanos y ambientales respectivos. El modelo incluye la simulación del rompimiento de la presa efímera. Eventualmente, también se puede cuantificar la vulnerabilidad socio-económica-estructural, pero este tipo de análisis que no se incluye en este estudio.

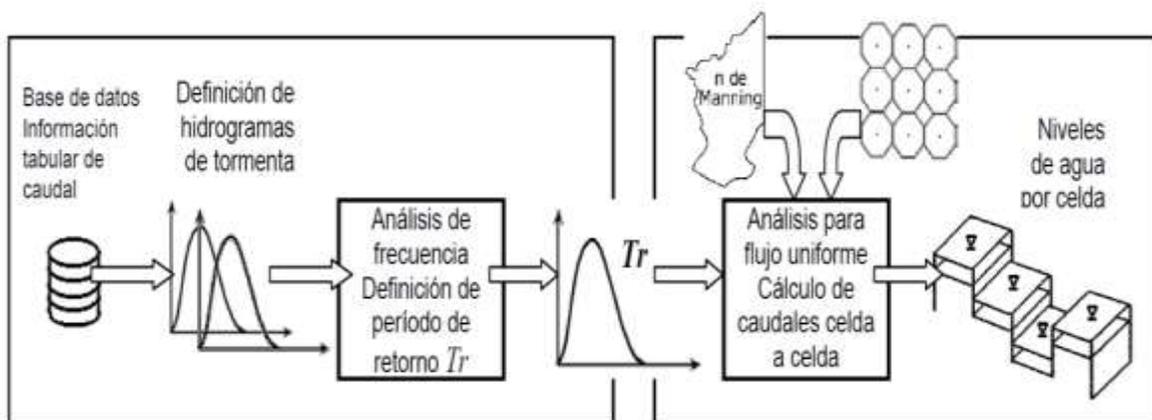


Figura 44. Componentes del análisis hidrológico-hidráulico del modelo.

El cálculo de las áreas inundadas que realiza este modelo se basa en la aplicación de métodos hidrodinámicos. Mediante un proceso de análisis sucesivo, por celdas, se realiza el cálculo del volumen de agua que se mueve durante un lapso (según una secuencia de pasos), hacia las ocho celdas o píxeles vecinos del que se analiza; con ello se obtiene el volumen de descarga, según la fórmula de Strickler-Manning:

$$Q = A V = A K R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

V: velocidad media de la corriente en m/s

Q: caudal desaguado en m³/s

A: área de su sección en m² (varía con el calado)

R: radio hidráulico: $R=A/p$ en m (varía con el calado)

p: perímetro mojado en m (varía con el calado)

S: pendiente de la línea de energía (suponiendo régimen uniforme, se toma igual a la pendiente longitudinal. Es adimensional)

K: coeficiente de rugosidad de Manning-Strickler (adimensional)

En la ecuación anterior, el gradiente S se define como la diferencia entre el nivel de agua más bajo y la mayor elevación del terreno encontradas en la celda y en cada una de sus vecinas. La distancia de recorrido del flujo entre celdas se considera igual a R (ancho del píxel) para las celdas laterales y $2 \cdot \sqrt{R}$ para las diagonales, como se muestra en la Figura 45.

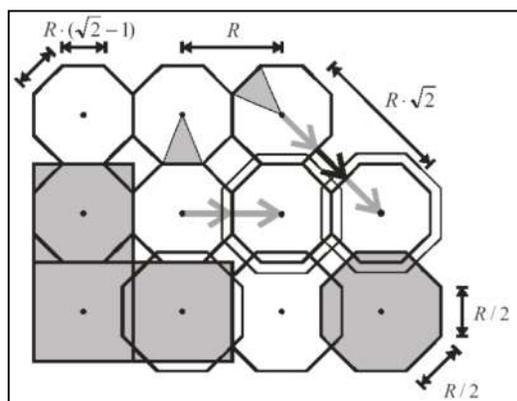


Figura 45. Modelo de celdas para los cálculos del volumen de descarga.

Balance de volumen. Al final de cada iteración, se obtienen los volúmenes de descarga calculados, hacia las celdas subsiguientes, de modo tal que no se producen pérdidas del volumen de agua.

Como se indicó, los hidrogramas pico constituyen la entrada del agua al modelo de elevación, el algoritmo hace que el nivel del agua en las celdas del cauce vuelva a tomar su valor inicial después de cada iteración. Lo anterior implica que se mantiene constante el volumen del agua sobre el cauce. Sin embargo, a lo largo del proceso se van llenando, paulatinamente, las celdas adyacentes a las celdas de cauce, hasta que finaliza el tiempo de simulación o hasta que se alcanza un equilibrio entre el nivel de inundación de toda la planicie con el nivel de agua original sobre el cauce. Opcionalmente, se pueden definir puntos de salida de agua y dependiendo de éstos y sus hidrogramas de salida, así será la cantidad de agua excluida durante la simulación.

Consideración de los bordes del modelo. El modelo asume un gradiente continuo en la superficie del agua, a partir de los bordes del modelo. Debido a lo anterior, el agua va saliendo del modelo de acuerdo con los volúmenes de descarga calculados. No se puede producir una acumulación de agua en los bordes. El volumen, en m^3 , representa la cantidad evacuada desde el último paso temporal.

Limitaciones. Este es un modelo hidráulico bidimensional simplificado, integrado en un sistema de información geográfica. Debido a las simplificaciones metodológicas, originalmente fundamentadas en los principios de la hidráulica de canales abiertos, los resultados deben ser considerados de forma muy general y su precisión depende estrechamente de los insumos disponibles. La precisión se limita a la resolución que brinda el modelo de elevación del cauce. Otra limitación es que los algoritmos no toman en cuenta la transferencia de impulsos y por lo tanto, no se disciernen correctamente algunos elementos, como por ejemplo el desnivel del agua en los meandros del río.

Selección del evento utilizado en la simulación Para determinar cuál podría ser la tormenta que mejor ilustra los efectos de la inundación derivada del rompimiento de la presa efímera, se procedió a estudiar el registro de las lluvias. En el Cuadro 14 se muestran las tormentas para diferentes períodos de recurrencia: $Tr = 10, 25, 50$ y 100 años.

Rugosidad del suelo. La rugosidad del terreno debe ser tomada en cuenta para calcular los caudales de descarga entre celdas. Este procedimiento se representa por medio del coeficiente de rugosidad de Manning (“n”), el cual tiene reconocidas implicaciones de subjetividad. La rugosidad se asocia al uso de la tierra en cada una de las celdas, o sea, la información y reclasificación del mapa de uso de la tierra. Los valores de la rugosidad, asociados con los usos específicos en el área (exceptuando el cauce del río) se presentan en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Factores de Manning y Strickler que caracterizan los usos de la tierra.

Valor	Uso de la tierra	Factor de Mannig n	Factor de Strickler
1	1- Cultivos anuales	0.06	16.67
2	2- Cultivos perennes	0.17	5.88
3	3- Pastos	0.15	6.67
4	4- Bosques	0.8	1.25
5	5- Charral y tacotal	0.41	2.44
6	6- Tierras misceláneas	0.04	25.00
7	7- Agua y anegados	0.02	50.00
8	8- Urbano	0.04	25.00

Nota 1: Valores adaptados de las tablas de factores de Manning, incluidas en el manual del Delkalb County Public Work Department y en el manual de drenaje de Sacramento City/County.

Nota 2: para el caso de estudio al no contarse con la separación de cultivos, se supuso son perennes, por la gran cobertura de café en el áreas.

En la Figura 46 se incluye el modelo de elevación utilizado para la modelación. Esta área incluye el embalse de la planta hidroeléctrica Pirrís, porque de suceder el evento máximo analizado, la avenida, incluidos los materiales sólidos transportados, desembocará en ese embalse.

En la Figura 47 se incluye el uso de la tierra para esta área, dado que con éste factor, como se ha mencionado, se deduce e coeficiente “n” de Manning, el cual ha sido incluido en la Figura 48.

En las figuras 49 y 50 se incluye los niveles de inundación y las velocidades respectivamente, para el período de recurrencia de $Tr=100$ años y según el rompimiento de la presa de 40 metros de altura, que constituye un evento extremo.

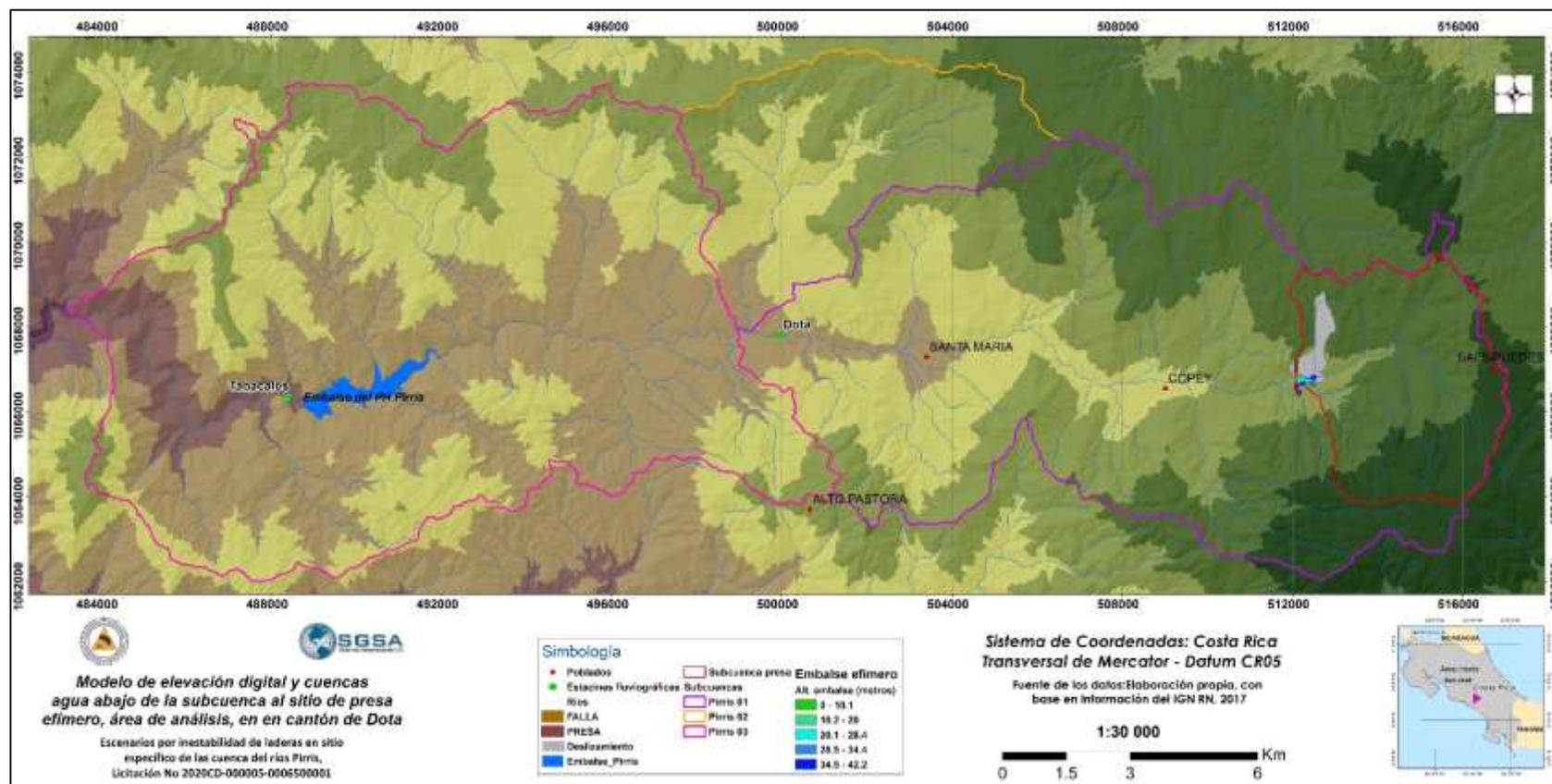


Figura 46. Modelo de elevación digital utilizado en la construcción de escenarios de ruptura de la presa efimera en la confluencia de la quebrada Escuadra con el río Pirris.

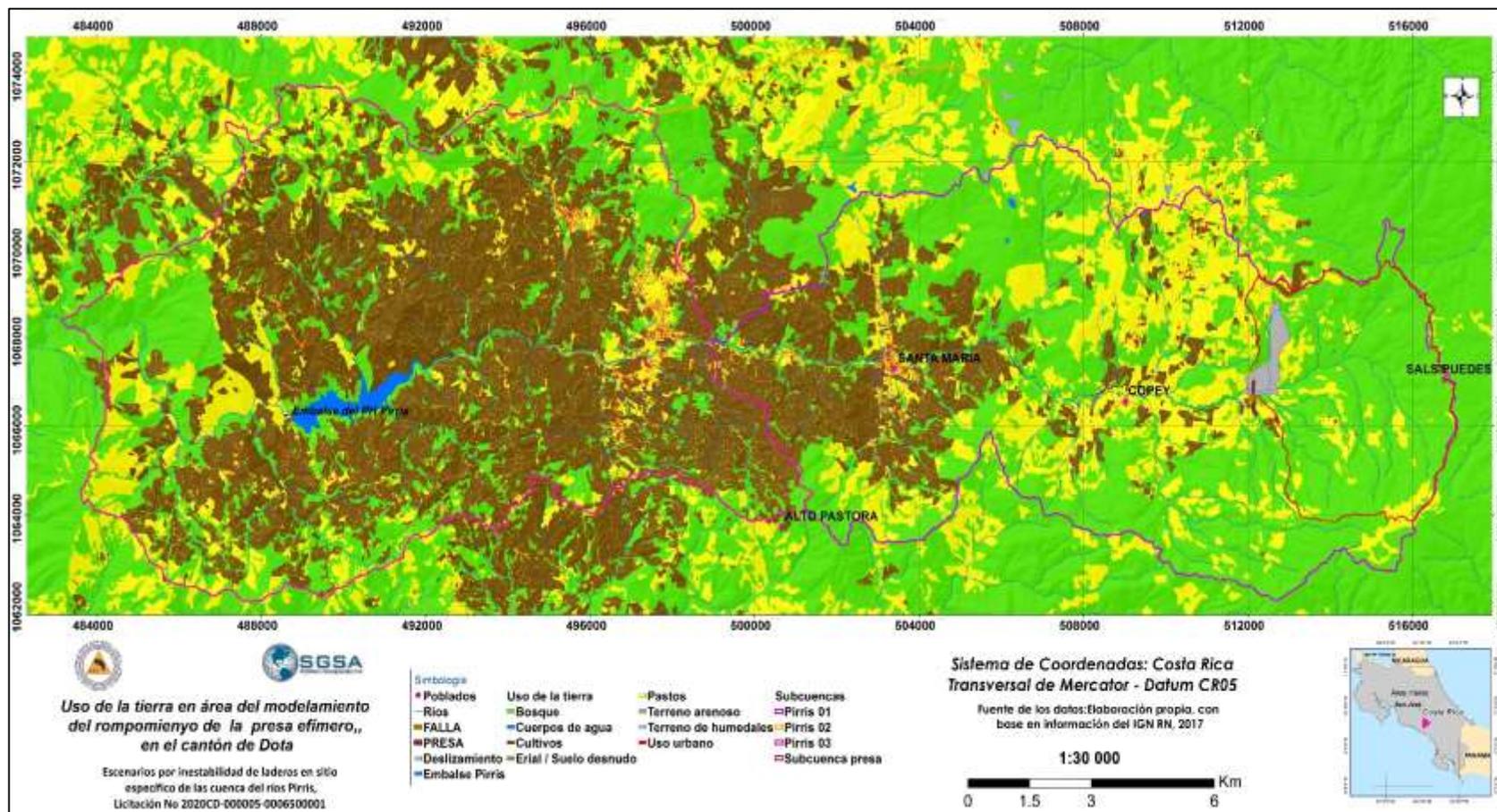


Figura 47. Uso de la tierra, en la cuenca alta- media del río Pirris.

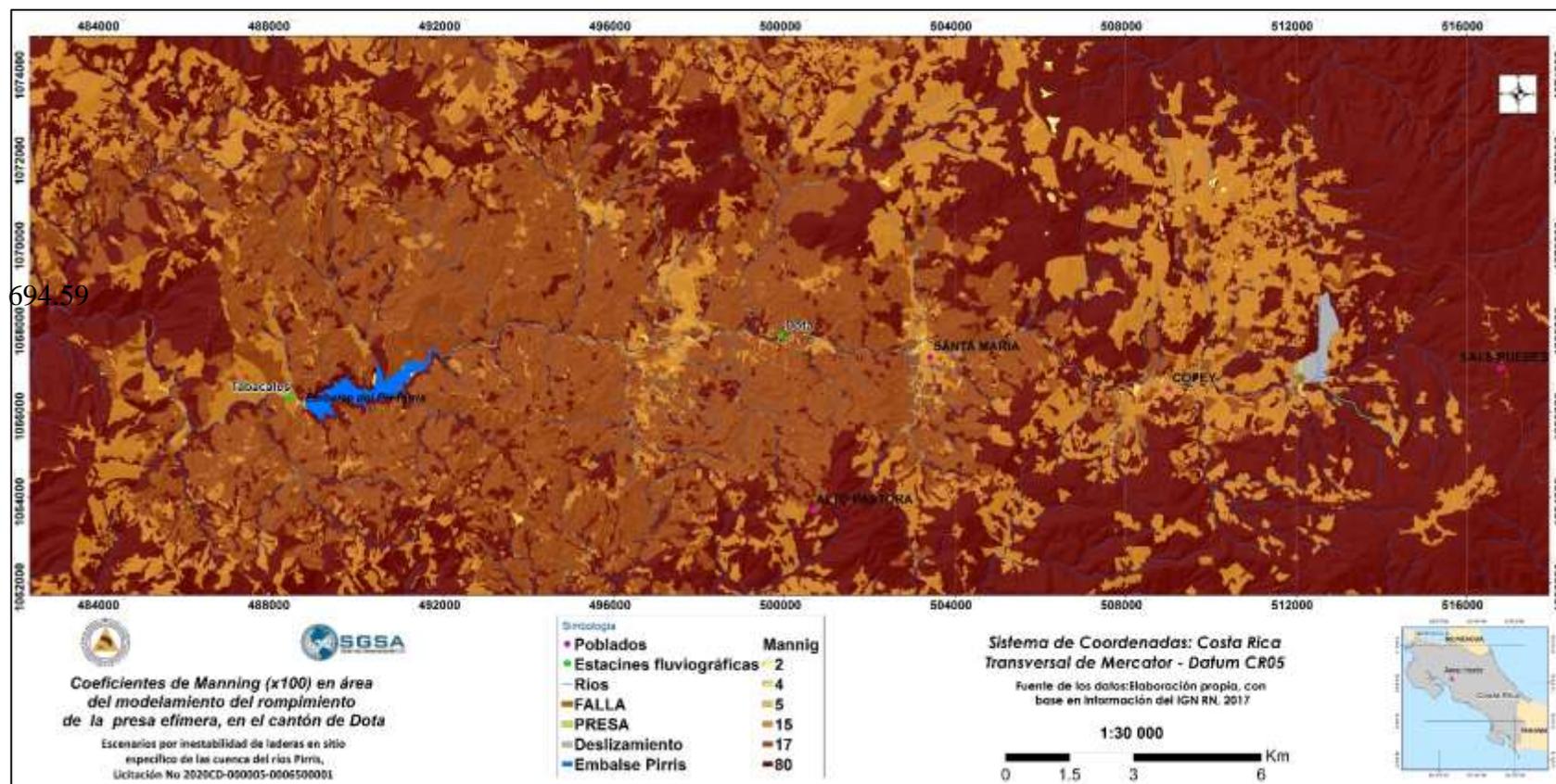


Figura 48. Valores de coeficiente de “Manning”, en la cuenca alta- media del río Pirris.

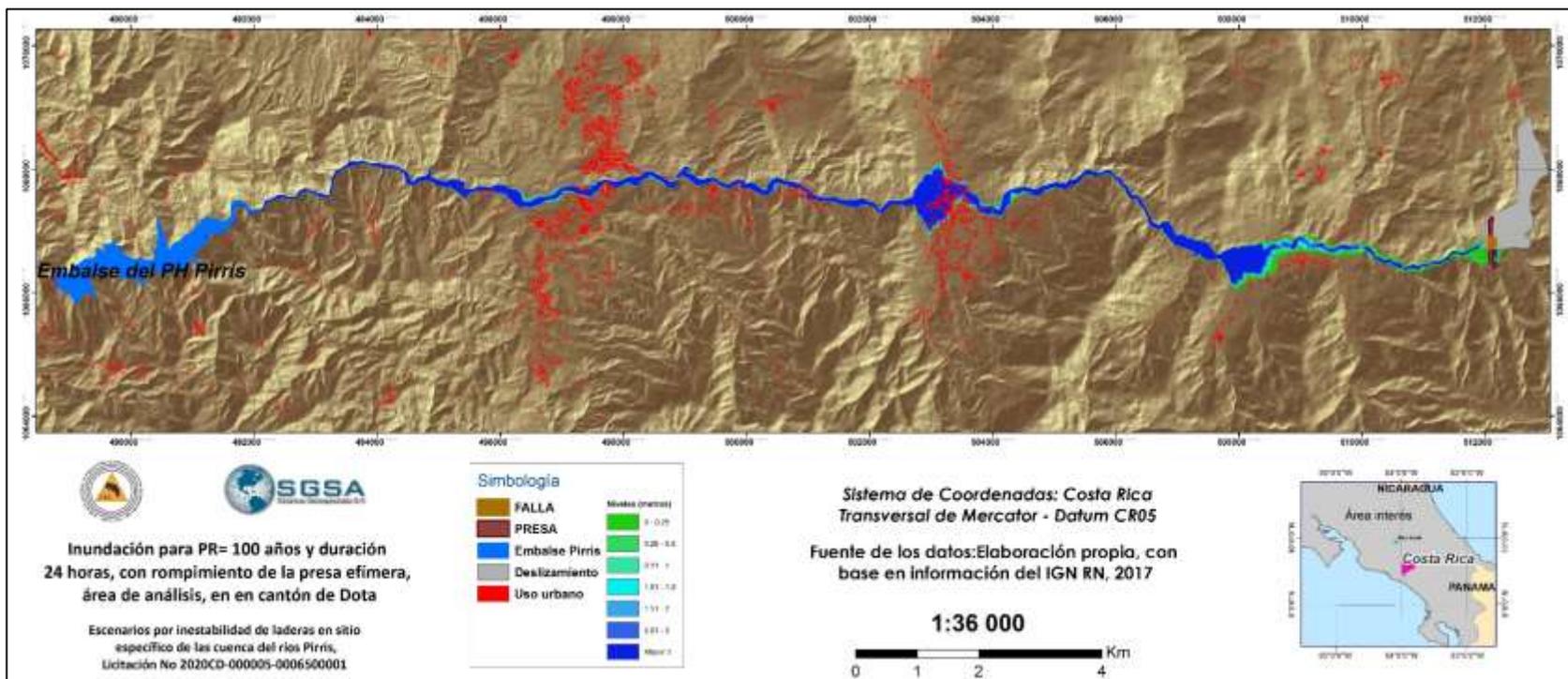


Figura 49 Niveles de inundación alcanzados para el evento de $T_r=100$ años, derivados del alud torrencial causado por el posible rompimiento de una presa efímera que pudiese formarse en la confluencia de la Quebrada Escuadra y el río Pirris.

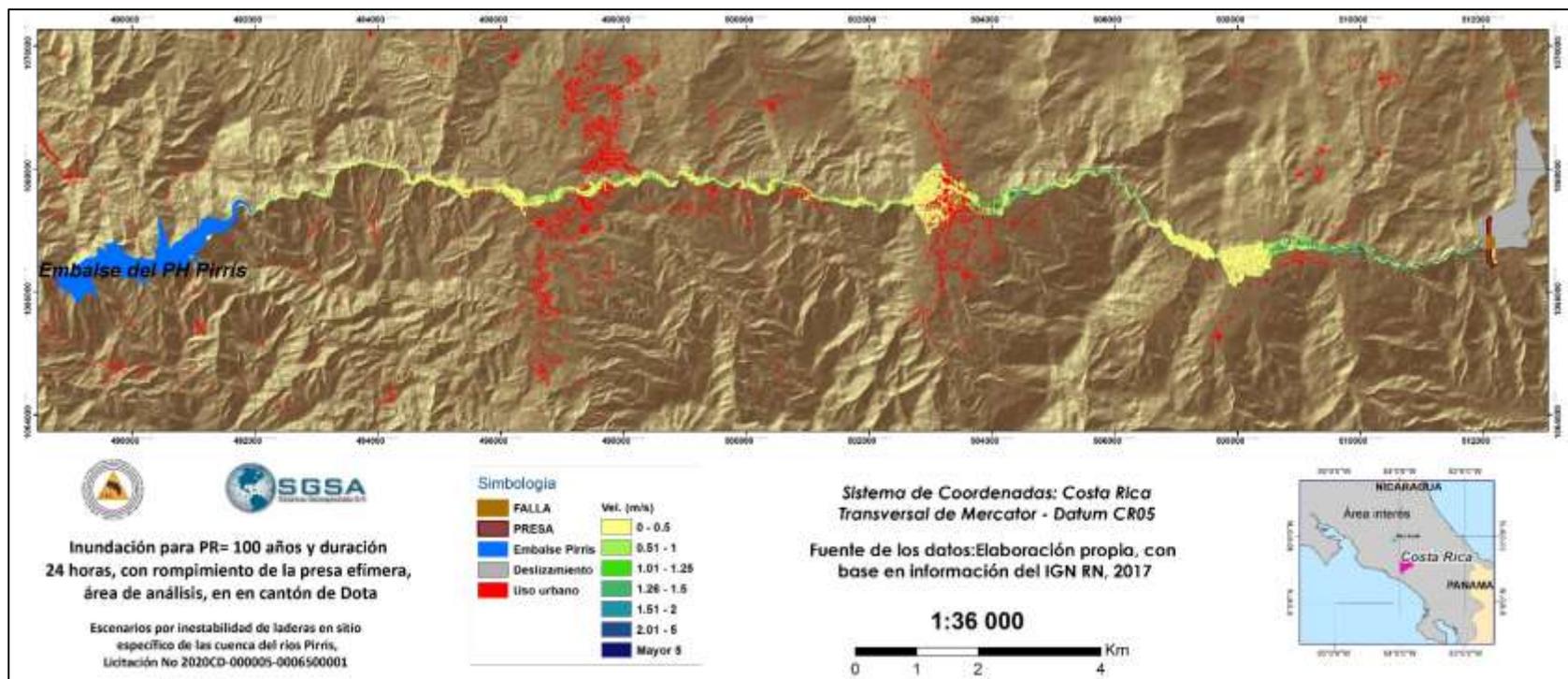


Figura 50. Velocidades del flujo del alud torrencial, para un período de recurrencia de $T_r=100$ años, área alta - media Pirris

La modelación efectuada muestra un cauce capaz de llevar la inundación en sus inicio, sin embargo, el agua tiende a inundar partea donde el mismo tiene la posibilidad de salirse en abanicos de bajas pendientes, tal el caso de cunado se pasa por Copey, Santa María y otros lugares hasta terminar en el embalse de la planta hidroeléctrica Pirrís.

El caso presentado es un caso extremo, que incluye una avenida pico máxima de 3.8 veces el evento para el período de recurrencia de 100 años. En el Anexo 3, se incluyen tanto las profundidades de desbordamiento como las velocidades del flujo para los períodos de recurrencia de 10, 25 y 50 años, para las mismas áreas.

Dado que la construcción de estos modelos incluye un área muy extensa, desde la confluencia de la quebrada Escuadra con el río Pirrís hacia aguas abajo, en las Figuras 51 a 57, se muestran los productos de los escenarios de inundación y de velocidad por partes. Esto permite observar, con mayor detalle, las áreas expuestas a la inundación causada por el alud torrencial y eventualmente permitirán evaluar el daño potencial a las propiedades, las actividades productivas de bienes y servicios y la infraestructura pública. La información acerca del uso urbano de la tierra es de 2017, sin embargo lo importante es señalar que el cauce tiene capacidad para soportar una proporción importante del evento y, si bien podría haber infraestructura afectada, es posible que esta sea la que se encuentra más cercana al cauce del río Pirrís.

Como limitantes de estos resultados, se debe indicar que el análisis no consideró la influencia hidráulica de obstáculos, como por ejemplo puentes y/o alcantarillas atravesadas en el cauce, lo cual podría generar el efecto de represamientos parciales y que provocarían retardos, desbordamientos e inundaciones puntuales que causarían algunas distorsiones en el flujo y que distanciarían el efecto real del modelo y sus escenarios. Tampoco fue tomado en cuenta el efecto de la presencia del embalse de la planta hidroeléctrica Pirrís, el cual recibiría, finamente, la avenida modelada y los materiales sólidos transportados. Sería necesario analizar si esta obra tendría la capacidad para retenerla y/o evacuar un evento de esta naturaleza mediante la operación de los vertedores y los dispositivos de descarga de fondo.

En las Figuras 51 y 52 se observa que, cuando se produzca el rompimiento de la presa efímera, las poblaciones ubicadas aguas debajo y áreas con profundidades mayores a 25 cm, podrían verse afectadas, por lo que las personas deberán ser evacuadas rápidamente a sitios seguros hasta que pase el evento; luego del rompimiento hay afectación a unas 25 viviendas a la entrada de Copy, unos 200 metros luego de rompimientos el agua se encauza e inicia su recorrido hacia aguas abajo, con una afectación mayor al pasar por Copey, con alrededor de unas 30 viviendas/edificaciones afectadas en mayor o menor grado dependiendo de la profundidad y de la velocidad de arrastre del agua; en esta parte el agua se embalsa por efecto topográfico, y continuará bajando, como se comenta a continuación.

En las Figuras 53 y 54, se aprecia el tramo entre la confluencia Copey y Santa María de Dota y entre aunque es posible que se produzcan daños y pérdidas relativamente menores, pues el río transita por un cauce dentro de un valle profundo y poco habitado, la situación cambia a la entrada, tanto de Copey, como de Santa María y posteriormente San Marcos, pues la cantidad de viviendas y edificaciones expuestas en esos lugares aumenta considerablemente.

En las Figura 55 y 56 se observa que en el paso por Santa María hay varias viviendas e infraestructura expuestas, pues se han invadido los lechos mayores y menores y las márgenes del río Pirrís, ésta corresponde al área mayormente afectada. Aunque en algunos casos la profundidad de la inundación es relativamente baja, en otros es mayor. Tómese en cuenta que el poder destructivo de este tipo de flujos aumenta considerablemente, con respecto al de una avenida compuesta exclusivamente por agua, por el hecho de que en condiciones de alud torrencial la cantidad de sólidos es típicamente muy elevada.

En las Figuras 57 y 58, se representa el tramo entre Guadalupe y San Marcos, en donde el río, de nuevo, fluye a lo largo de un valle profundo y con menos cantidad de elementos expuestos.

En las figuras 59 y 60, todavía se observan viviendas que se ubicaron en las márgenes del cauce y tienen problemas de inundación y de flujo.

Finalmente, en la Figura 61 y 62 se representa el tramo del cauce antes de la llegada al embalse de la planta hidroeléctrica Pirrís, el cual se comportaría como una especie de amortiguador. En este tramo no hay viviendas e infraestructura expuestas; sin embargo, sí se podría producir un impacto considerable para el embalse hidroeléctrico, pues sería decantado un volumen importante de materiales sólidos. Un cálculo rápido permite estimar que, en el plazo inmediato del arribo del alud al embalse, podría decantarse alrededor de un 30% del volumen inicialmente transportado por el alud, a partir de la ruptura de la presa efímera.

Aunque se puede hacer la contabilización de viviendas/infraestructura afectada en este recorrido; lo importante es tomar las medidas preventivas, que se expresaran más adelante en este informe, y que intentan regular el uso, el coordinar con la comunidad local un sistema de vigilancia y de respuesta, que permita abrir la presa efímera antes que alcance su nivel máximo, para que el evento que se dé sea mucho menor al analizado y sus efectos se vean amortiguados.

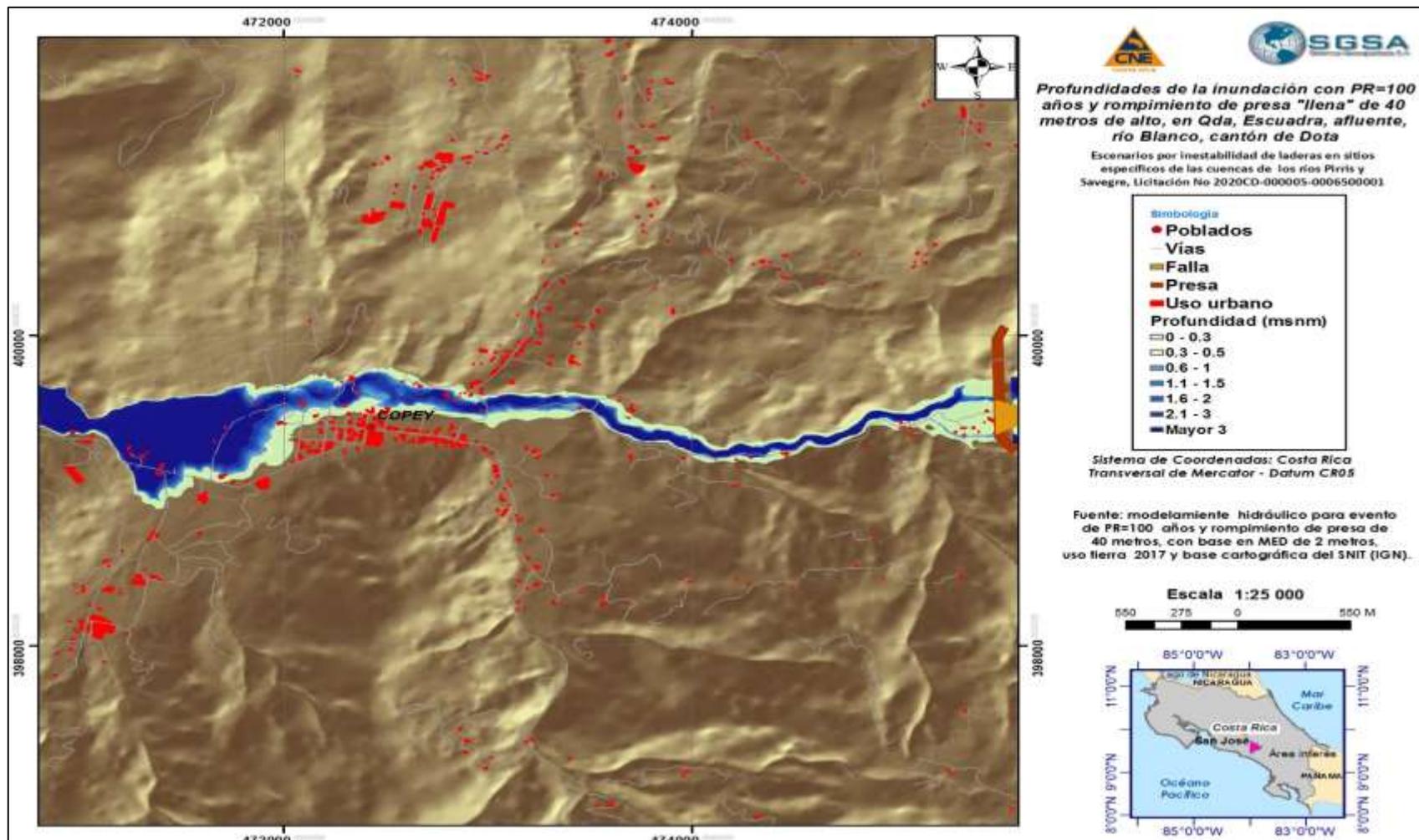


Figura 51. Inundación causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey de Dota.

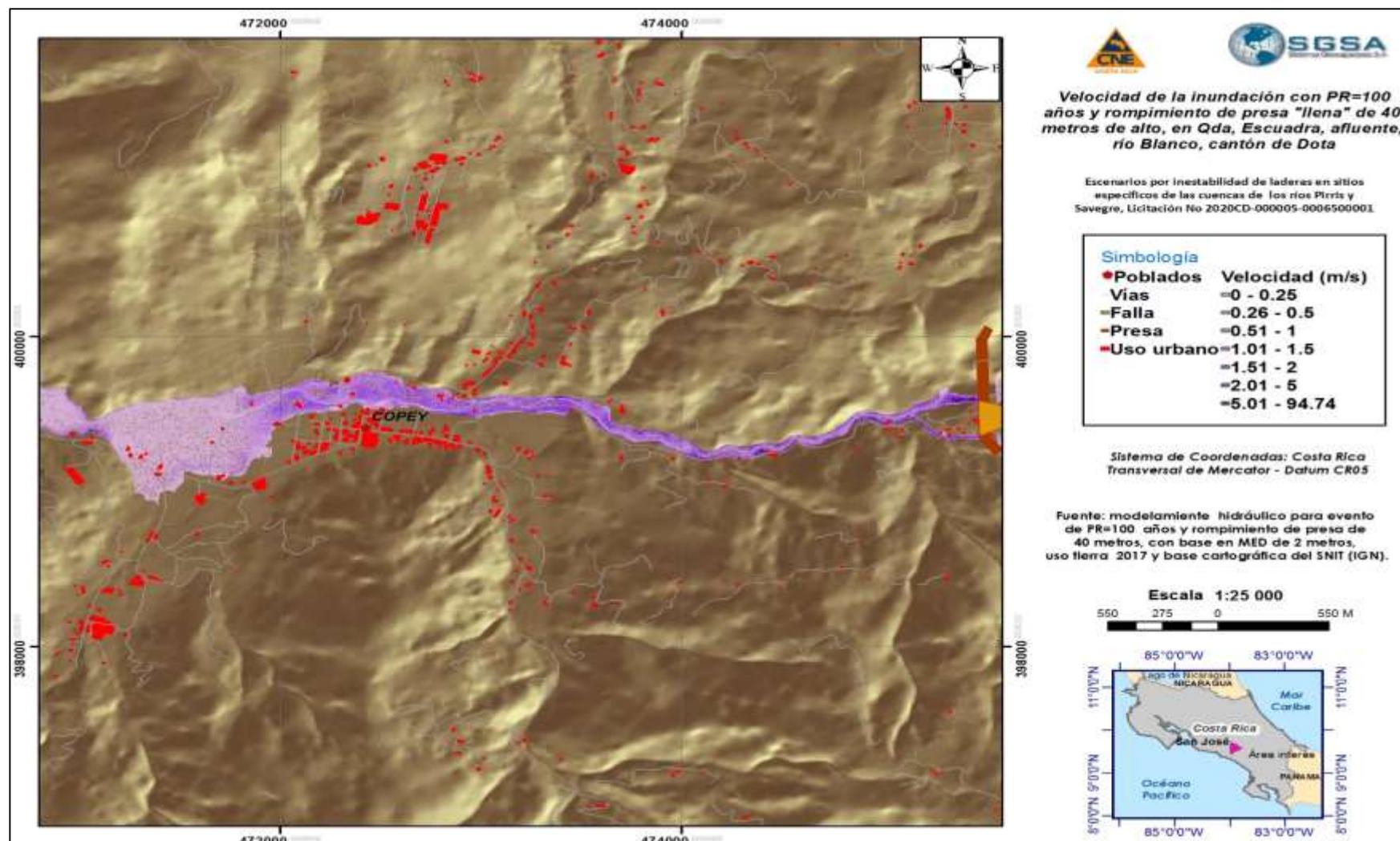


Figura 52. Velocidad del flujo causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey

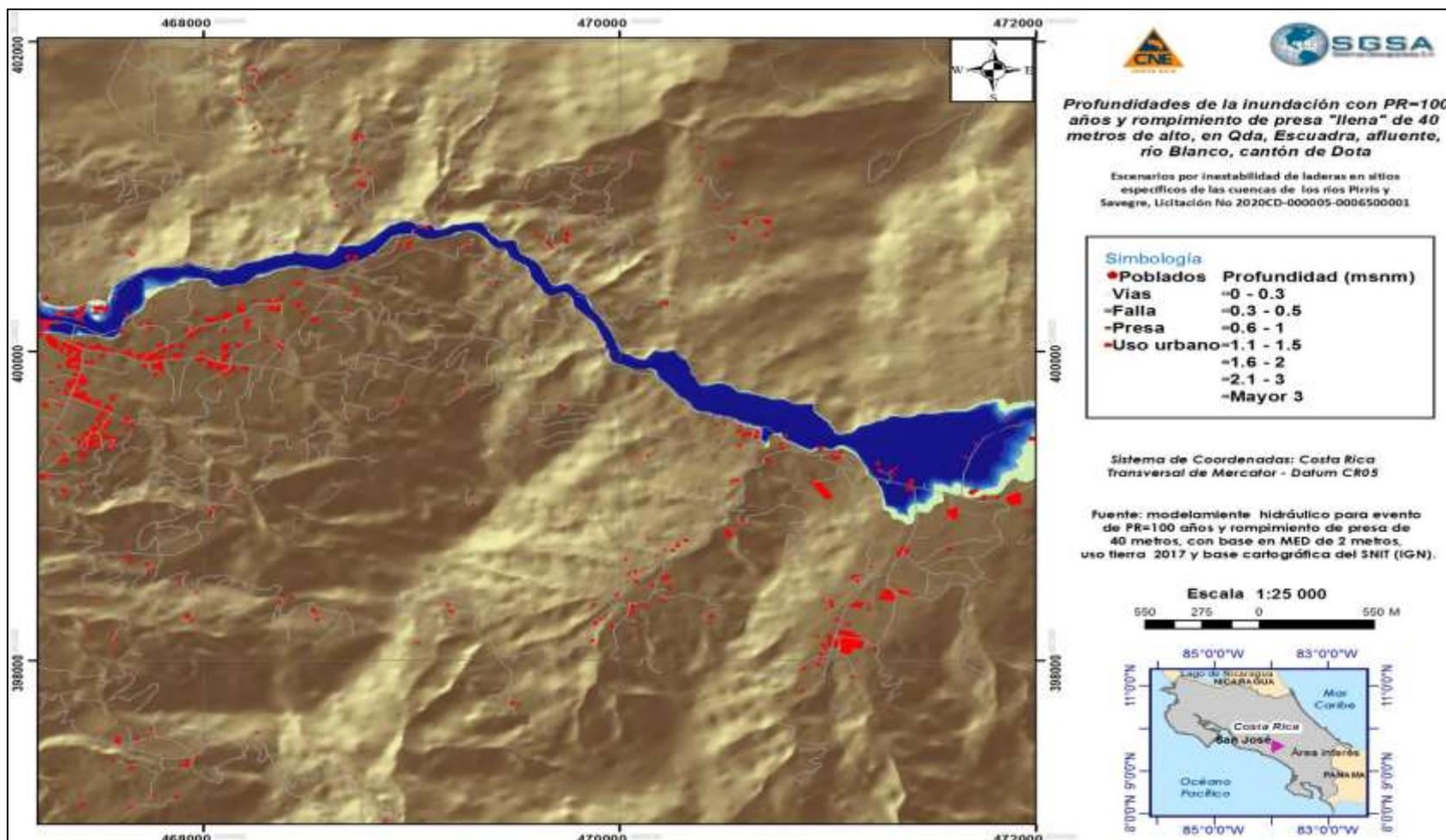


Figura 53. Inundación causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre Copey y Santa María de Dota.

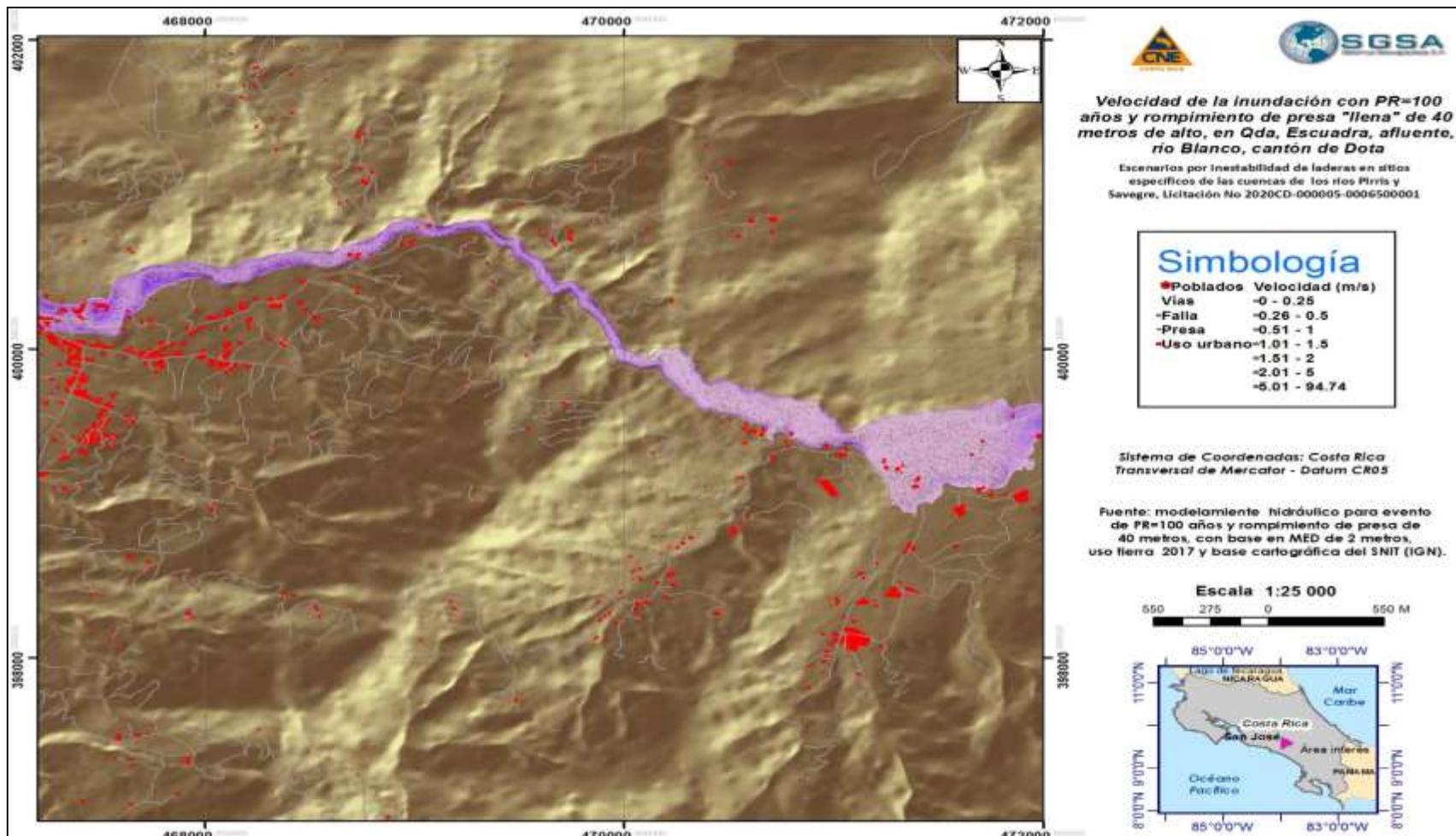


Figura 54. Velocidad del flujo causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey

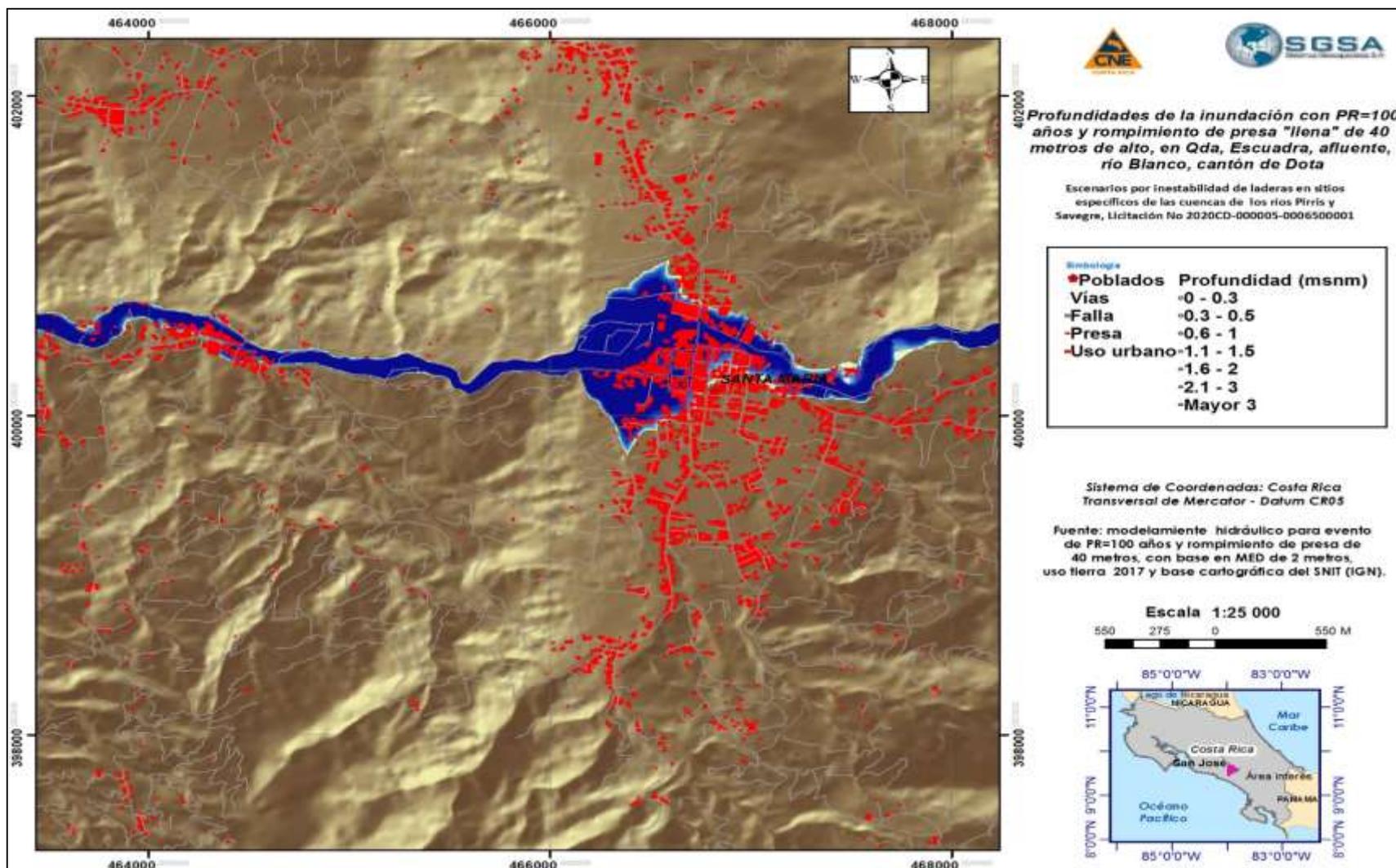


Figura 55. Inundación causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de $Tr=100$ años en Santa María Dota

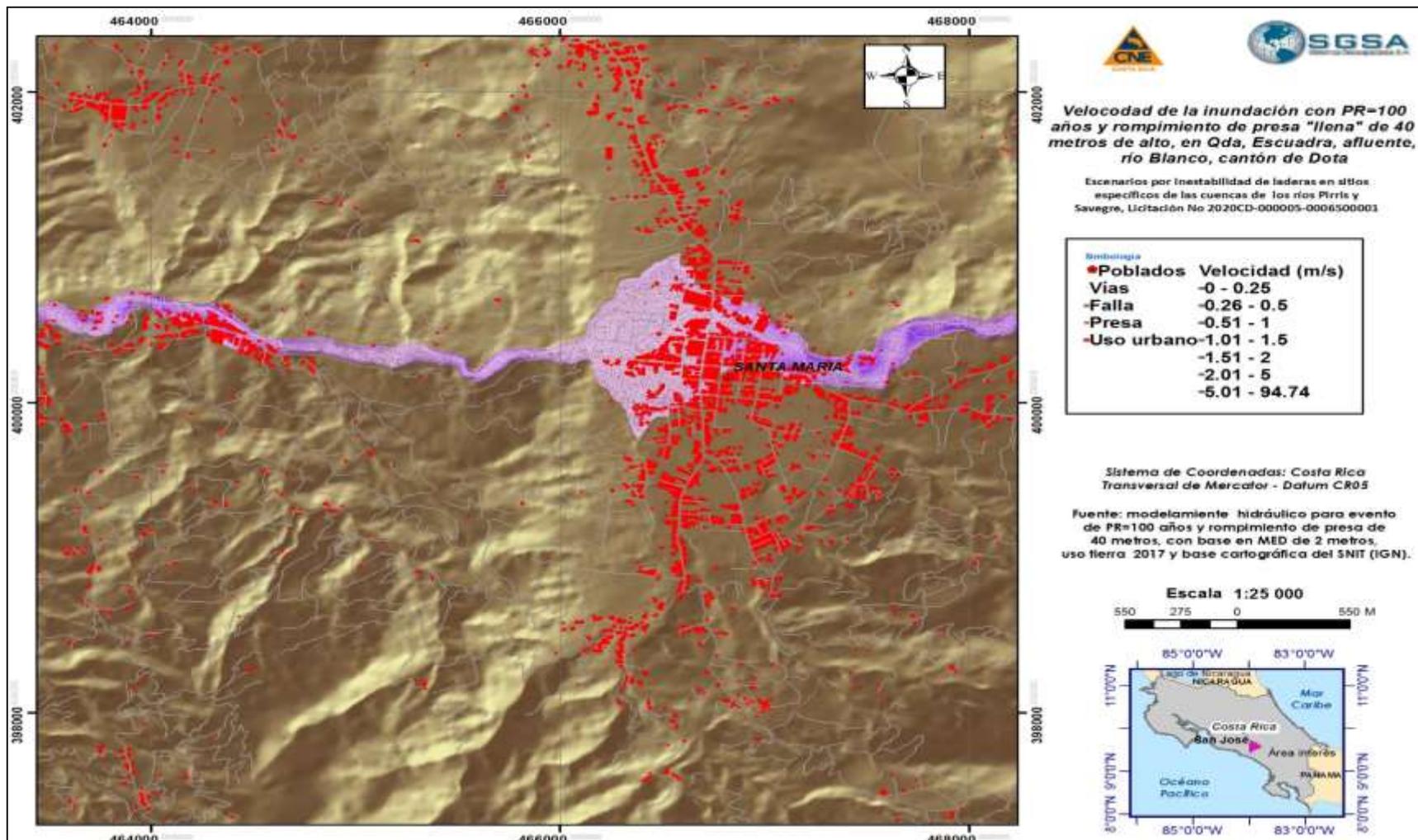


Figura 56. Velocidad del flujo causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey

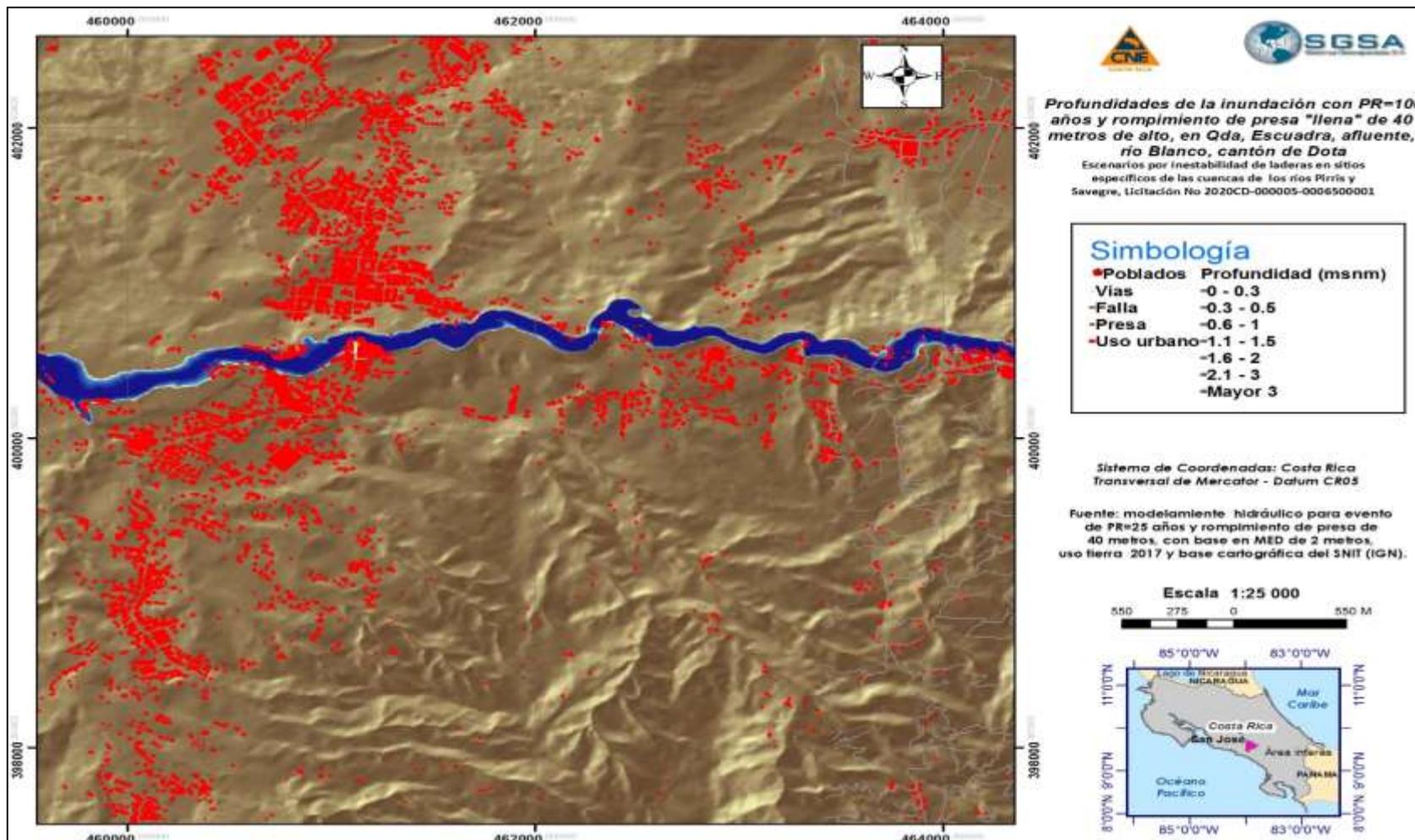


Figura 57. Inundación causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de $Tr=100$ años en Santa María Dota

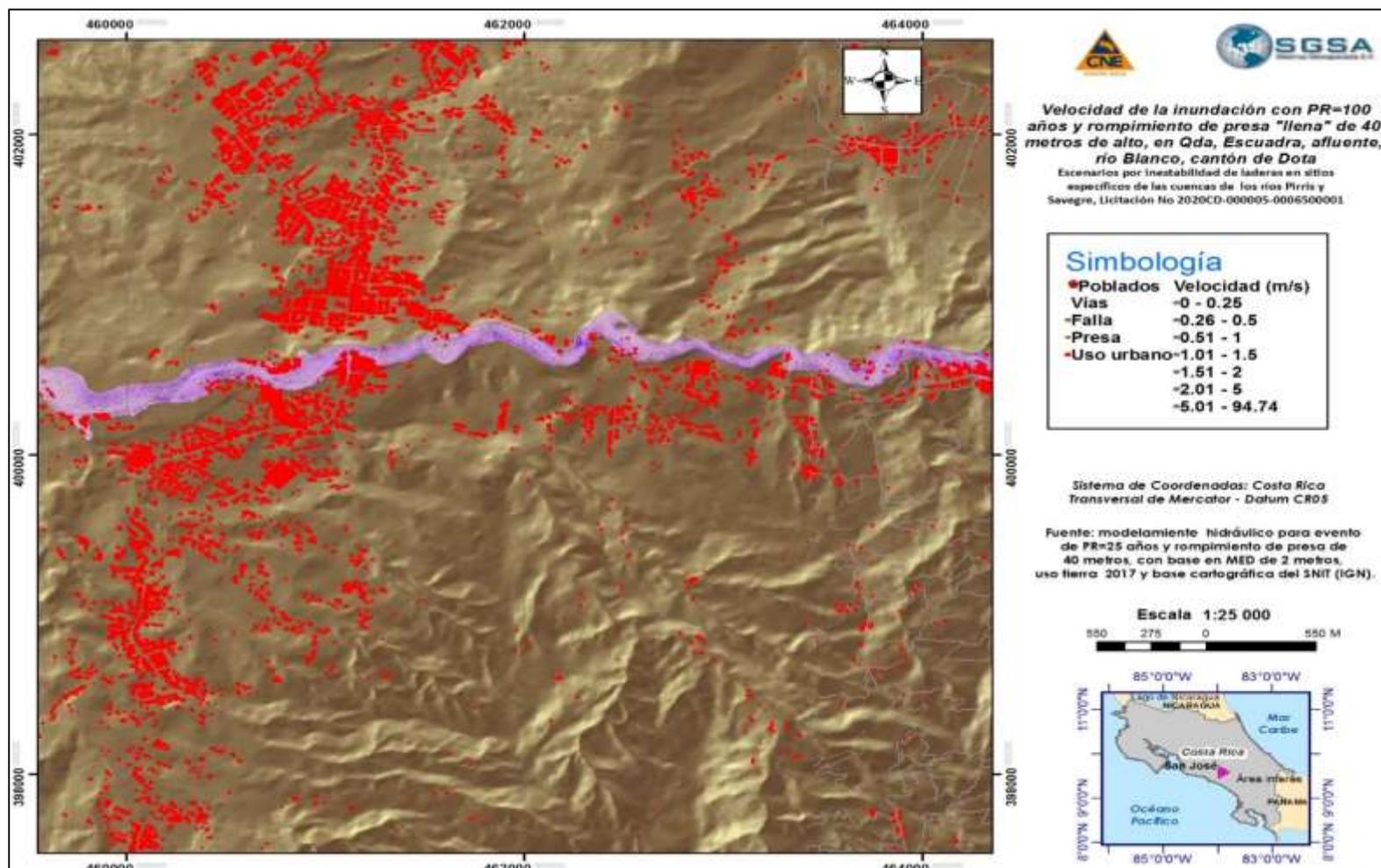


Figura 58. Velocidad del flujo causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey

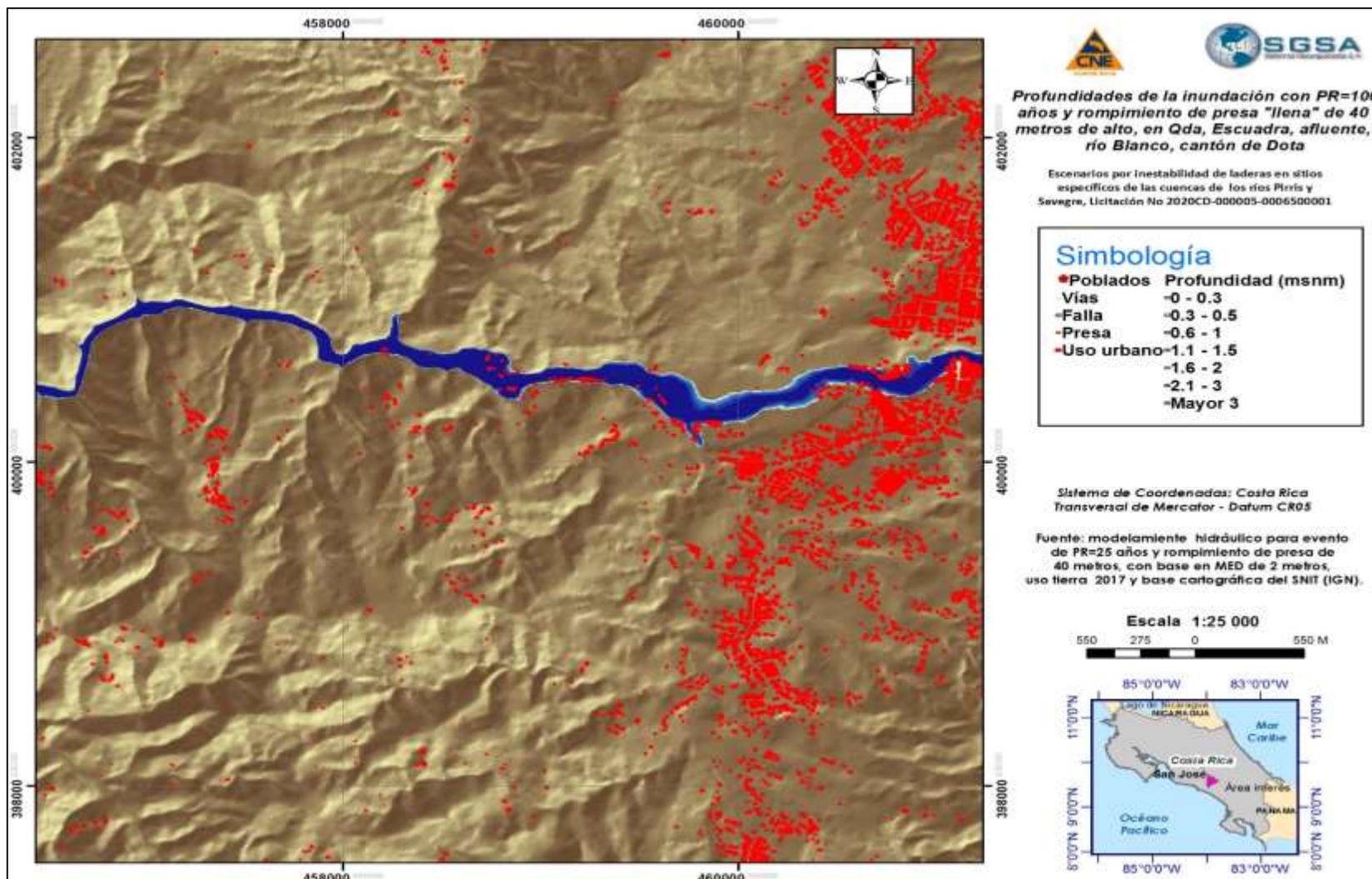


Figura 59. Inundación para un período de recurrencia de 100 años en el tramo entre San Marcos de Tarrazú y el embalse de la planta hidroeléctrica Pirrís

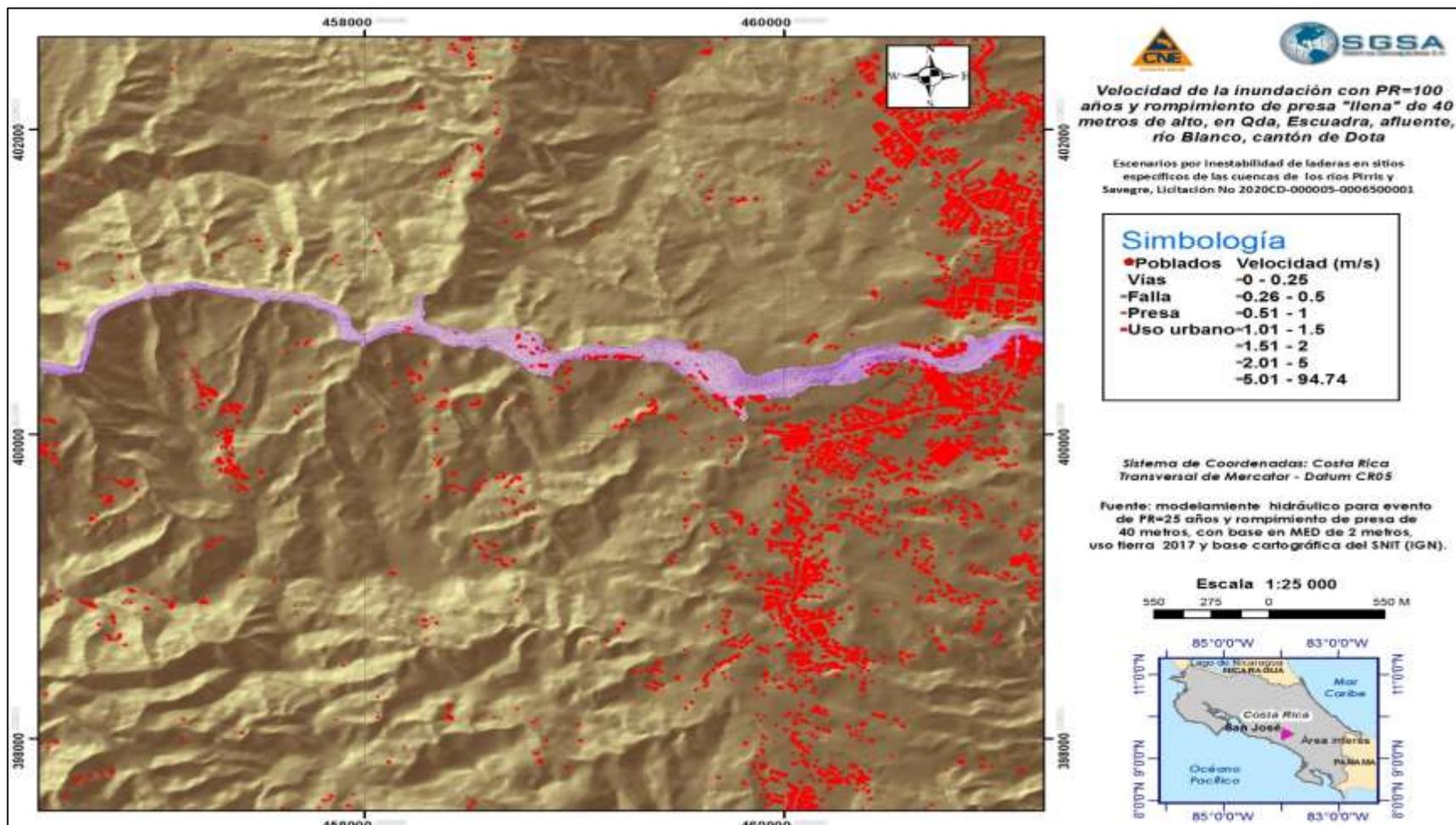


Figura 60. Velocidad del flujo causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey

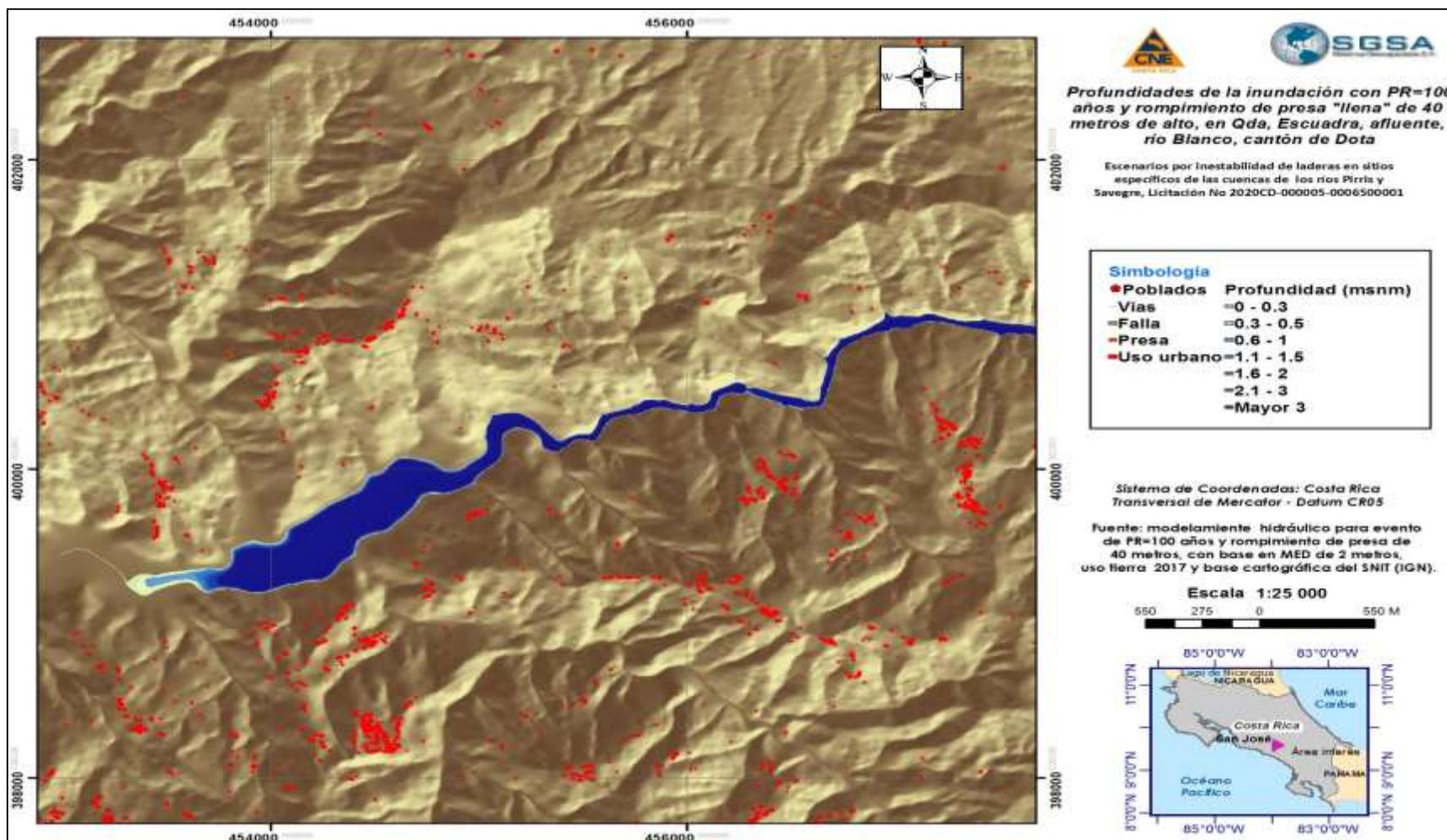


Figura 61. Inundación para un período de recurrencia de 100 años en el tramo entre San Marcos de Tarrazú y el embalse de la planta hidroeléctrica Pirrís

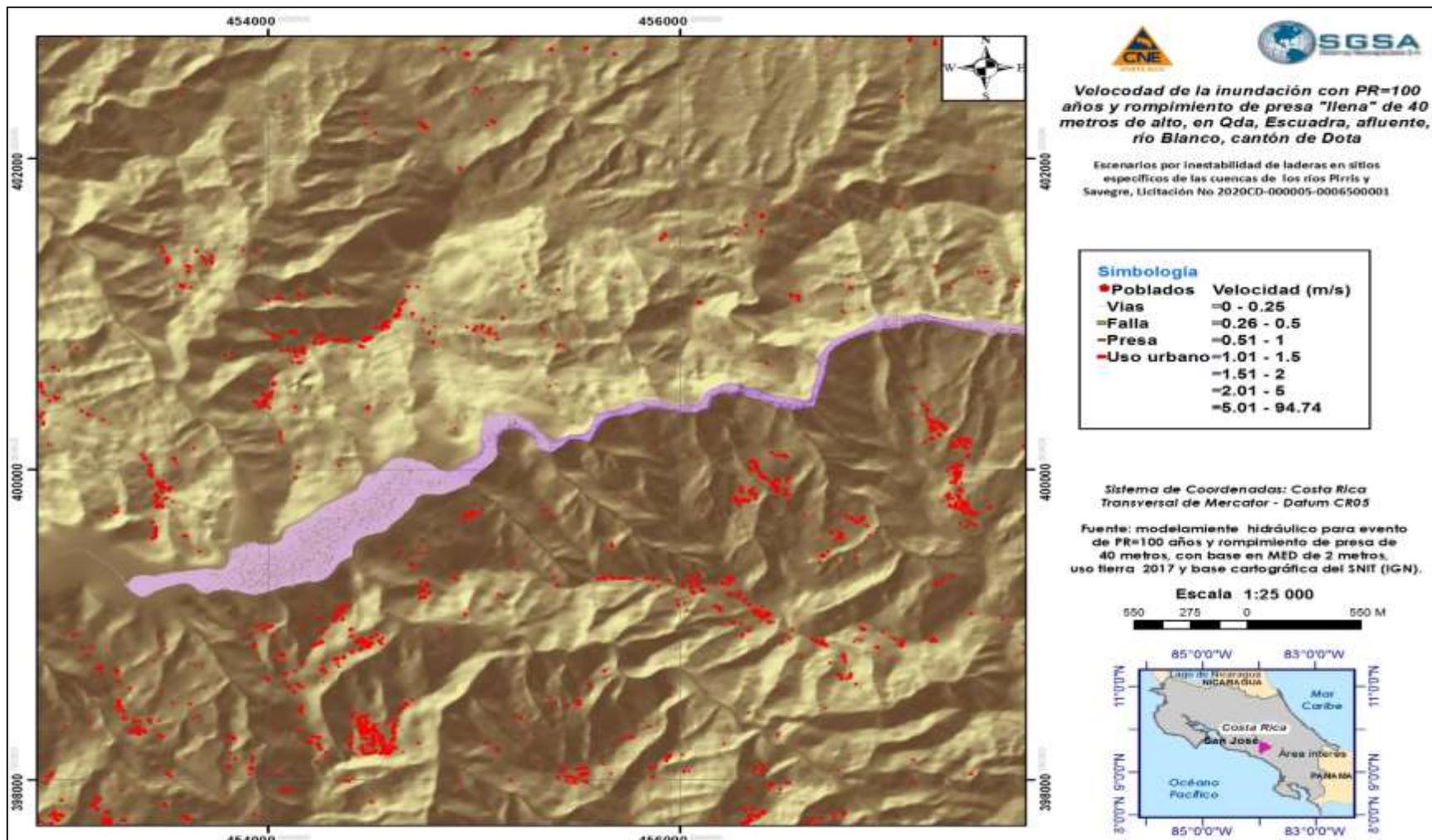


Figura 62. Velocidad del flujo causada por el alud torrencial, para un período de recurrencia de 100 años, en el tramo entre la presa efímera y Copey.

12. Caracterización biofísica del área de Savegre

En este apartado se incluye la caracterización del área local del deslizamiento denominado San Isidro de Savegre, parte alta de la comunidad de río Blanco.

12. 1 Orografía

El área presenta altitudes que van desde los 1.433 msnm hasta los 54 msnm, con una media de 609 msnm. Siendo la variación en altitud muy considerable, se considera que éste es un factor que interviene y regula los aspectos geomorfológicos de esta área. Por otra parte el cambio en altitudes en cortas distancia, hace que se tenga un relieve muy abrupto con pendientes escarpadas.

11.2 Pendientes

Con base en el Decreto Ejecutivo 41860-MAG-MINAE, se han establecido los rangos de pendiente y su nomenclatura está basado en la metodología de Capacidad de Uso de la Tierra, mostrados en la Figura 63.

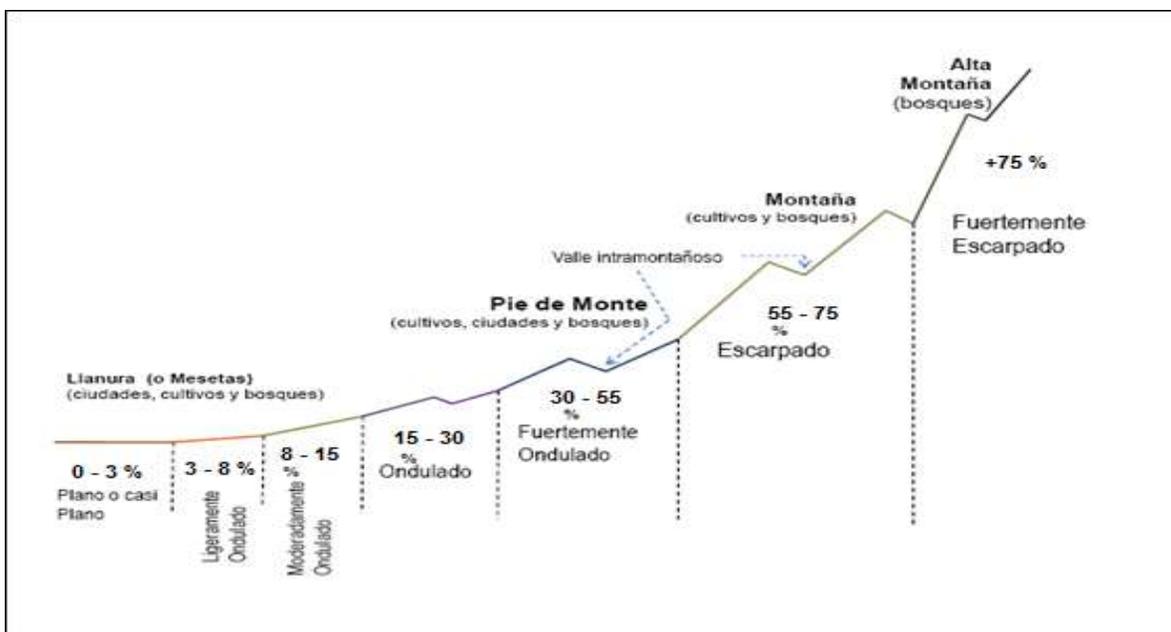


Figura 63. Tipos de relieve y convención de nomenclatura según Decreto Ejecutivo No 41860 MAG-MINAE

En la Figura 64 se incluye la representación espacial del modelo de elevación digital elaborado con base en escala 1:5,000 e interpolado con pixel de 2 metros. En la Figura 65 se incluyen las pendientes con los rangos del decreto.

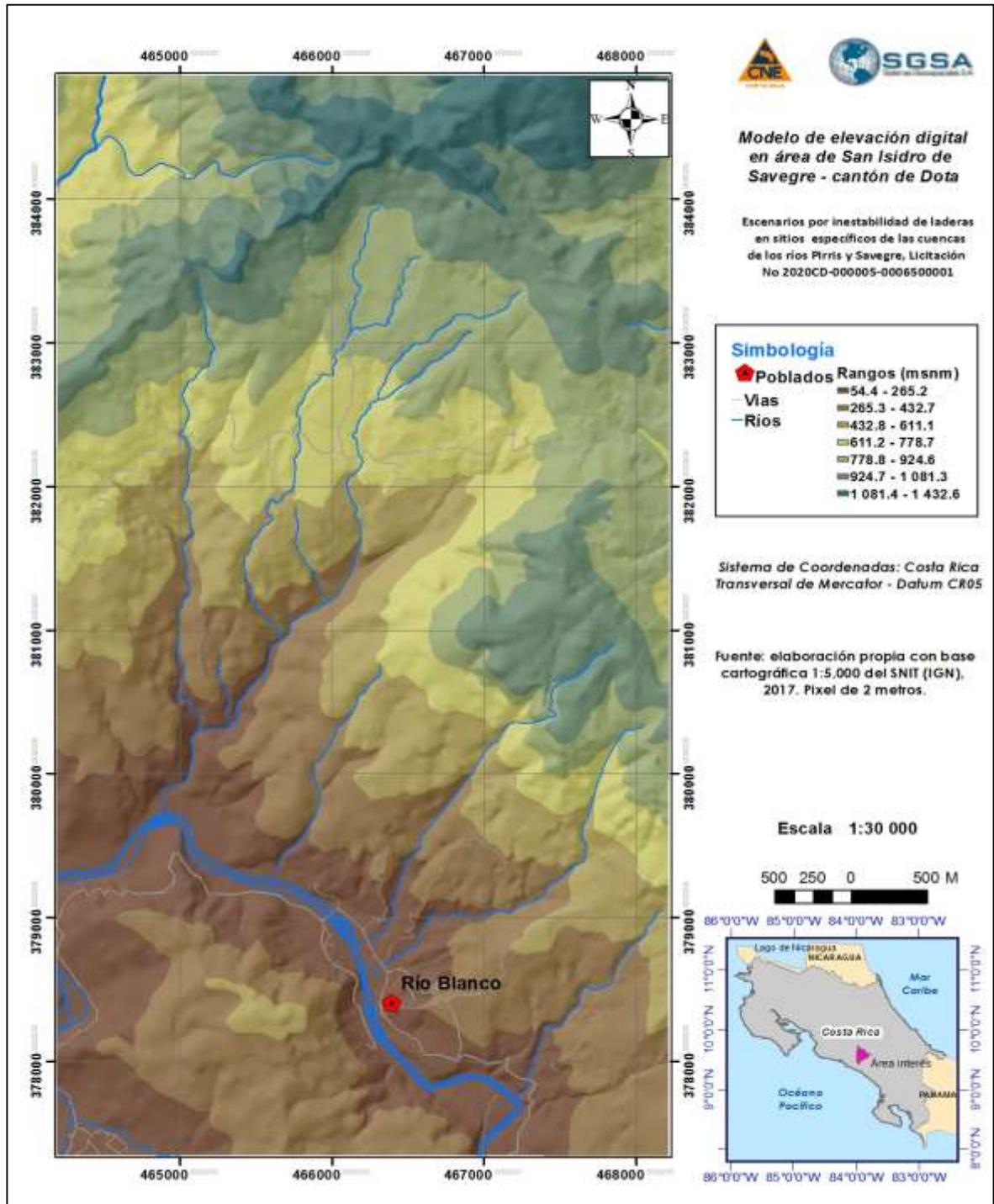


Figura 64. Relieve en área de análisis local, San Isidro de Savegre

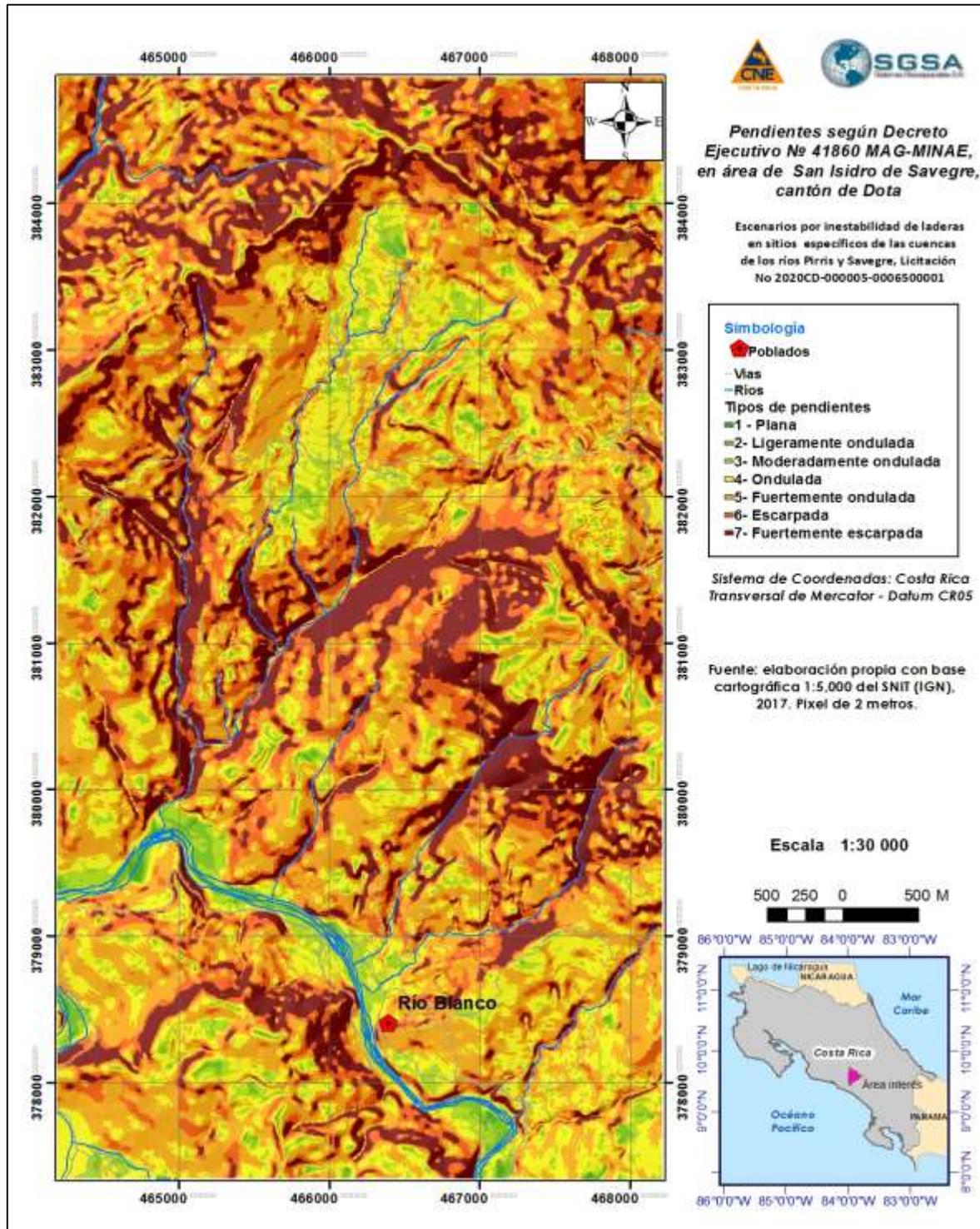


Figura 65. Tipos de relieve según Decreto Ejecutivo No 41860 MAG-MINAE, en el área de análisis local, San Isidro de Savegre

En el Cuadro 16, se resumen las áreas de las pendientes con un 41,3% o 12,5 Km² del área con pendientes escarpadas o fuertemente escapadas, o bien el 33,9% o 10,0 Km² incluyendo las pendientes fuertemente onduladas; con una área del 25,6% o 7,7 Km², en condiciones de pendientes menos o iguales al 30%, hacen que el área tenga una vocación forestal o de protección, principalmente en las parte altas y en las cañones colindantes a los ríos y quebradas.

Cuadro 16. Relieve y áreas en el sitio de análisis

Clase	Rango %	Relieve	Área (Km ²)	Porcentaje
1	0 a 3	1- Plano o casi plano	0.11	0.80%
2	3 a 8	2- Ligeramente ondulado	0.57	4.96%
3	8 a 15	3- Moderadamente ondulado	1.68	11.40%
4	15 a 30	4- Ondulado	5.38	28.00%
5	30 a 55	5- Fuertemente ondulado	10.03	33.90%
6	55 a 75	6- Escarpado	6.20	13.33%
7	Mayor 75	7- Fuertemente escarpado	6.26	7.62%
Total			30.21	100.00%

12.3. Cuencas hidrográficas derivadas

Con base al Modelo de Elevación Digital (MED) y utilizando el programa SWAT se logran definir las subcuencas a nivel de quebrada en el área de interés.

En la Figura 66 se incluyen las subcuencas derivadas, donde el área hasta el punto de cierre de la subcuenca 6, envuelve al deslizamiento principal, en el área de estudio. En el Cuadro 17 se incluyen las áreas de las subcuencas, en realidad microcuencas a nivel de quebradas en hectáreas.

Cuadro 17. Áreas de las subcuencas a nivel de quebradas en el área de San Isidro de Savegre

Número subcuenca	Area (Ha)	Porcentaje del área
1	55.31	7.61%
2	46.93	6.45%
3	105.27	14.48%
4	144.68	19.90%
5	230.01	31.63%
6	74.64	10.26%
7	70.32	9.67%
Total	727.16	100.00%

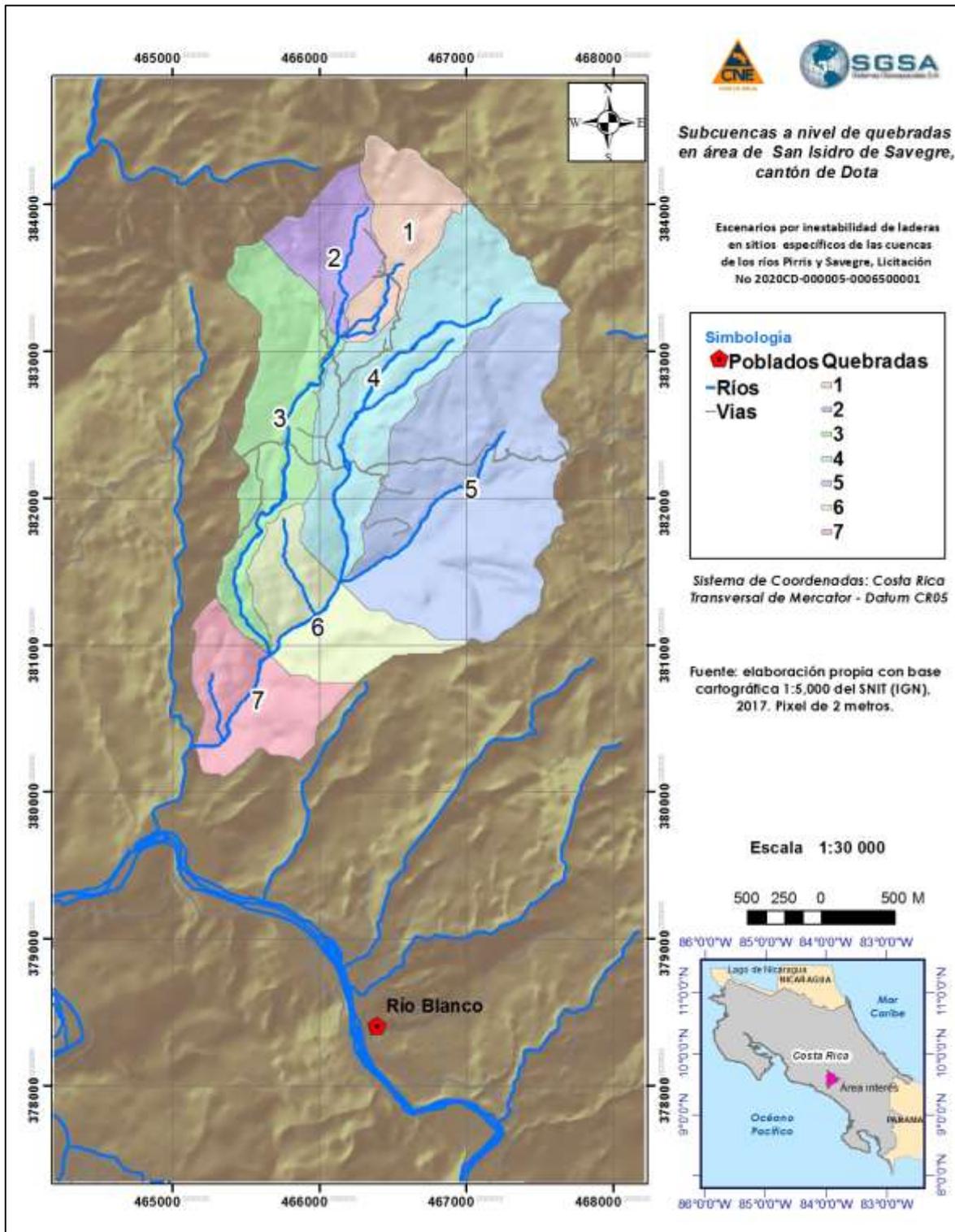


Figura 66. Subcuencas de las quebradas en el área de San Isidro de Savegre I.

12.4. Zonas de vida

Respecto a Zonas de Vida, se utilizó el Mapa Ecológico de Costa Rica, según el Sistema de Clasificación de Zonas de Vida del Mundo de L. R. Holdridge, del Centro Científico Tropical. En la Figura 67 se muestran las 2 zonas que se tienen en el área de interés, con valores altos de la lluvia, y de temperatura como se aprecia en el Cuadro 18.

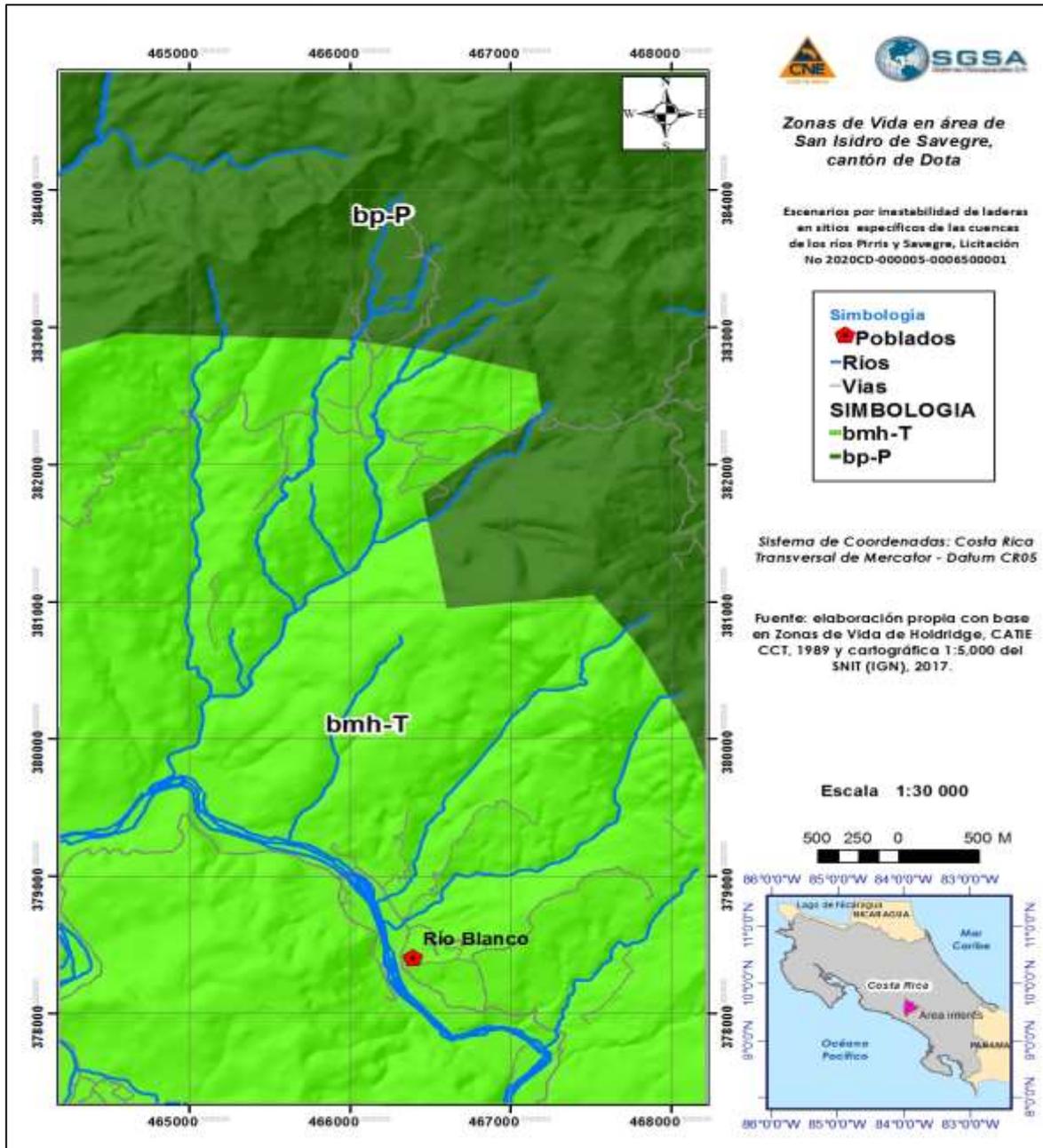


Figura 67. Zonas de vida en el área de San Isidro de Savegre

Esta condición de bosque con las pendientes altas del área y al estar en la divisoria de cuenca, hacen que el área sea rica en fauna y flora, y la tendencia debe ser la conservación de la mismas.

Cuadro 18. Características y áreas de las Zonas de Vida en el sitio de análisis

Número	Zona	Nombre de zona - piso	Biotemperatura (°C)	Precipitación (mm)	Area (Km ²)	Porcentaje
1	bmh-T	Bosque muy húmedo Tropical transición a Premonta	24-30	4000-8000	19.20	63.6%
2	bp-P	Bosque pluvial - Premontano	18-24	4000-6000	11.01	36.4%
Total					30.21	100.0%

12.5 Aspectos climatológicos en el área de San Isidro-Savegre

Con base en el mapa de precipitación anual, correspondiente al estudio del balance hídrico CATIE/CRS, 2015, con los datos del IMN para el período 1961-2015 para el área de interés, la precipitación media anual es de 5.263 mm, con un máximo de 6.138 mm y un mínimo de 4.650 mm, ver Figura 68. Esto ratifica los valores de las Zonas de Vida, en un rango muy alto, para la precipitación promedio anual.

Se observa la presencia de un cinturón pluviométrico en la parte de mayor elevación de la cuenca y que contiene los máximos de precipitación, los cuales descienden hacia la parte central y occidental del área.

Es probable que este máximo se deba al ascenso y condensación orográfica del aire húmedo procedente del Pacífico. La distribución temporal de la precipitación permite detectar un período menos lluvioso entre diciembre y abril.

En la Figura 69 se incluye la distribución de la temperatura en el área de interés. La temperatura está asociada a las elevaciones del terreno, así hacia el Sur tienen las temperaturas más bajas. El mínimo anual es de 17,6 °C, aumentando hacia el Sur con un máximo de 24,7 °C y un promedio para el área de interés de 21,7 °C.

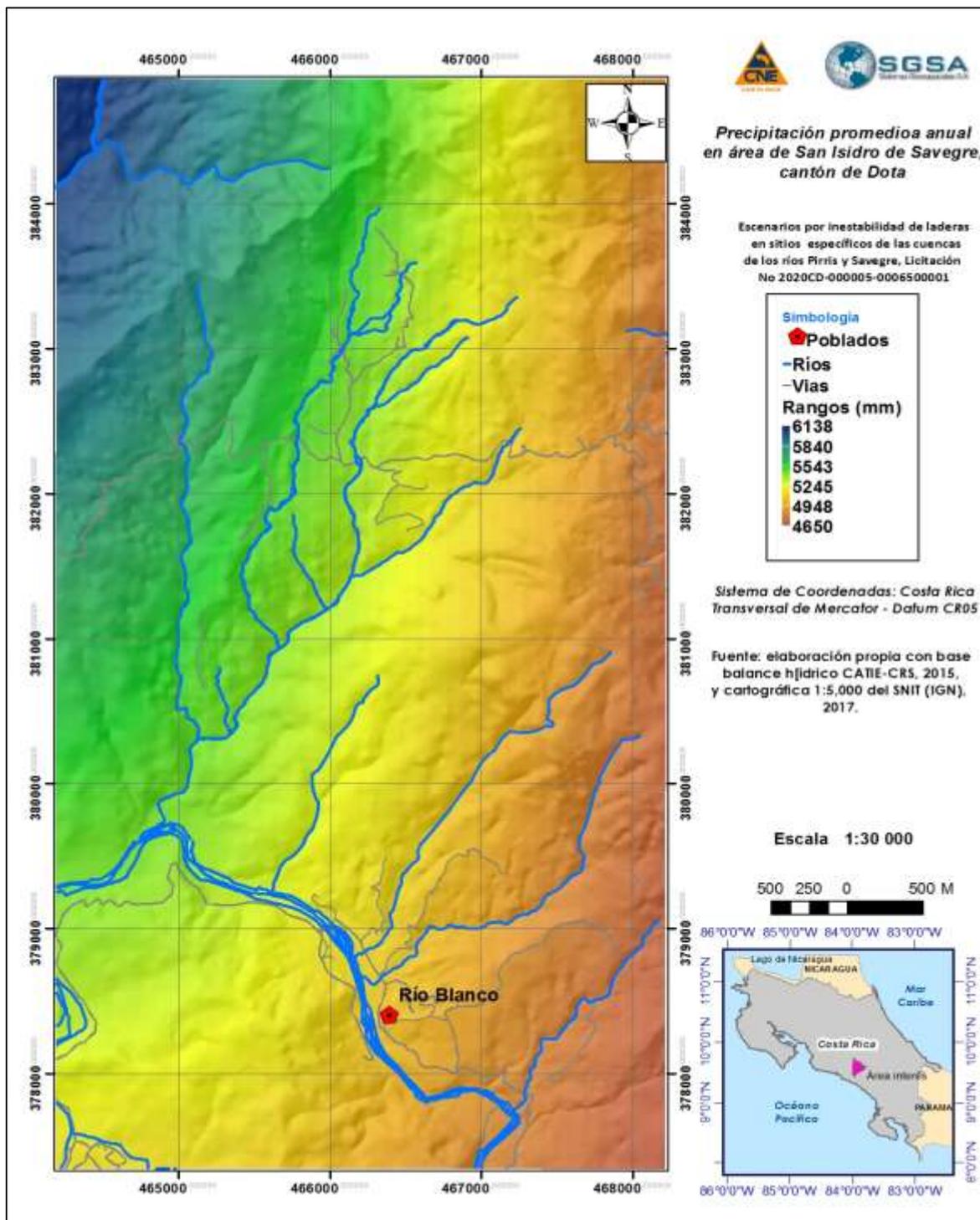


Figura 68. Precipitación promedio anual en el área de San Isidro de Savegre

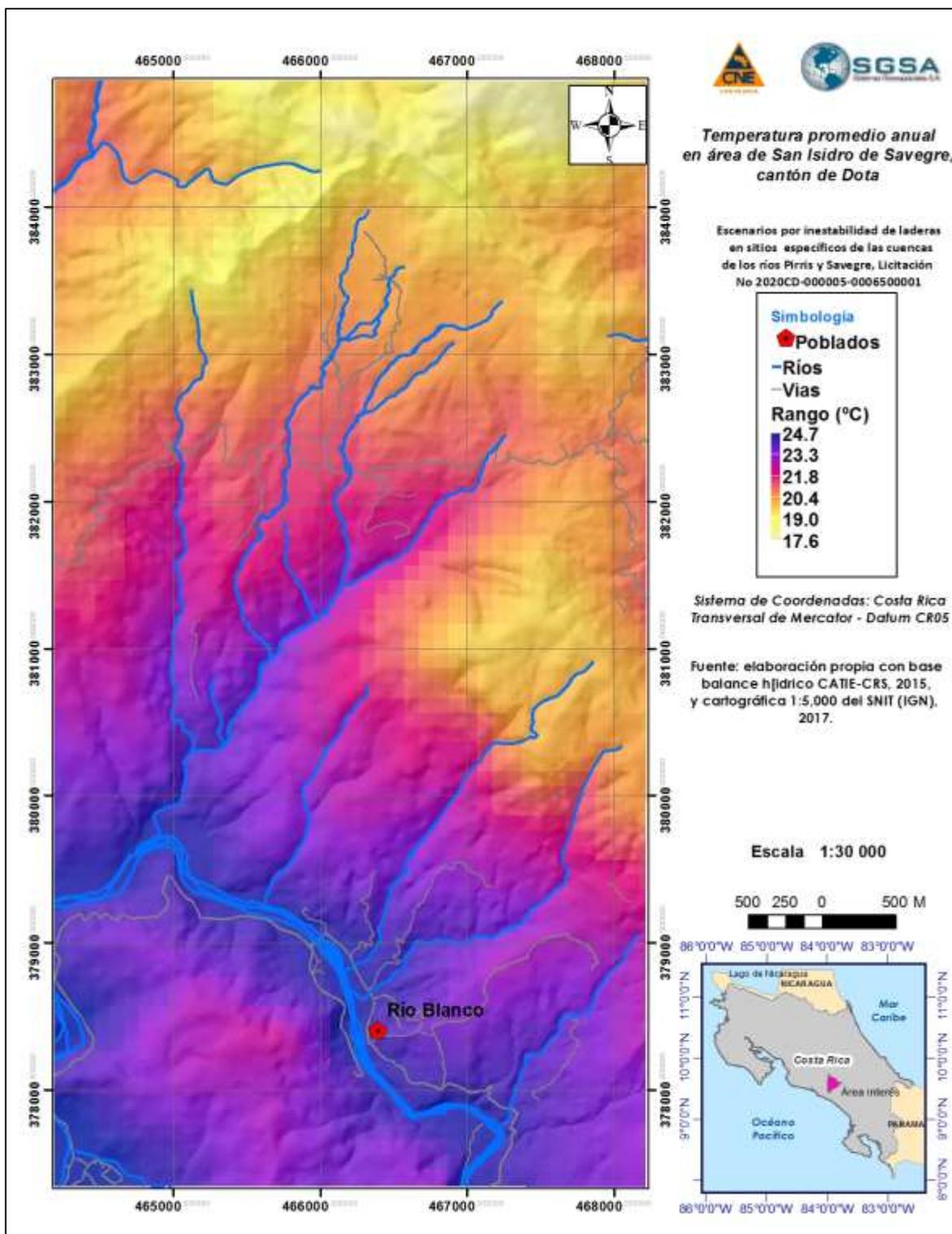


Figura 69. Temperatura promedio anual en el área de San Isidro de Savegre

12.6 Análisis de la capacidad de uso de la tierra en área de San Isidro de Savegre

Determina el mejor uso posible del recurso “tierra” para fines agrícolas y de protección forestal. Para ello, los datos empleados se obtuvieron del mapa homólogo elaborado por la Fundación Neotrópica, 1:50,000, 1999, mostrado en la Figura 70. La capacidad de uso de la tierra es un instrumento muy valioso para la toma de decisiones en medio rural, puesto que involucra un conjunto de variables biofísicas muy importantes sobre los suelos y su articulación con los otros componentes del medio natural.

De la conjugación de esas variables se origina una clasificación en 8 clases, cuyas últimas 4 son las más restrictivas, por presentar limitaciones severas, que tienen que ver con la zona de vida, la amenaza de la erosión, el drenaje, la pendiente. Comparadas estas zonas con el uso actual, definen lo que se ha llamado la condición de uso, es decir el tipo de respuesta logrado una vez que se correlaciona el uso actual de las tierras con su capacidad.

En el caso de la capacidad del uso de la tierra de la Neotrópica las clases agrícolas se agrupan en la clase A, y se dejan las clases forestales VI, VII y VIII y una especial de Protección. Para el caso de área de interés se tiene el mapa mostrado en la Figura 69, con 3 clases de capacidad VI, VII y VIII. Se presenta una corrección por pendientes, aceptando la clase “A”, que conlleva las clases I a IV, en la Figura 71.

12.7. Uso – cobertura de la tierra en área de San Isidro de Savegre

Por uso de la tierra se entiende la función o la utilidad que se le da a la misma, con fines de explotación por medio de cultivos, de pastoreo (ganado u otro), de urbanización, conservación de suelos, bosques naturales, bosques implantados, etc., teniéndose de esta manera la oportunidad de poder determinar cuál es la utilidad por cuenca hidrográfica y cómo ha sido su desarrollo en un tiempo específico.

El mapa de cobertura – uso de la tierra es el producto de la interpretación de la orthofoto del 2017, IGN-RN, con apoyo en el de uso de la tierra del estudio realizado para Savegre por el ICE, 2002.

En la Figura 72 se muestra el uso - cobertura de la tierra en el área de interés.

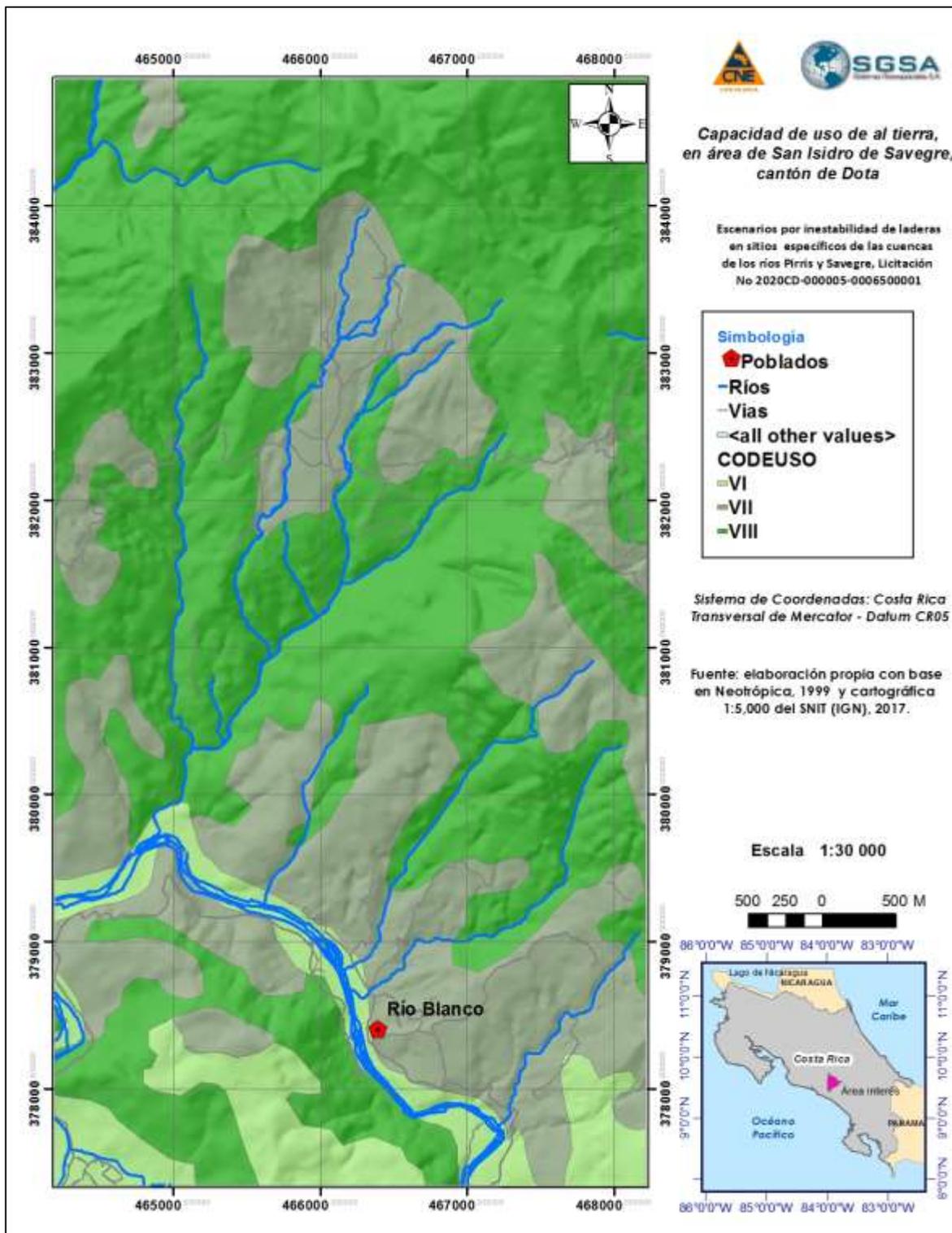


Figura 70. Capacidad de uso de la tierra en el área de San Isidro de Savegre

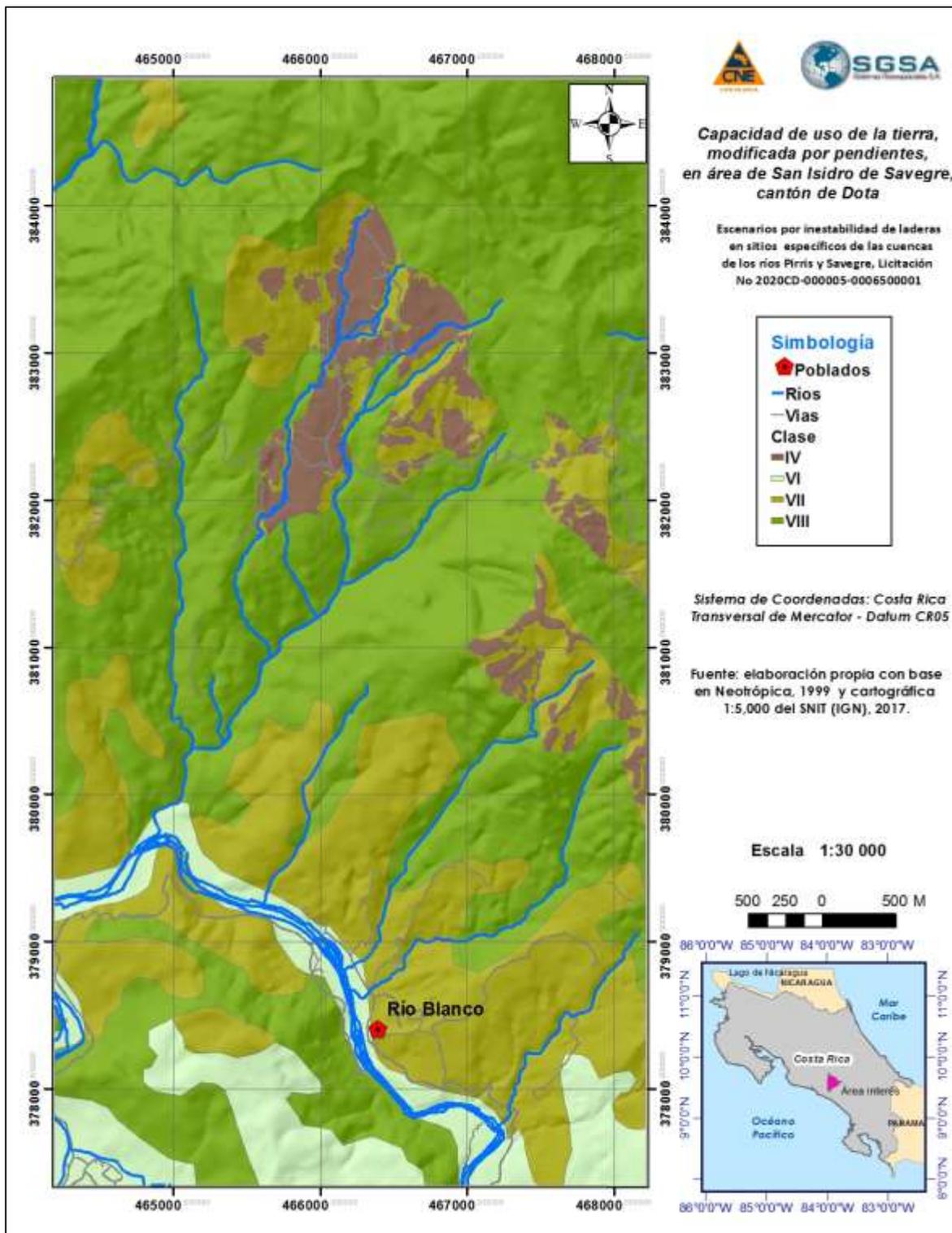


Figura 71. Capacidad de uso de la tierra, corregida por el parámetro de las pendientes, en el área de San Isidro de Savegre

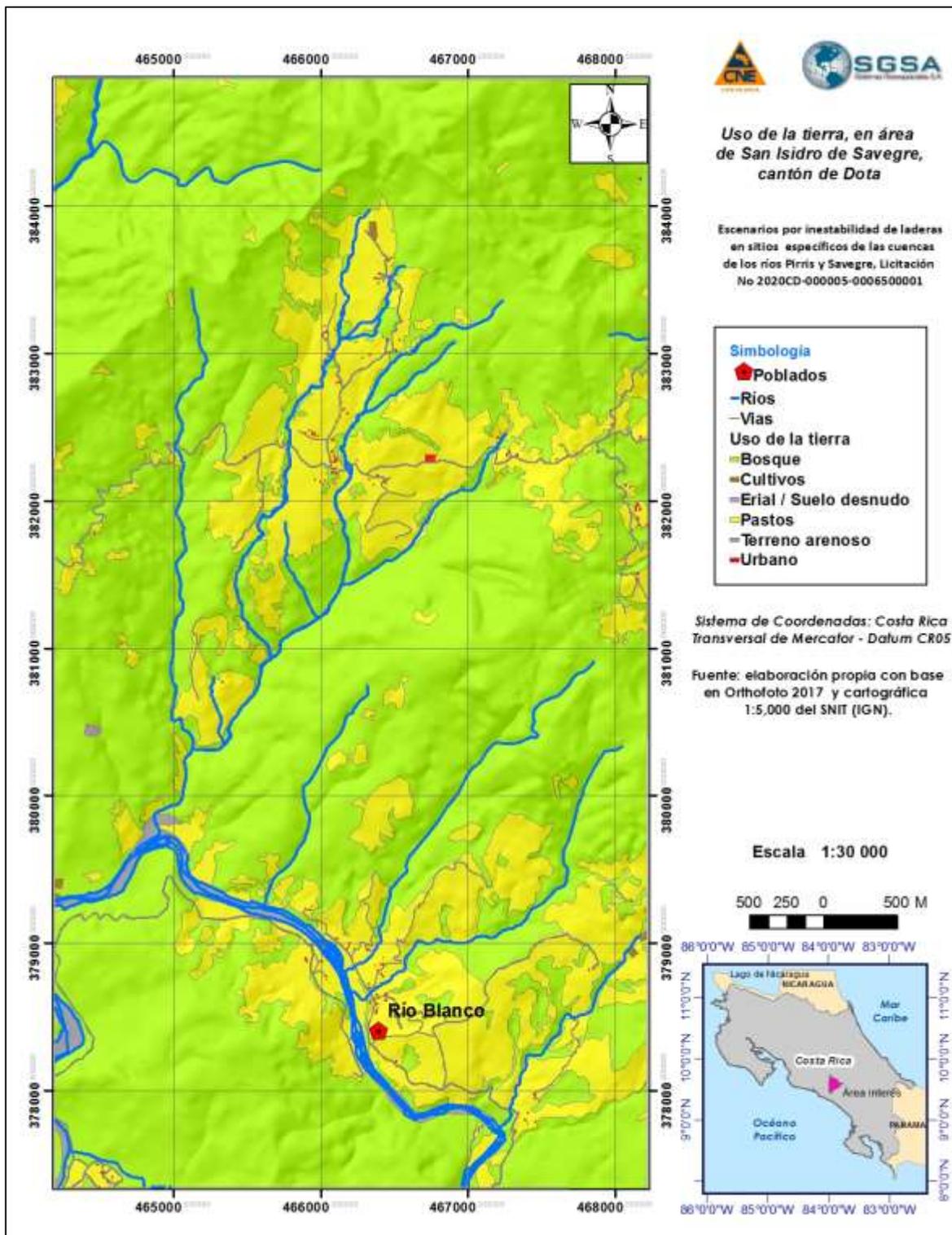


Figura 72. Uso de la tierra en el área de San Isidro de Savegre

12.8 Uso actual de la tierra y capacidad de uso, conflictos del uso.

Para este análisis se aplicó la metodología incorporada en el Decreto Ejecutivo 41860-MAG-MINAE para establecer las áreas de conflictos de uso, esto es el uso que debería ser el correcto, concordante o recomendado, versus la subutilización y/o sobreutilización. Para ello, fue realizada una correlación espacial, por sobreimposición, del Uso Actual de la Tierra y de la Capacidad de Uso de las Tierras.

Esto ha permitido elaborar varias propuestas de reordenamiento del recurso tierra, de modo más claro y apropiado, el cual, en conjunto con los mapas de las amenazas naturales, constituyen un punto de partida para la aplicación de los instrumentos del ordenamiento territorial y de los Planes Reguladores. Fue utilizada una matriz para determinar la condición del uso de cada tipo (Cuadro 19).

Cuadro 19. Matriz para la determinación de la condición de uso de la tierra

CATEGORIAS DE USO DE LA TIERRA	A	PB	SPRC	FR	BP
	(I, II, III, IV)	(V)	(VI)	(VII)	(VIII)
Cultivos Anuales (CI) (1)	U(2)	U(2)	Ot (3)	O(4)	Ot (4)
Cultivos Perennes (Csl) (2)	U(1)	U(2)	U(2)	O(3)	Ot (4)
Pastos (P) (3)	U(2)	W(1)	Ut(2)	O(3)	Ot(4)
Bosque natural (Bn) y secundario (4)	W(1)*	W(1)	W(1)*	W(1)	W (1)
Charral (Rpm) y Tacotal (5)	U(2)	W(1)	U(2)	W(1)	W(1)
Tierras misceláneas (terrenos yermos) (6)	U(2)	W(1)	U(2)	W(1)	W(1)
Agua y anegados (7)	W(1)	W(1)	W(1)	W(1)	W(1)
Urbano (8)	W(1)	W(1)	W(1)	O(3)	Ot(4)

Fuente: SGSA (2010)

Las claves de esta matriz son las siguientes:

<i>Símbolo</i>	<i>Criterios de definición</i>
W:	Utilización dentro de su capacidad, con y sin tratamientos de conservación (1)
U:	Subutilizados (2)
O:	Sobreexplotado (3)
Ot:	Gravemente sobreexplotado (4)

La combinación del mapa de capacidad del uso de la tierra, con el uso u ocupación de la tierra permite obtener las divergencias del uso de la tierra, que se presenta en la Figura 73. En el Cuadro 20 se incluyen las áreas por tipo de divergencias para el área de interés.

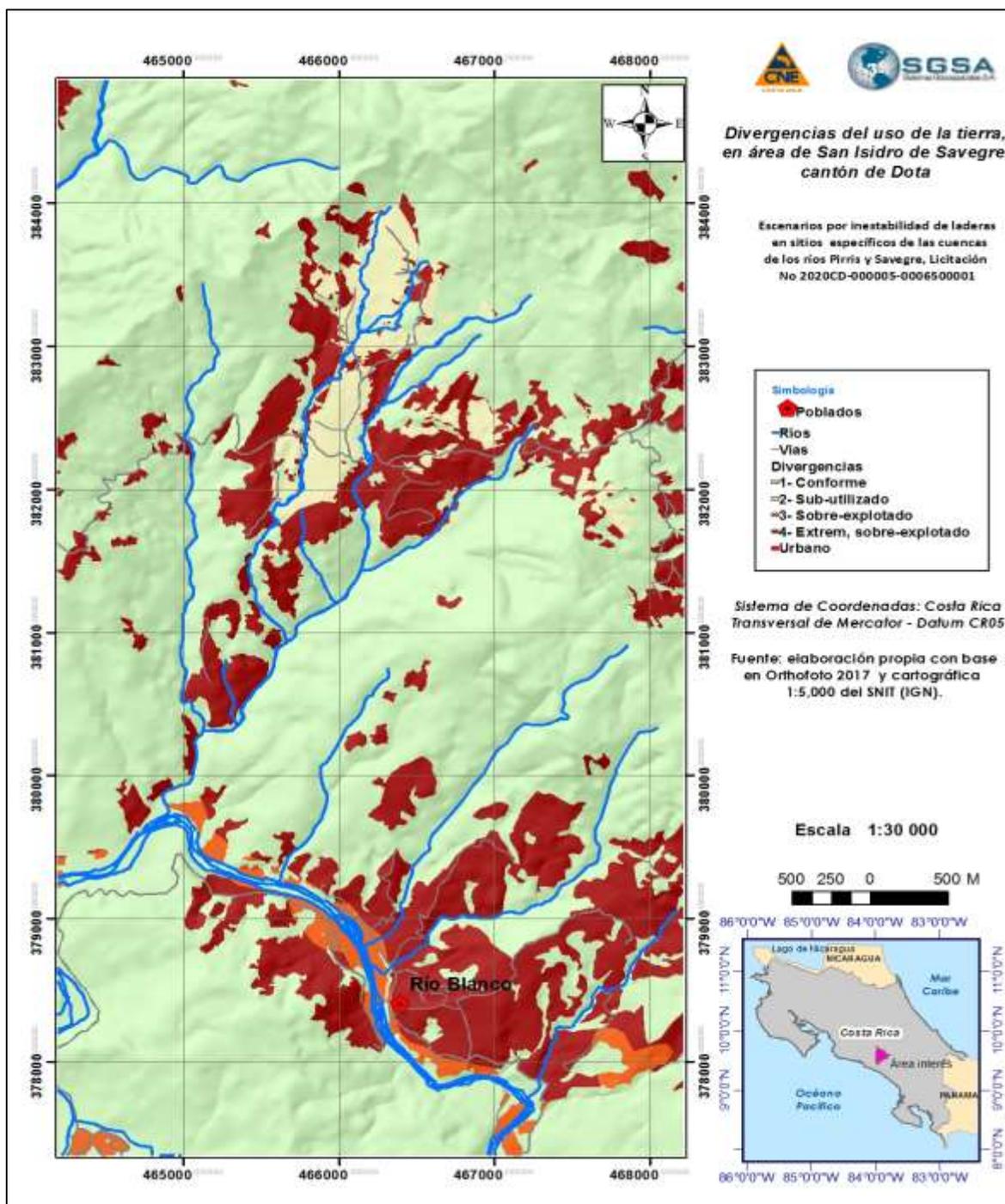


Figura 73. Divergencia del uso de la tierra en el área de San Isidro de Savegre
Elaboración propia, mediante la aplicación de la metodología de Capacidad de uso de la Tierras

Cuadro 20. Áreas de divergentes en el área de San Isidro de Savegre

Código	Divergencia	Área (km ²)	Porcentaje
W	A capacidad o conforme	23.2	76.9%
U	Sub utilizado	1.0	3.2%
O	Sobreexplotado	0.6	1.8%
Ot	Gravemente sobreexplotado	5.5	18.1%
Total		30.2	100.0%

El área se encuentra con un uso a capacidad en un 76,9%, con 18,9% siendo sobre utilizado y 1,0% en subuso. Esto porque a las áreas más planas se les dio una vocación de capacidad "A", sin embargo, debe indicarse que solo se puede practicar una agricultura de subsistencia sin ganadería, esto se verificara para que en el subuso no sean áreas en inestabilidad de laderas alta y muy alta.

12.9. Áreas Silvestres Protegidas (ASP)

El área de análisis forma parte de las Áreas de Conservación Pacífico Central (ACOPAC), incluyendo la Reserva Forestal Los Santos y una pequeña parte de la Zona protectora Cerro Nara.

La condición se vuelve una fortaleza desde la perspectiva del manejo de las ASP, en forma conjunta con la Municipalidad de Dota, proponiendo un manejo conservacionista y de evitar la ocupación de áreas propensas a inestabilidad de laderas u otra amenaza, En la Figura 74, se muestran las áreas silvestres protegidas.

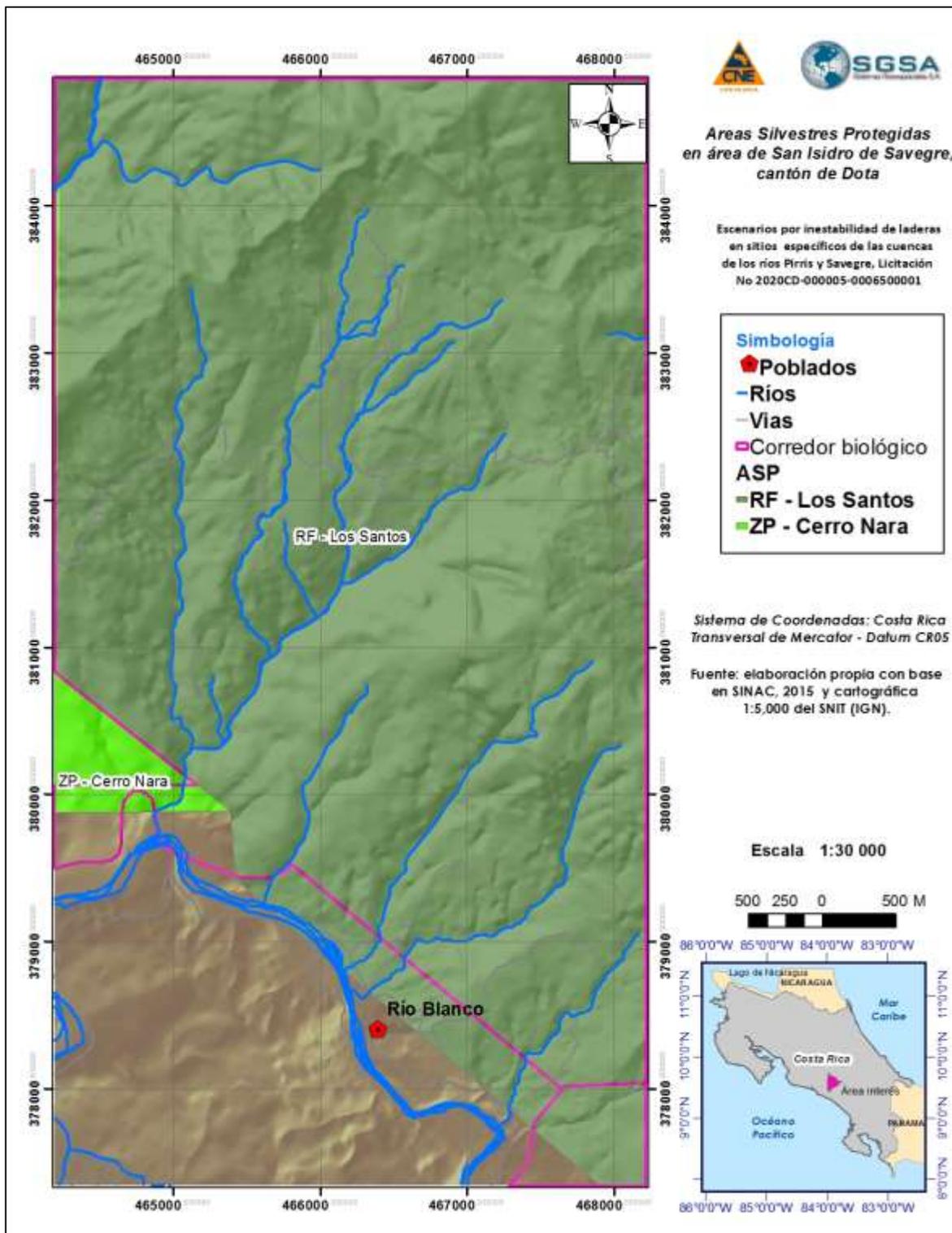


Figura 74. Áreas silvestres protegidas en el área de análisis de San Isidro de Savegre
Fuente: elaboración propia con base en SINAC, 2019

12.10. Marco geológico en la fregión de San Isidro de Dota-Savegre y sus alrededores

El área bajo estudio se sitúa en la vertiente del Pacífico, en el área limítrofe entre las unidades morfotectónicas “Cuenca del antearco Parrita-Quepos” y “Paleocuenca del antearco interno Térraba” (Denyer et al., 2003, 2009). Las unidades geológicas predominantes son sedimentarias, del Paleógeno-Neógeno, pertenecientes a la cuenca citada, así como los depósitos cuaternarios de origen coluvio-aluvial y los coluvios de piedemonte generados por la materialización de la inestabilidad de laderas.

El marco geológico de la cuenca media del río Savegre, en la vertiente pacífica de las estribaciones de la cordillera de Talamanca, en los alrededores de la comunidad de San Isidro de Dota ha sido reconstruida a partir de una serie de trabajos anteriores (Dengo & Escalante, 1980; Mora & Valdés, 1983; Barrantes, 2002; Alfaro & Barrantes, 2003; Saborío & Ureña, 2003; Obando, 2008 y Soto, 2010), la cual ha sido modificada y reinterpretada en parte con base en el trabajo de campo, la fotointerpretación aérea y mediante la aplicación de criterios geomorfológicos derivados de la interpretación de imágenes *Google Earth* y la base cartográfica SNIT (IGN) (Figura 75).

El mapa geológico, del área seleccionada para el estudio alrededor de San Isidro de Dota (aproximadamente 30 km²), se muestra en la Figura 29. La columna estratigráfica utilizada en este trabajo sigue la propuesta vigente del área pacífica central de Costa Rica de Denyer & Alvarado (2007).

Las litologías principales se describirán a continuación.

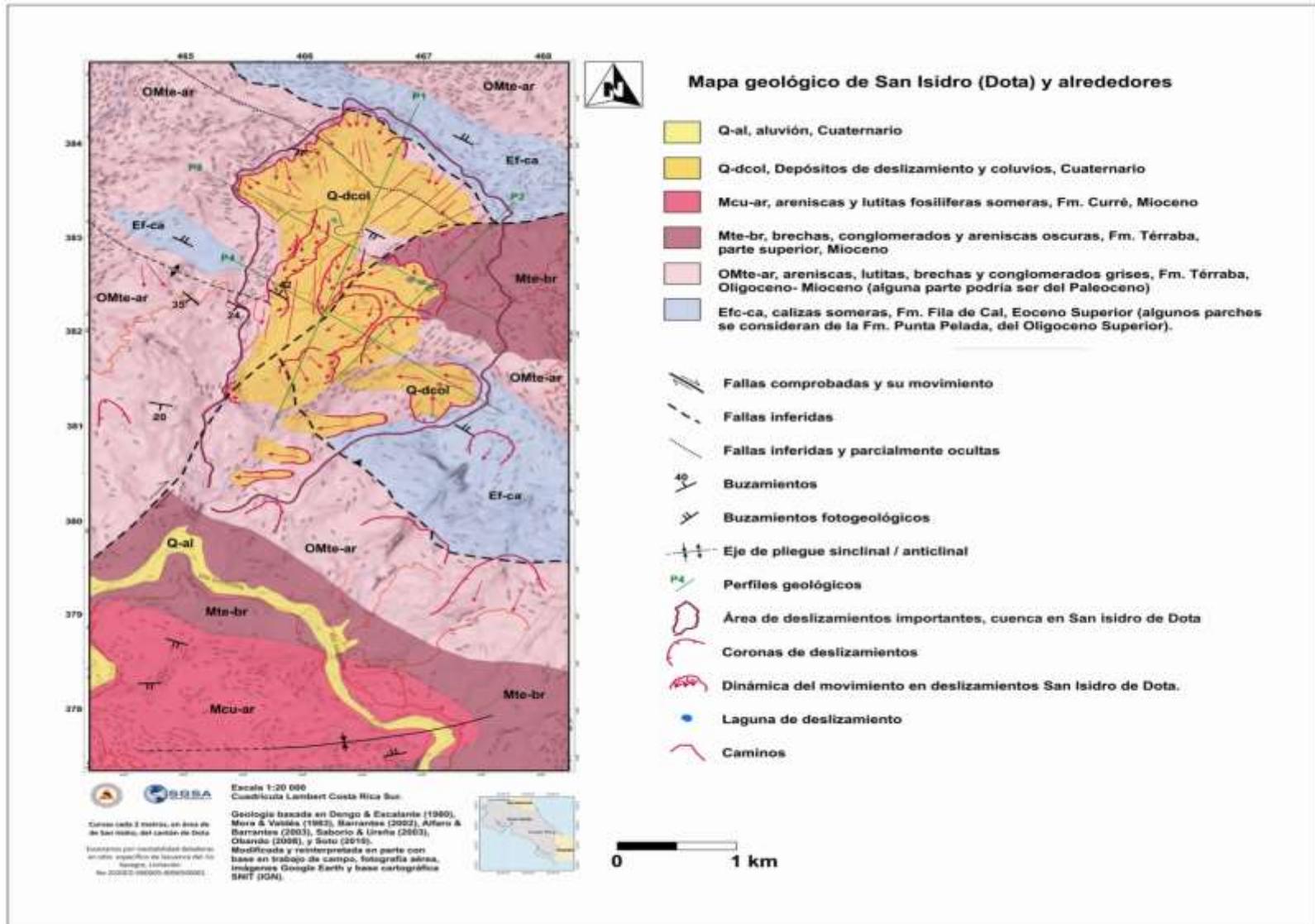


Figura 75. Geología del área de San Isidro de Dota y alrededores.

12.10.1 Formación Fila de Cal (Efc-ca, calizas someras, Eoceno Superior (algunos parches se consideran de la Fm. Punta Pelada, del Oligoceno Superior))

Estas calizas del Eoceno Superior se encuentran aflorando desde Damas, al oeste de la Falla Paquita, hasta cerca de Gallega y Cotos en el bloque occidental de la Falla Paquita y que siguen como una faja desplazada al norte, con una dirección aproximada este-oeste en el bloque oriental de la Falla Paquita y aparecen en varias secuencias al norte del río Savegre, en las estribaciones de la cordillera.

Las calizas son usualmente masivas (*wackestones* y *boundstones* predominantes) con pelotas de algas abundantes y restos de equinodermos y macroforaminíferos), de colores blanco, crema, a beige. Las edades probables de las calizas se basan en los datos de macroforaminíferos reportados por Malavassi (1961) para el área de Damas (Eoceno Medio, y en general, Eoceno Superior). Las localidades donde aparecen en esta área son en las cuevas de Damas, en la margen izquierda del río Damas (Hoja Dota), río Cotos (Hoja Dota), en la fila al noreste de la Quebrada Zúñiga (Hoja Dota), la ladera suroeste del cerro Nara hacia la quebrada Llano Grande (Hoja Quepos), en el camino hacia San Isidro de Dota (Hoja Savegre, dentro del área de estudio) y en Piedras Blancas, al norte del sitio de presa de Savegre (Hoja Savegre, dentro del área de estudio) (Figura 76).

Las calizas son masivas a pobremente estratificadas, fracturadas en varios grados (Figura 76), y tienen un desarrollo mediano a elevado de carst, como en el caso de las cuevas de Damas y de San Isidro, al noreste del área de estudio. El drenaje es elevado, debido a sus grados de fracturamiento y a la presencia del carst; los niveles freáticos son profundos, debido a infiltración rápida hacia su interior. La meteorización es mediana a intensa y sobre las rocas, se desarrollan suelos húmicos medianos (≥ 1 m) y con regolitos de desarrollo moderado a elevado, de granulometría fina, predominantemente limos y arcillas, de espesor ≥ 2 m. En ocasiones se aprecian desarrollos de suelos tipo caliche, con espesores < 1 m.

En el área cartografiada en la Figura 75, se observan dos fajas de calizas, las cuales están separadas entre sí por fallas. Las fallas han sido mapeadas a partir de trabajos anteriores y las interpretaciones de campo y fotogeológicas.

En las calizas al oeste de San Isidro, sin embargo, aunque no se ven las relaciones estratigráficas, a partir de los buzamientos de las rocas turbidíticas, se infiere un anticlinal, en donde las calizas se encuentran en el limbo norte del pliegue, lo que podría indicar la posibilidad de que estas calizas se encuentran, al menos en parte, interestratificadas con las rocas turbidíticas y tengan una edad diferente, posiblemente del Oligoceno Superior, y entonces correspondan con unas calizas de igual ambiente a las de Fila de Cal, pero de diferente edad (Fm. Punta Pelada)

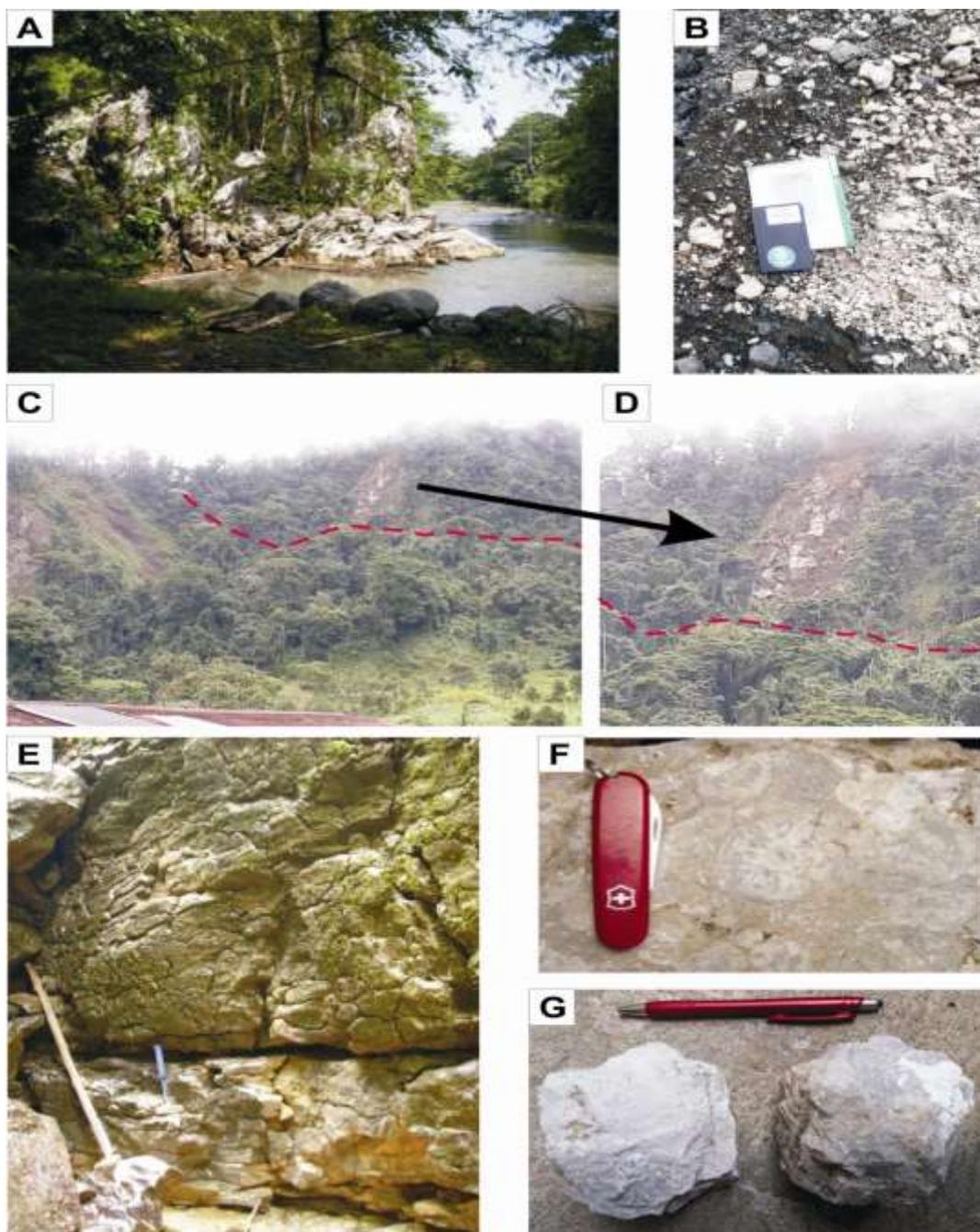


Figura 76. Calizas de la Formación Fila de Cal Eoceno Superior. A: En las cuevas de Damas, margen izquierda del río Damas. B: Bloques abundantes de calizas en flujo de detritos al oeste de San Isidro de Dota en 465583E-382617N. C y D: Calizas aflorantes en la pared superior del deslizamiento de San Isidro, vistas desde la última casa en 466248E-383780N, con una falla cortándolas el frente, dibujada en línea roja a trazos. E: Masivas con estratificación tenue, en quebrada sin nombre cerca de San Isidro de Dota (465148 E – 382750 N, hoja Savegre). F y G: Detalles macroscópicos de las rocas. En F se notan pelotas de algas, restos de equinodermos y macroforaminíferos.

12.10.2 Formación Térraba (OMte-ar, areniscas, lutitas, brechas y conglomerados grises, Oligoceno-Mioceno; Mte-br, brechas, conglomerados y areniscas oscuras, parte superior, Mioceno)

Del río Paquita hacia el sureste aflora una secuencia de rocas marinas, esencialmente turbidíticas, atribuidas a la Formación Térraba (o un equivalente nominado como “Miembro Cedral”, por los trabajos del ICE (Oficina de Geología, 1983) de edad Oligoceno-Mioceno, que forman el grueso de las estratificaciones de Talamanca hacia la costa, plegadas con ejes dirigidos NW-SE. Es posible que incluyan rocas del Paleoceno-Eoceno, aflorantes principalmente al oeste de la Falla Paquita y en algunos sectores al este de ella, en la Hoja Dota y entre los ríos Paquita y Naranjo y entre Londres y los Cerros Chingo y Nara, al noreste de la hoja Quepos, según Obando (2008; 2011) y otras observaciones realizadas por Soto (2010, 2013). Son areniscas y lutitas turbidíticas con estratificaciones centimétricas a decimétricas y que contienen una serie de microfósiles, entre los que destacan foraminíferos que dan una edad de Paleoceno Medio-Superior – Eoceno Inferior.

Hacia el este y norte, del río Naranjo, aflora un paquete de areniscas, lutitas, conglomerados y brechas que, hacia el techo se van engrosando en espesor de estratos y granulometría, de modo que las brechas y conglomerados se hacen predominantes sobre la areniscas y lutitas, así como el cemento de las rocas y su dureza relativa (Figuras 77 y 78). Por esto, para efectos de la cartografía geológica y su evaluación ulterior, para la susceptibilidad a la inestabilidad de laderas, se han dividido en dos unidades, aunque para efectos estratigráficos son parte de la Formación Térraba, con edad del Oligoceno al Mioceno.

Las rocas de la unidad inferior están medianamente tectonizadas, alteradas y meteorizadas. Presentan discontinuidades frecuentes y persistentes (fisuras, diaclasas, estratificación) abiertas, rugosas, con rellenos con y sin sello y con tendencia marcada a que sus buzamientos estén orientados a favor de la pendiente de la ladera (en particular hacia la vertiente del río Savegre). Son rocas con permeabilidades bajas y niveles freáticos someros. Los suelos residuales (arenas, limos arcillas) y coluvios (bloques, arenas, gravas, cantos) suprayacentes se observan en cantidad moderada (3-5 m). La vegetación es moderada por sectores, cuando el terreno está semideforestado y con áreas de pastoreo. Existen, sin embargo, áreas cubiertas de bosque primario denso. Hay desprendimientos de coluvios y biomasa de la ladera, así como erosión intensa, soliflucción, deslizamientos y aludes.



Figura 77. Rocas de la Formación Térraba. A: Areniscas y lutitas relativamente sanas, de la parte inferior de la formación, en la quebrada oeste de San Isidro, en 465583E-382617N. B: Areniscas y lutitas meteorizadas y friables, al oeste de San Isidro, que dan inestabilidad de ladera mediana al buzar contra la pendiente del camino, en 464794E-382548N. C: Deslizamientos menores en margen de quebrada y camino al oeste de San Isidro, donde el buzamiento es oblicuo a la ladera y hay alta fracturación, en 465210E-382620N. D: Brechas verdosas gruesas (clastos cm-dm) cementadas de la parte superior de la formación, en 467325E-382436N. E: Estrías tectónicas en brechas en 467020E-382415N.

Las rocas de la secuencia superior, por su parte, son relativamente duras, masivas a estratificadas gruesas (decímetros a metros), medianamente tectonizadas, alteradas y meteorizadas. Las discontinuidades son frecuentes y medianamente persistentes (fisuras, diaclasas, estratificación) abiertas, lisas, con rellenos sin sello y con tendencia marcada a que sus buzamientos estén orientados a favor de la pendiente de la ladera (en particular hacia la vertiente del río Savegre).

También presentan permeabilidades bajas y sus niveles freáticos son someros a medianamente profundos. Los suelos residuales (limo-arenosos) y los coluvios resultantes (arenas, gravas, cantos) suprayacentes se observan en espesor importante (> 5m). Una proporción elevada de sus terrenos se encuentra forestada, aunque la deforestación ha avanzado en algunos sectores (pastizales). En estos últimos terrenos, los desprendimientos de coluvios y biomasa de la ladera se producen con frecuencia elevada (e.g. erosión, solifluxión, deslizamientos y aludes).

Los contactos de las unidades entre sí y con las calizas subyacentes (o interdigitadas) y la Fm. Curré, no son visibles, y se han infido a partir de los datos estructurales.

12.10.3 Formación Curré (Mcu-ar, areniscas y lutitas fosilíferas someras, Mioceno)

A las brechas superiores de la Fm. Térraba la sobreyacen, en la periferia del río Savegre, rocas marinas someras (Figura 78) de presunta edad Mioceno y que pertenecen a la Formación Curré (cf. Mora & Valdés, 1983; Drake, 1989; Denyer & Alvarado, 2007). Estas rocas sobreyacen a las anteriores de manera aparente discordante y en un eje sinclinal. Un análisis pormenorizado de sus relaciones estructurales y edades paleontológicas es necesario para su interpretación definitiva, aunque se muestran como rocas menormente plegadas y depositadas de manera discordante sobre las secuencias de la Formación Térraba.

Son principalmente areniscas y lutitas verdosas a grises, con contenido fosilífero abundante a mediano de faunas someras (bivalvos, gastrópodos, materia orgánica -hojas, ramas, troncos, semillas-), medianamente blandas, frecuentemente friables. Las rocas se presentan con grados medianos a elevados de meteorización y alteración, con estratificación masiva a decimétrica, con canales y estratos discontinuos. En general, las rocas se observan poco tectonizadas y con fracturas-diaclasas poco densas. Los niveles freáticos son medianamente profundos (≥ 12 m).

Desarrollan suelos húmicos espesos (≥ 3 m), a residuales (limo-arenosos hasta arcillas), algunos de elevada compresibilidad-plasticidad (MH, CH), con regolitos de desarrollo moderado a elevado. El suelo y los coluvios (arenas, gravas, cantos) suprayacentes se observan en cantidad importante (> 5m). En la periferia del río Savegre, sobre todo en margen izquierda, presenta terrenos deforestados, con pastizales y bosques secundarios. Se observan desprendimientos de coluvios y biomasa de la ladera con frecuencia elevada (erosión, solifluxión, deslizamientos, aludes), en particular en las áreas de pendientes elevadas.

12.10.4. Aluviones (Q-al, Pleistoceno Superior – Holoceno)

Los aluviones, en esta área, son característicos del sector montañoso, e transición a las zonas bajas, alojado en cauces amplios (100-300 m) y con buen espesor. Se componen de bloques decimétricos a métricos y matriz arenosa gruesa a gravillosa (Figura 78). Se han cartografiado principalmente en el cauce del río Savegre (Figura 79).

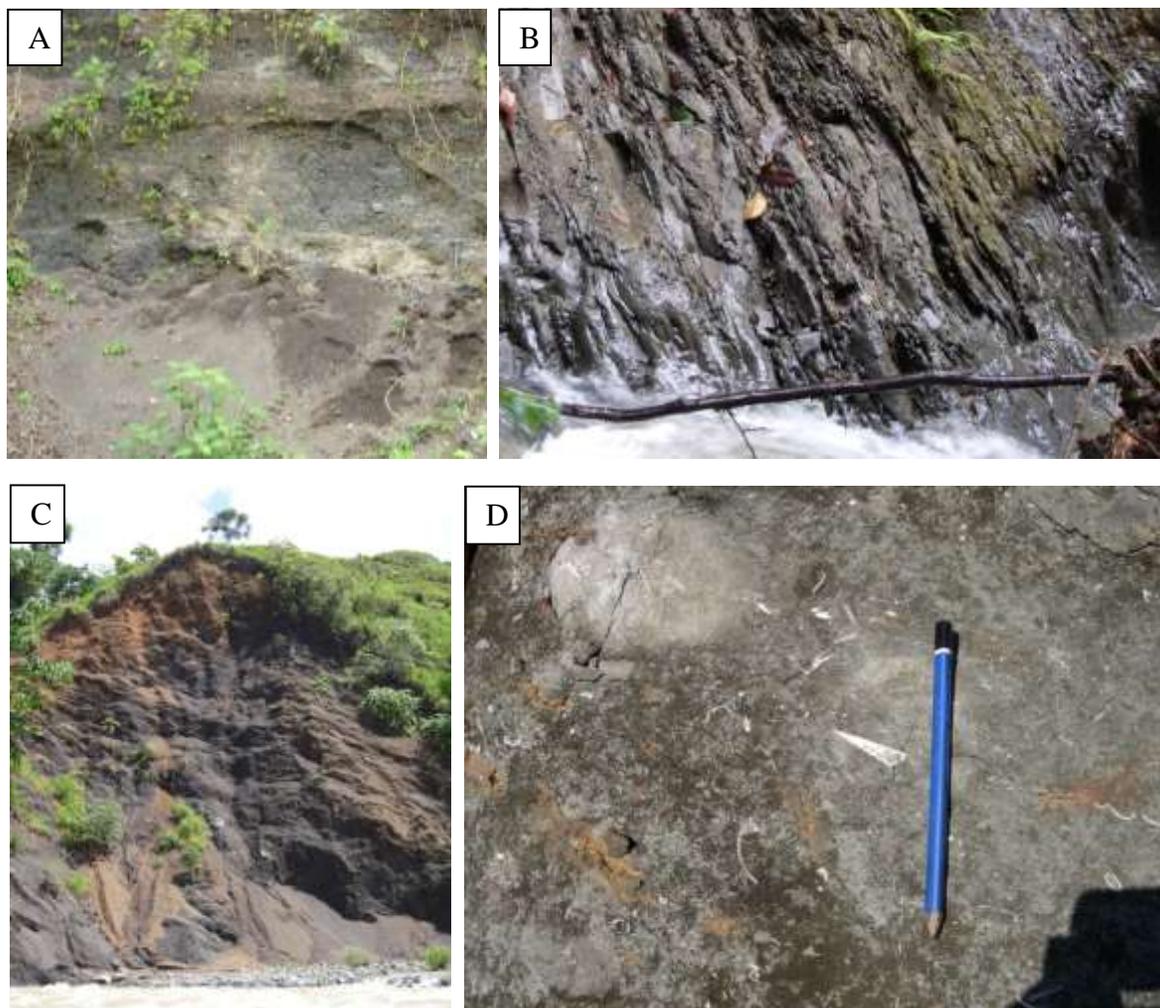


Figura 78. Lutitas y areniscas finas a medias, friables, en estratos decimétricos a masivos, someras, de la Formación Curré, cerca del río Savegre. A: Estratos masivos y canales. B: Estratos decimétricos buzando en alto ángulo. C: Estratos masivos muy friables. D: Areniscas fosilíferas.

12.10.5. Depósitos de deslizamiento y coluvios (Q-dcol, Cuaternario)

Estos depósitos son coluvios gruesos, cuyas fracciones poseen dimensiones finas (suelos) hasta bloques métricos, en particular bloques de calizas someras y brechas de la Fm. Térraba (Figura 79).

En la vertiente de margen derecha del río Savegre, sobre las laderas entre este y el río Brujo, hay numerosos puntos de inestabilidad de laderas, entre los cuales destaca el área del deslizamiento de San Isidro de Dota. Esta zona ha experimentado varios eventos de desprendimientos de ladera y rocas en la parte alta de la divisoria (cerca de 1200 m s.n.m.) hacia el sur, a unos 2 km al NNE de San Isidro.



Figura 79. El río Savegre y sus aluviones amplios, visto desde margen izquierda, en el sector suroeste del área cartografiada en la Figura 68.

Los desprendimientos de suelo y roca se convierten rápidamente en aludes y flujos de detritos que discurren, principalmente, por las quebradas que limitan el valle de San Isidro de Dota, a uno y otro lado, este y oeste. Asimismo, han formado varios lóbulos inestables, con movimiento diferencial entre ellos, deslizamientos menores, cicatrices y coronas (Figura 75).

Algunos eventos ciclónicos del Caribe, que han ocasionado lluvias intensas en el sector del Pacífico Central, han disparado deslizamientos en la parte alta, aludes torrenciales y flujos de detritos. De todos estos, destacan los sucesos asociados con los efectos e impactos del Huracán César en 1996, y la Tormenta Tropical Tomás en 2010.

El depósito de los materiales coluviales de este deslizamiento, forma un abanico compuesto y amplio, de pendiente suave a mediana hacia el sur-suroeste, de alrededor de 3,2 km de longitud y 0,65-2,0 km de ancho. El deslizamiento, en general, se mueve en bloques diferenciales, con caídas ocasionales de bloques rocosos desde los acantilados (anfiteatro) escarpados perimetrales (>200-300 m de altura; Figuras 75 y 80). Los diferentes lóbulos de materiales sueltos, de un amplio espectro de granulometrías, se deslizan en diferentes puntos y con direcciones a veces desalineadas (Figura 80).





Figura 80. Depósitos coluviales en la periferia de San Isidro de Dota. A: Corona principal y acantilado principal, así como los lóbulos más altos, y las viviendas a mayor altitud y más cercanas al acantilado (466248E-383780N). B: Área pantanosa y de lagunas efímeras en borde de lóbulos intermedios (465980E-382780N). C: Lóbulos intermedios hacia el borde oeste de los depósitos coluviales. D: Depósitos medio-distales en el borde intermedio este de los lóbulos en 466226E-383153N. E: Depósitos sobre el camino al este de San Isidro, en 467272E-382436N. F: Depósitos proximales en 466312E-383622N. G: Depósitos de flujos de detritos medio-distales en la quebrada cerca del cruce del camino en el borde oeste de San Isidro, en 465583E-382617N. H: Depósitos en el borde occidental en 465427E-382520N, que marca el borde del área de arrastre de flujos de detritos.

12.10.6 Tectónica y estructuras del área

La falla más conspicua regionalmente cerca del área de estudio es la Falla Longitudinal de Costa Rica, localizada principalmente en el Pacífico Central y Sur de Costa Rica. Fue originalmente descrita por Dengo (1962) quien lo denominó como "Falla Río Esquinas", y forma el límite entre las estribaciones centro-occidentales de la cordillera de Talamanca, la fila Costeña y las planicies aluviales y costeras. Desde el centro-sur de Costa Rica hasta Panamá tiene una longitud de punta a punta de unos 170 km. La inclinación es de alto ángulo hacia el noreste, probablemente superior a 70° (Woodward-ClydeConsultants, 1979). Diferentes autores están de acuerdo en que el movimiento cenozoico y cuaternario es predominantemente inverso (Mora, 1979; Kolarsky et al.,

1995) con una componente transcurrente menor que podría ser dextral (Kriz, 1990). Entre Quepos y la frontera con Panamá predomina un movimiento de tipo inverso.

Asociado con la Falla Longitudinal, en el sur, se encuentra un sistema de fallas inversas definidas por Mora (1979), conocido como Sistema de Fallas Longitudinal de Costa Rica. En el sector del Pacífico Central, se ha propuesto una continuación de tales estructuras, en parte porque las unidades geológicas son similares y los problemas geológicos planteados son similares, aunque la geología es menos conocida y detallada en el sector de las estribaciones centro-occidentales de Talamanca que en la Fila Costeña. Se trata de un “Cinturón de plegamiento y fallamiento trasero a la Falla Longitudinal”. Algunas evidencias de campo al suroeste del sitio en estudio sugieren que los levantamientos tectónicos por las fallas Longitudinal y las inversas traseras a la Longitudinal, podrían ser del Pleistoceno Tardío (cf. Drake 1989).

Otras fallas de este sistema son las de: i) Piedras Blancas, que supuestamente sobrecorre las calizas del Eoceno sobre la Formación Térraba, aunque falta la comprobación de sus edades para corroborarlo; ii) la falla San Isidro y iii) la falla Providencia, al norte del P.H. Savegre, que sobrecorren diversas unidades, tienen un patrón morfológico intenso y muestran un elevado ángulo de buzamiento. Todas estas fallas son antecedentes a la falla “Frontal” y serían de edad pleistocena. Por el momento, no hay evidencias de su actividad neotectónica. La posición y alineamiento de estas fallas han sido reinterpretadas en el área cartografiada; al menos una de ellas (San Isidro), sería la responsable primaria del origen de la inestabilidad de la ladera superior, en el perímetro del deslizamiento de San Isidro (Figuras 81, 82 C y D).

Algunas fallas transversales a las inversas, con dirección NE, son evidentes en esta región. Una estructura transversal se ha propuesto que corre paralela a la última parte del río Savegre, y que causa la deflexión del río hacia la izquierda (SW), en la curva cerrada del río cercana al área de estudio y que cortaría, a su vez, las fallas Piedras Blancas y San Isidro, presumiblemente de movimiento dextral (Figura 81).

Además de la litología, calificada de acuerdo con la unidad geológica respectiva, se analizó la influencia de las fallas tectónicas sobre la calidad geomecánica de las litologías. Por lo general, su presencia ocasiona fracturación y alteración hidrotermal, por lo que debilita sus estructuras y reduce su resistencia. En el Cuadro A2-4 del Anexo 2, se muestran las condiciones, actividades, valor asignado y buffer, para cada falla respectiva. En la Figura A2-11 del Anexo 2, se incluye el factor de susceptibilidad litológica empleado en el modelo.

12.10.8 El deslizamiento de río Blanco, San Isidro de Dota

Se trata de un deslizamiento de masas de suelos y fragmentos rocosos cuya traslación se produce, de manera compuesta, sobre una serie de superficies irregulares ubicadas sobre el sustrato rocoso.

El proceso de ruptura es complejo y se asocia con la traslación y deformación de la masa deslizante y por su conjugación, simultánea o secuencial, de varios sistemas de discontinuidades (diaclasas, estratificación, fallas tectónicas) orientadas a favor de la pendiente del terreno y a veces, separadas por segmentos de roca, más o menos intactos. El movimiento de la masa puede ser episódico, rápido o lento, según sea el caso de su impulso originado por lluvias y sismos intensos.

La superficie de ruptura está levemente inclinada. La forma de la superficie de ruptura, vista en perfil, puede componerse de dos o más líneas curvas, cóncavas hacia arriba.

En este caso, la masa deslizante se compone, en su mayoría, de suelos transportados (p. ej. coluvios) parcialmente saturados y heterogéneos: arenas, limos, arcillas, con proporciones variables de grava, cantos, bloques y biomasa.

El proceso de extensión de la ruptura se produce mediante el desarrollo de grietas de tracción en la parte superior de la ladera, las cuales permiten el retroceso y ampliación de la masa deslizante. El escarpe superior principal cercana a la vertical. Durante el desplazamiento subsiguiente, las deformaciones y fracturas someten a los materiales a procesos intensos de remoldeo.

El agua juega un papel desestabilizador, pues incrementa las presiones intersticiales y favorece los empujes activos. El espesor de la masa deslizante puede alcanzar, desde varios hasta decenas de metros y las características del proceso de deslizamiento dependen de la profundidad y geometría de la superficie de ruptura y del nivel freático. Frecuentemente, en los horizontes más permeables, se desarrollan acuíferos colgados o incluso otros relativamente más grandes, los cuales reposan sobre acuitardos o acuicludos sometidos a presiones intersticiales considerables.

Morfológicamente, el sitio del deslizamiento, en la parte alta de San Isidro de Dota (Figuras 76C y D, 81), presenta dos sectores divididos por la falla NE que cruza el área (Figura 75). El sector occidental muestra deslizamientos que se ubican más cerca de la divisoria alta, con un acantilado de 200-300 m de alto cortado por la falla San Isidro (NW-SE) (Figura 75). El sector oriental presenta otros deslizamientos menores en su corona, pero que llegan a elevaciones inferiores. Los deslizamientos afectan principalmente los materiales movilizados, desde la parte alta del deslizamiento occidental.



Figura 81. Vistas panorámicas de la zona del deslizamiento en San Isidro. A: Valle del deslizamiento que aloja a San Isidro, limitado por dos valles poco profundos y colinas escarpadas al lado este (fondo), visto desde el oeste. B: Vista desde la última casa al norte de San Isidro hacia el acantilado y los depósitos coluviales más altos en la base del acantilado.

En varios sectores se observan procesos de erosión intensa de los frentes y costados de los lóbulos del deslizamiento, así como flujos secundarios de detritos, lo cual ha sido identificado desde varios años atrás (cf. Figura 81). Se identifican además lagunas internas del deslizamiento y deformaciones y movimientos diferenciales (Figuras 81 y 82). La integración de esas interpretaciones geológicas se muestra en la Figura 83 y los perfiles geológicos en las Figura 85.

Adicionalmente a estos aspectos y a partir de los datos cartográficos y las imágenes satelitales disponibles e interpretadas, se han determinado y cartografiado las áreas de formación de posibles represas y embalses efímeros, en caso de un evento de deslizamiento masivo, súbito o escalonado y desprendido de la masa principal.

Asimismo y a partir de esta interpretación, se ha definido, de manera preliminar, el área expuesta a los efectos del tránsito y decantación de un alud torrencial generado por la ruptura súbita de la represa y embalses señalados (Figura 86).

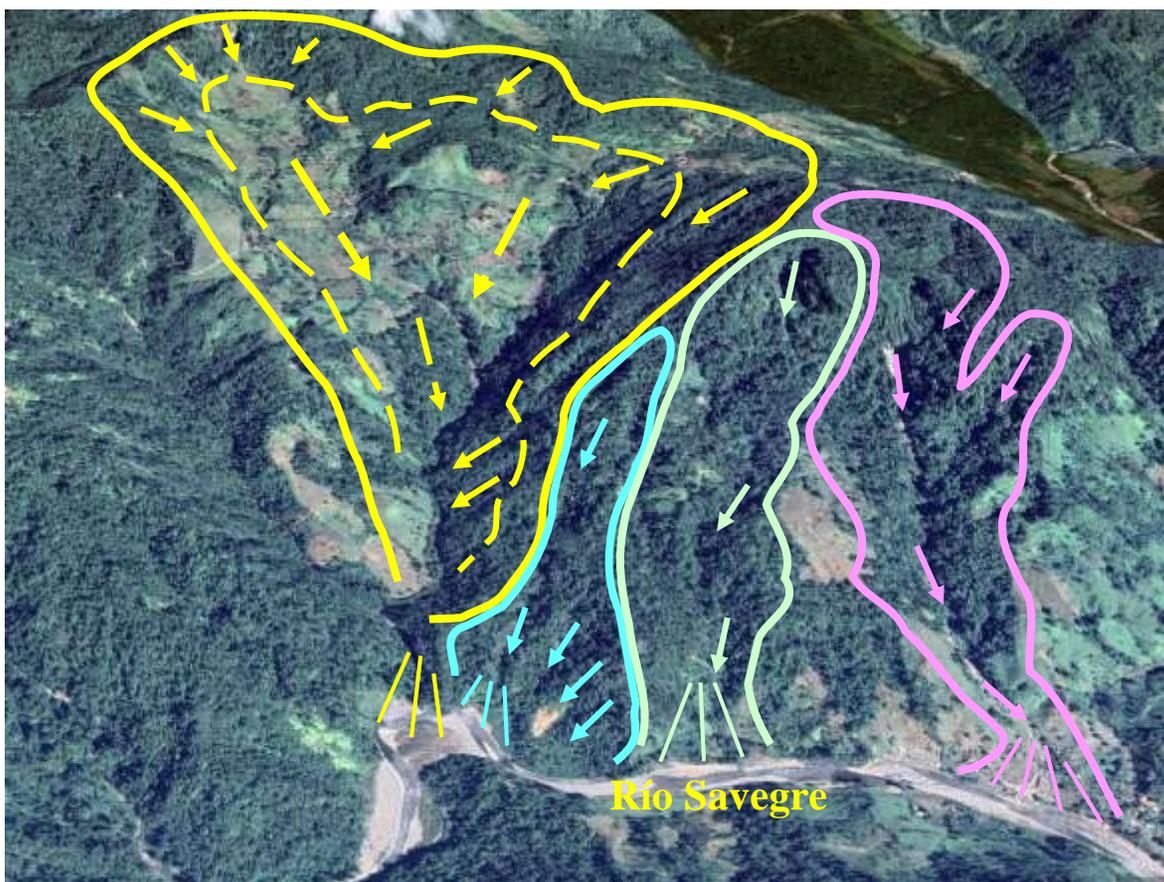


Figura 82. Interpretación, en vista oblicua y a partir de la imagen de *Google Earth*, del deslizamiento de San Isidro de Dota (amarillo) y de otras áreas de erosión intensa e inestabilidad de laderas en las cuencas y a lo largo de cauces secundarios aledaños, hacia el sur. El río Savegre es el que se aprecia la parte baja de la imagen

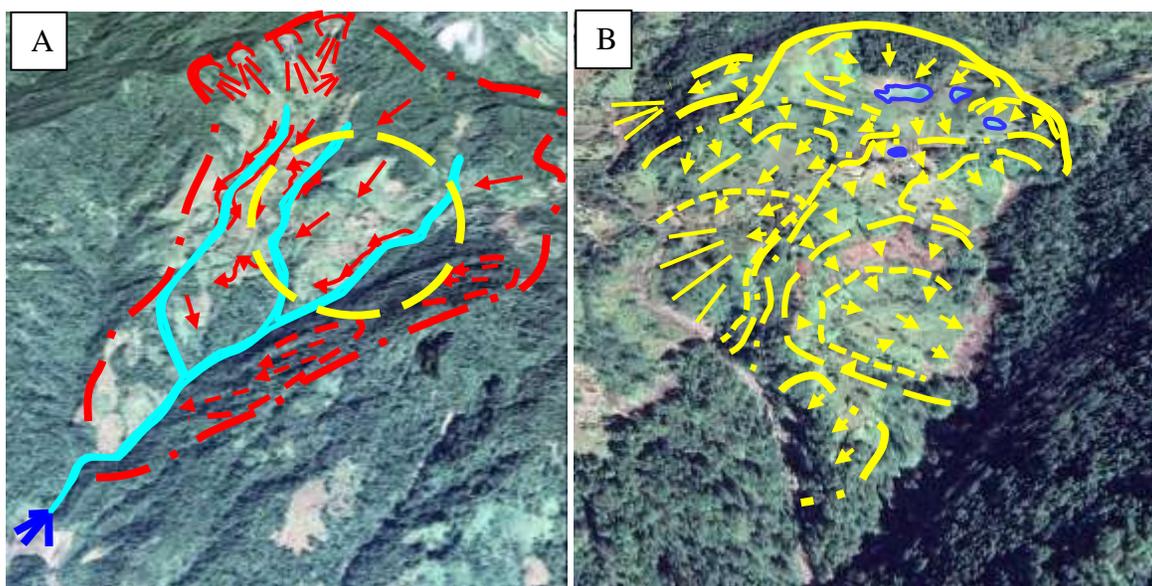


Figura 83. A: Interpretación, en vista oblicua y a partir de la imagen de *Google Earth*, del deslizamiento de San Isidro de Dota. El extremo superior izquierdo corresponde con el área del acantilado mayor, mostrado en las Figuras 30C y D, 34A y 35A. El círculo amarillo corresponde al área mostrada en detalle en B. B: Detalle de las estructuras, bloques y direcciones del movimiento del bloque más activo del deslizamiento, además de las lagunas existentes en el sector oriental del deslizamiento de San Isidro.

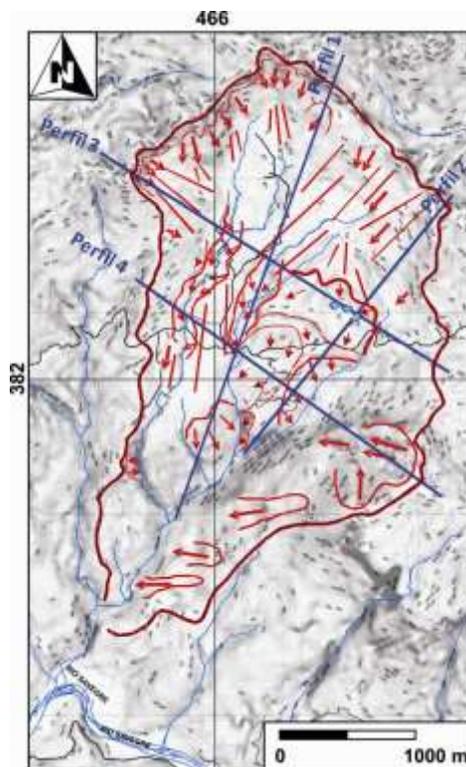


Figura 84. Cartografía de los detalles de las áreas de deslizamiento sobre un sombreado geomorfológico, que muestran asimismo, las líneas de perfil geológico.

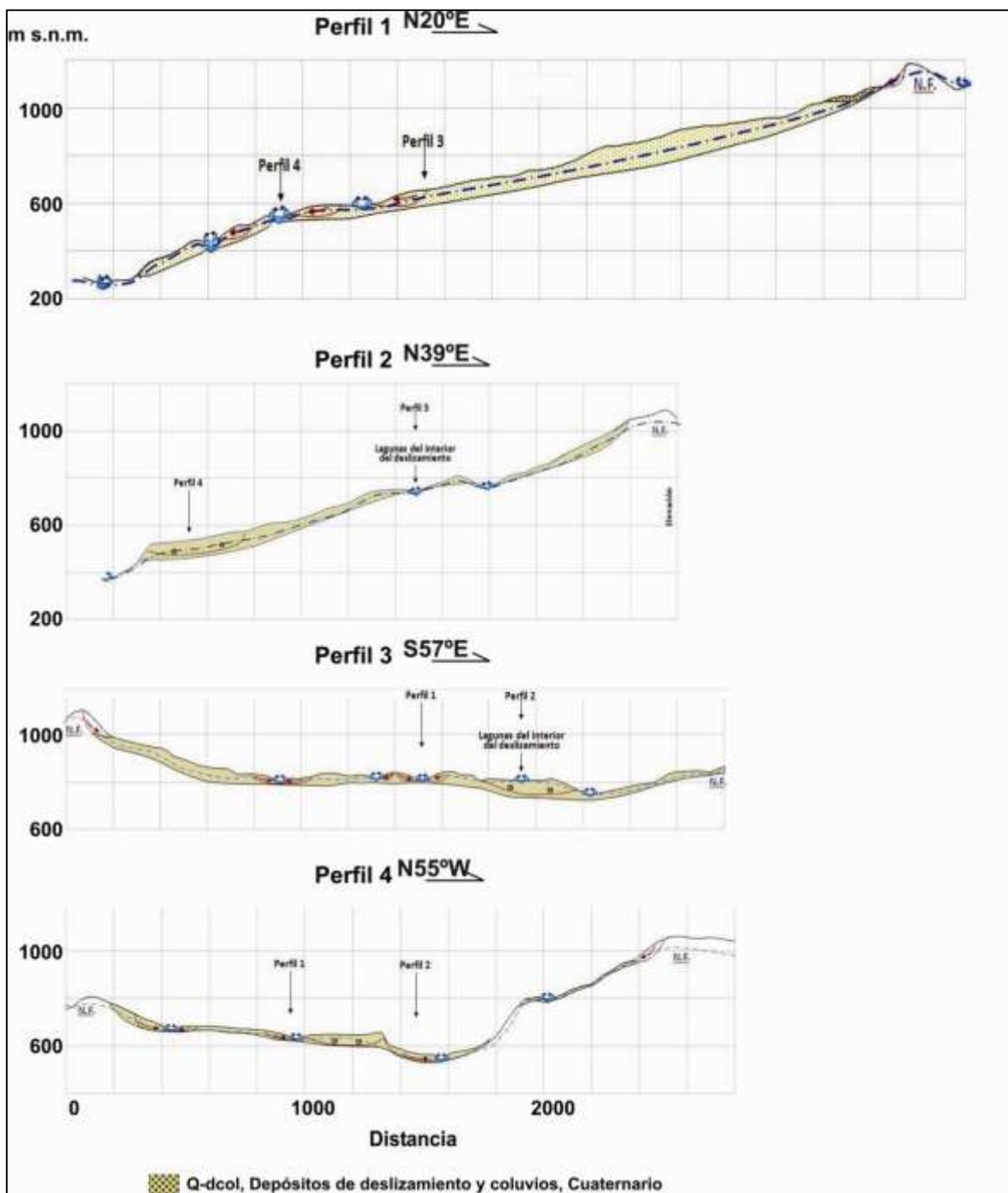


Figura 85. Interpretación de los perfiles indicados en la Figura 84.

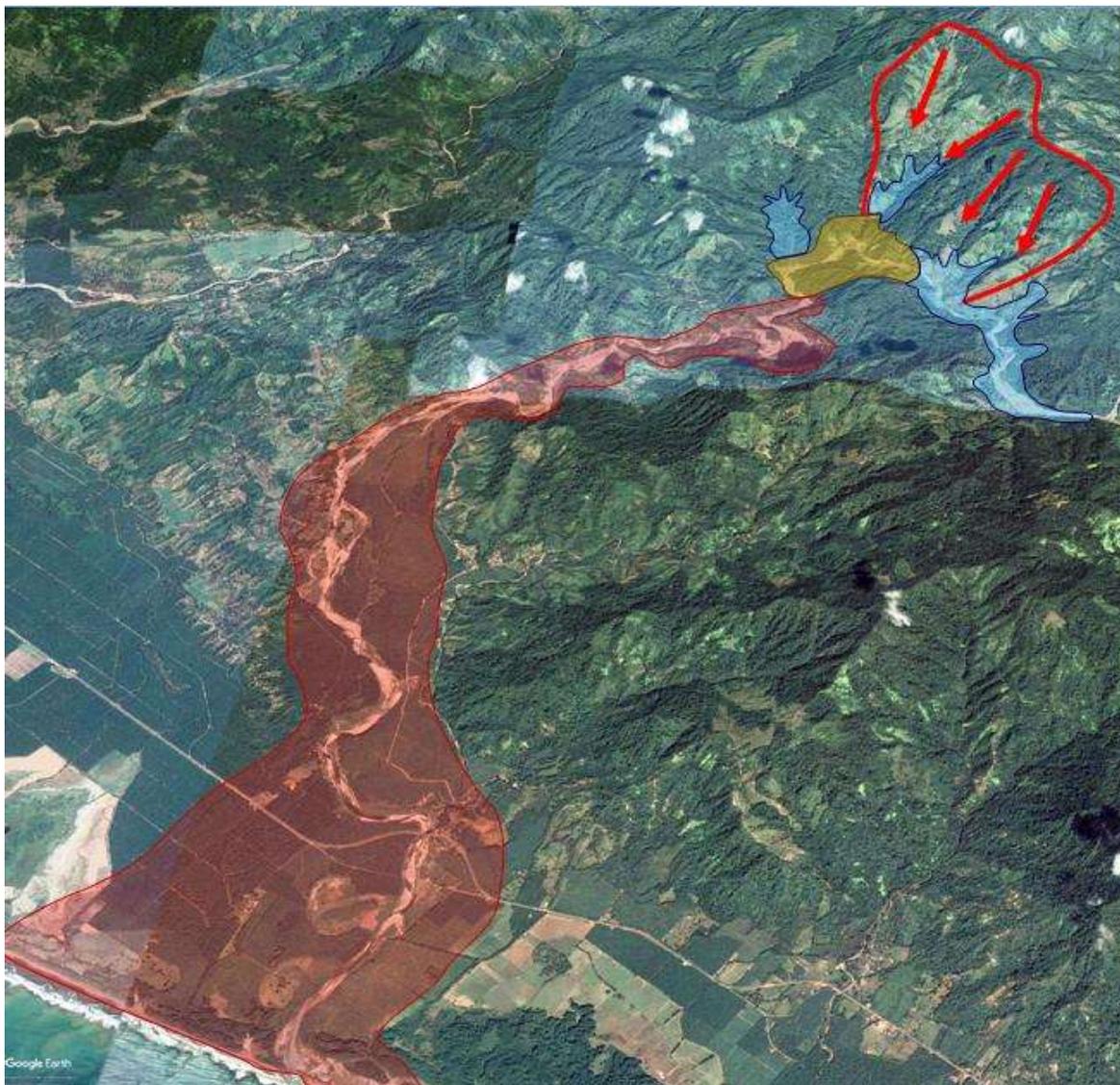


Figura 86. Esquema generalizado del área del deslizamiento de San Isidro de Dota (en rojo) a partir de una imagen oblicua de *Google Earth*. Se muestran las áreas asociadas con procesos de geodinámica externa, de manera esquemática: en dorado áreas de posible represamiento, en celeste los posibles embalses, en rojizo las áreas de inundación posibles por ruptura súbita de embalses.

La caracterización de los aspectos hidrogeológicos, es decir, de las aguas subterráneas, acuíferos y sus características hidrodinámicas (niveles freáticos, redes de flujo, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc.), no forman parte de este análisis, pues requieren de estudios especializados y de instrumentación específica (perforaciones, piezómetros, pruebas de bombeo, geofísica, etc.)

Una primera estimación preliminar ha permitido evaluar el área, espesor y volumen del deslizamiento de San Isidro de Dota, en alrededor de 62,4 millones de m³ en el apartado 14.

El marco geológico presentado en la Figura 75 ha sido transcrito al SIG, para utilizarse en la modelación Mora & Vahrson y se presenta en la Figura 87.

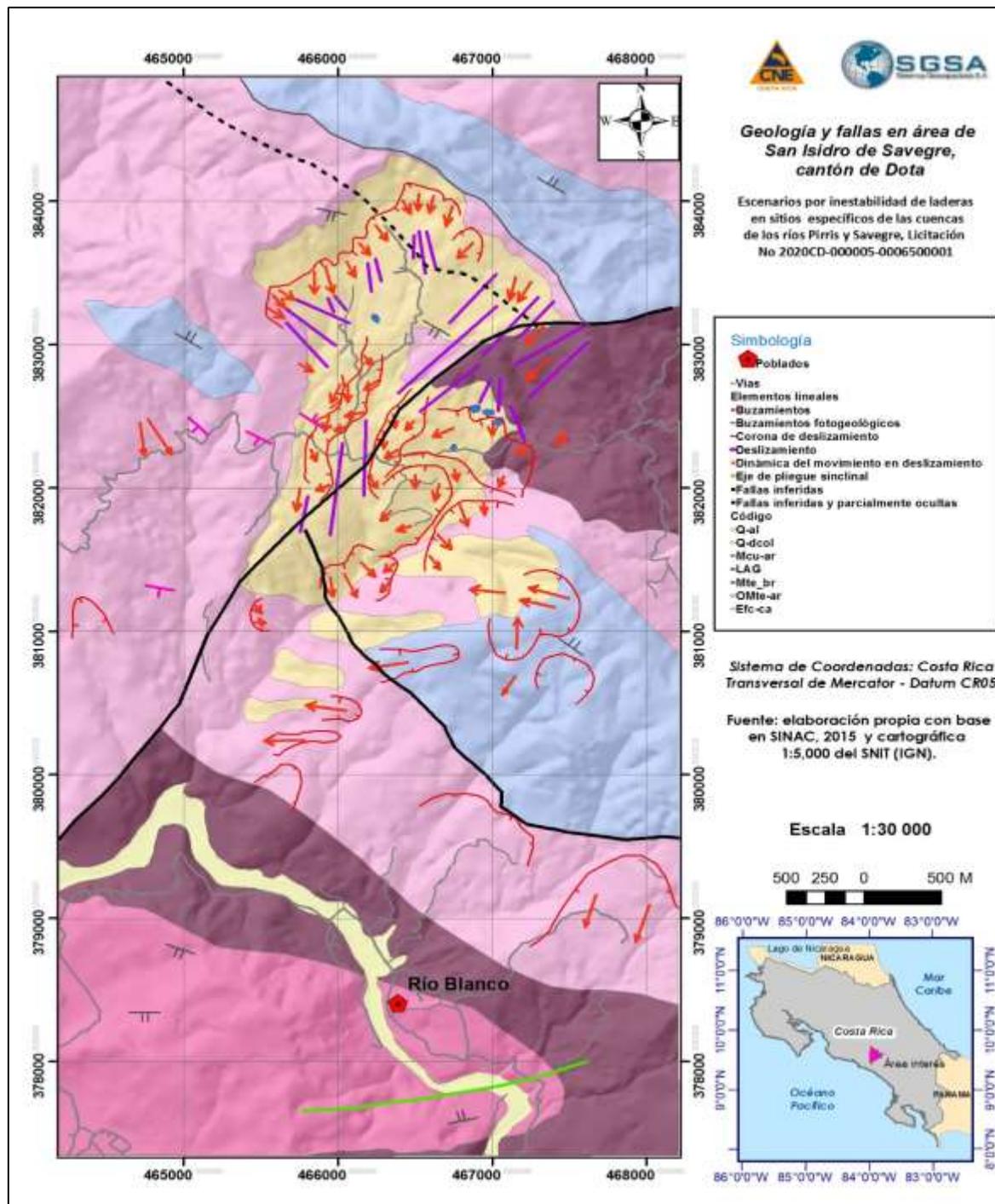


Figura 87. Geología del área de San Isidro de Savegre

Fuente: Elaboración propia con base en el marco geológico definido por G.Soto, 2020

13. Análisis de la amenaza de la inestabilidad de laderas en San Isidro de Savegre

En este apartado se desarrollan los parámetros de susceptibilidad de laderas y los mecanismos de disparo que comprenden la metodología de Mora&Vahrson. En esta oportunidad se aplica la información de disparo por diferentes períodos de recurrencia, para contar con un escenario de inestabilidad de laderas. El desarrollo detallado de la metodología, con la obtención de cada uno de los factores, se incluye en el Anexo 3.

13.1 Inestabilidad de laderas final

Luego de diferentes pruebas de escenarios, variando los factores relacionados a la sismicidad, la intensidad de lluvia y la humedad intersticial del suelo, el escenario seleccionado corresponde a la mezcla de dos de los rangos de escenarios según la ecuación deducida para la inestabilidad de laderas Figura 88, y para un factor de relieve basado en las pendientes, con un disparo por lluvias (Dp) con duración de 24 horas y 100 años de período de retorno, con un disparo sísmico (Ds) de 500 años de período de retorno.

En la Figura 89, se ha llevado la inestabilidad de laderas de 5 a 3 valores, esto es una inestabilidad expresada en forma semafórica, para facilitar la comprensión del mismo, y es el producto que se usará en exposición – vulnerabilidad y en siguientes análisis.

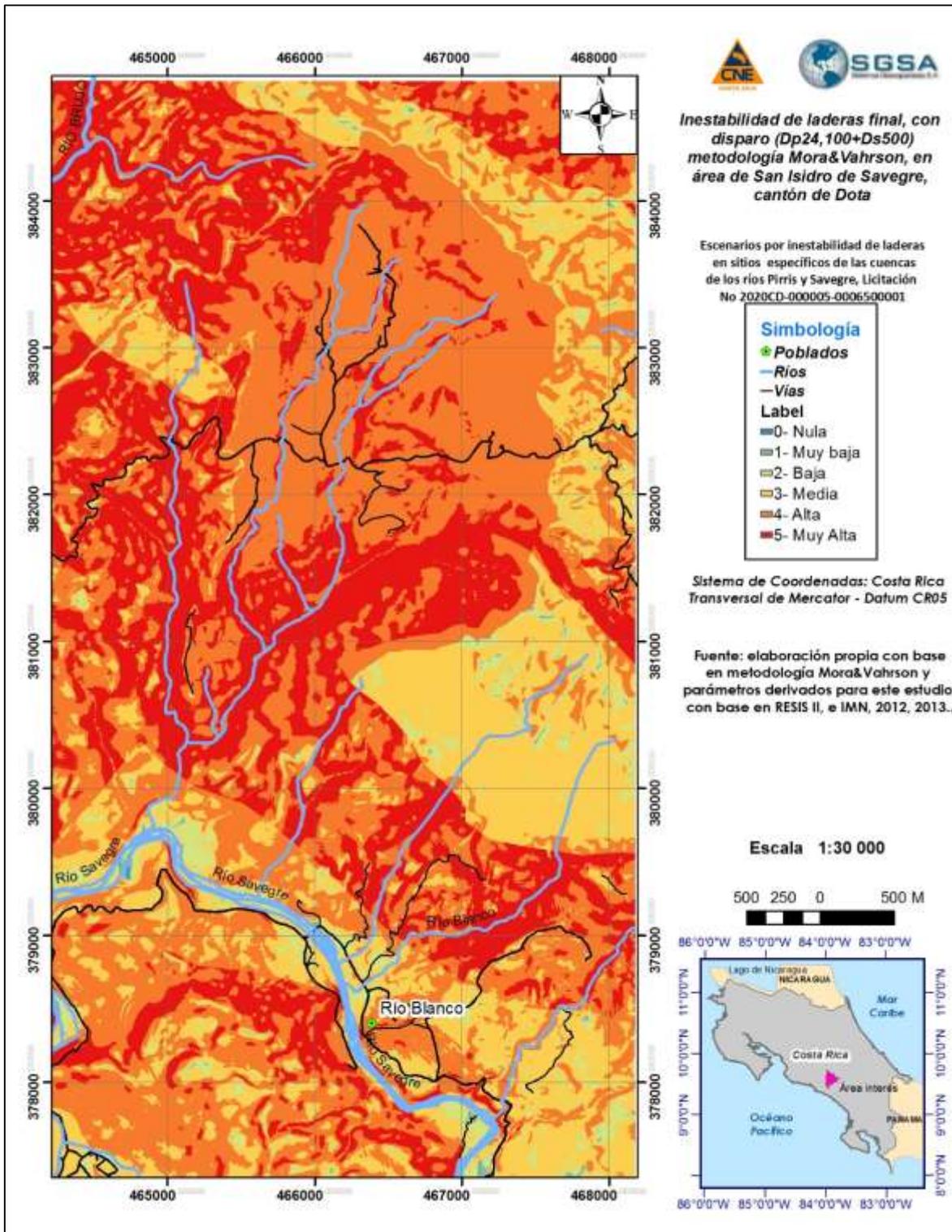


Figura 88. Inestabilidad de laderas final para el área de San Isidro de Savegre
Fuente: elaboración propia con base en metodología Mora&Vahrson

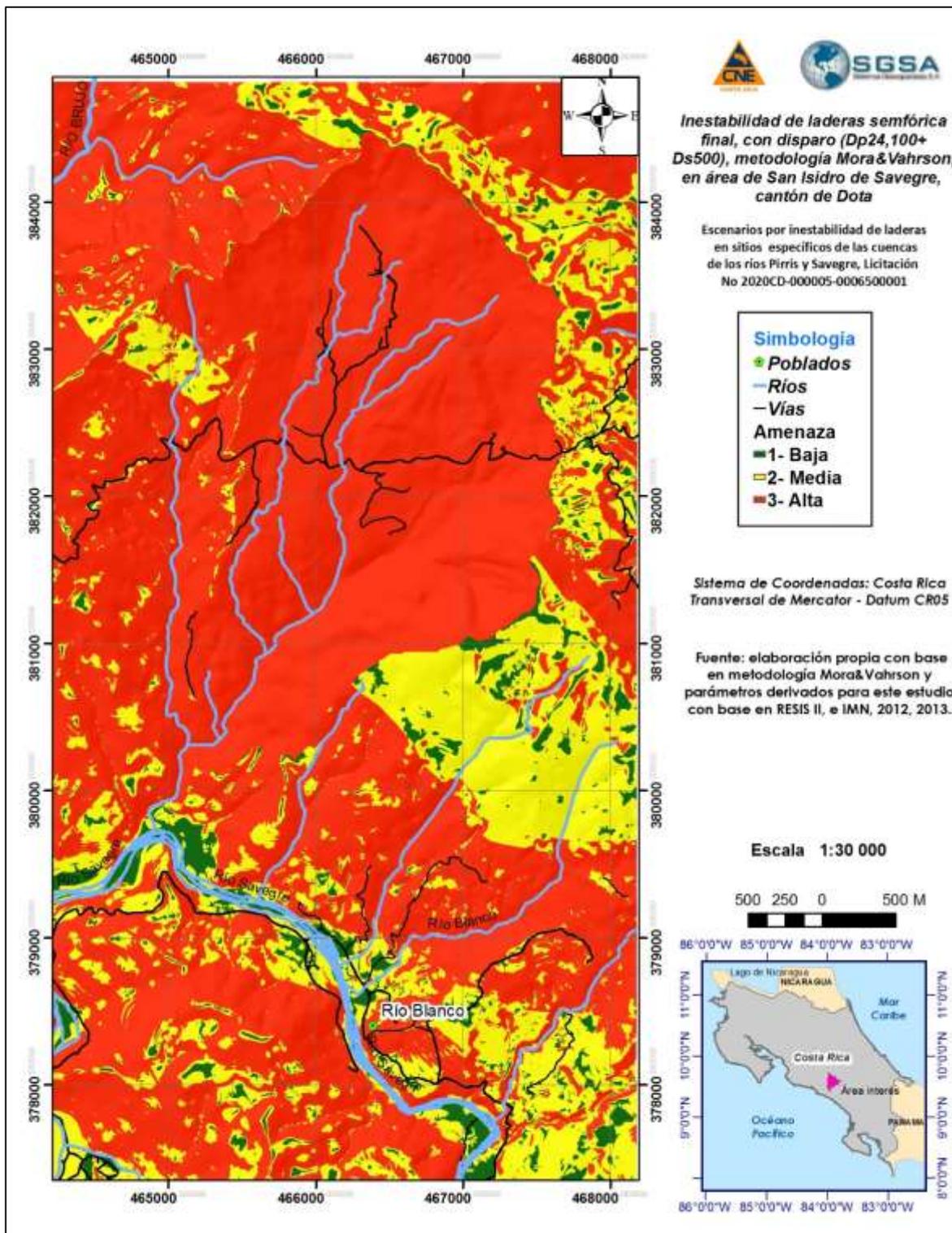


Figura 89. Inestabilidad de laderas, expresada en 3 niveles, para el área de San Isidro de Savegre Fuente: elaboración propia con base en metodología Mora&Vahrson

13.2 Volumen del deslizamiento en San Isidro de Savegre

El deslizamiento en el área de San Isidro, en la parte alta del río Blanco, se presenta en la Figura 90. A partir del análisis de las condiciones del terreno y de la construcción de los perfiles geológicos correspondientes, se han estimado los espesores de la masa deslizante y con ello, se realizaron los cálculos del volumen aproximado. En la Figura 91, se incluyen los espesores estimados del deslizamiento.

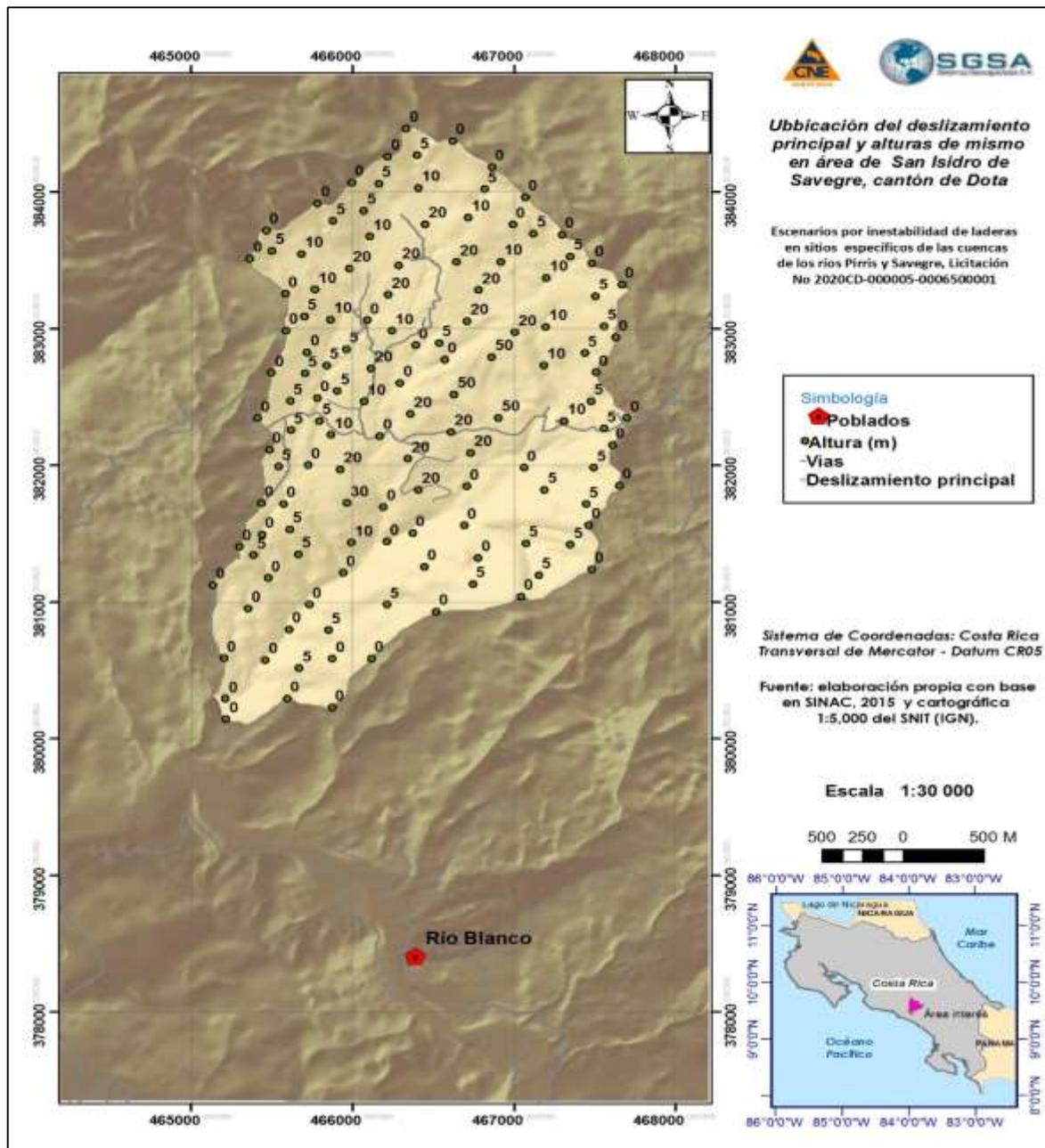


Figura 90. Ubicación del deslizamiento principal en sitio de San Isidro de Savegre

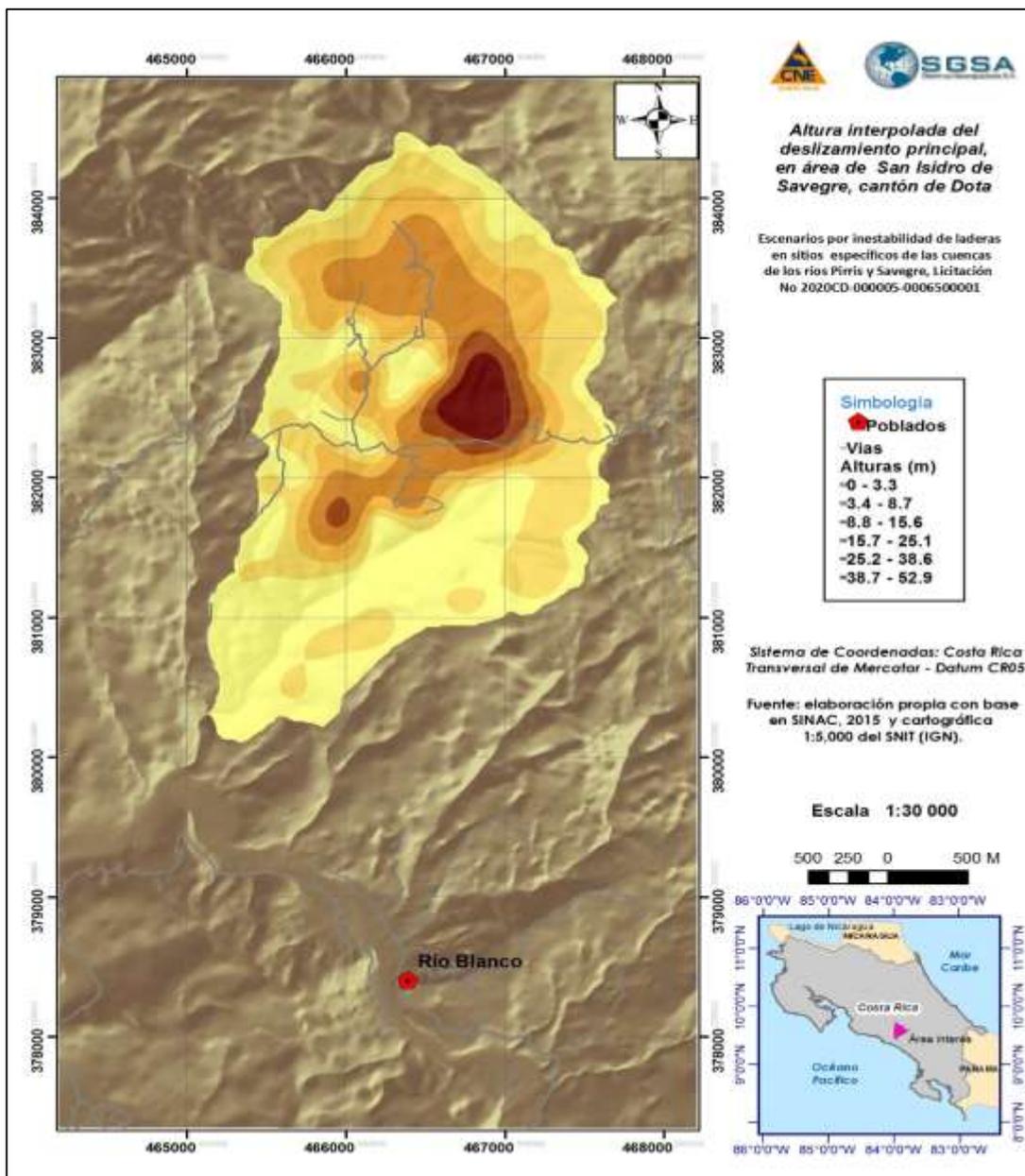


Figura 91. Altura aproximada del deslizamiento en sitio de San Isidro de Savegre
Fuente: elaboración propia, con base en MNT de 2 metros.

Al contarse con la alturas del deslizamiento, y dado que el pixel es de 2 metros, el volumen para cada pixel se calcula como $4 * \text{Altura de deslizamiento}$, así en la Figura 92 se muestra el volumen por celda o pixel, del área bajo análisis.

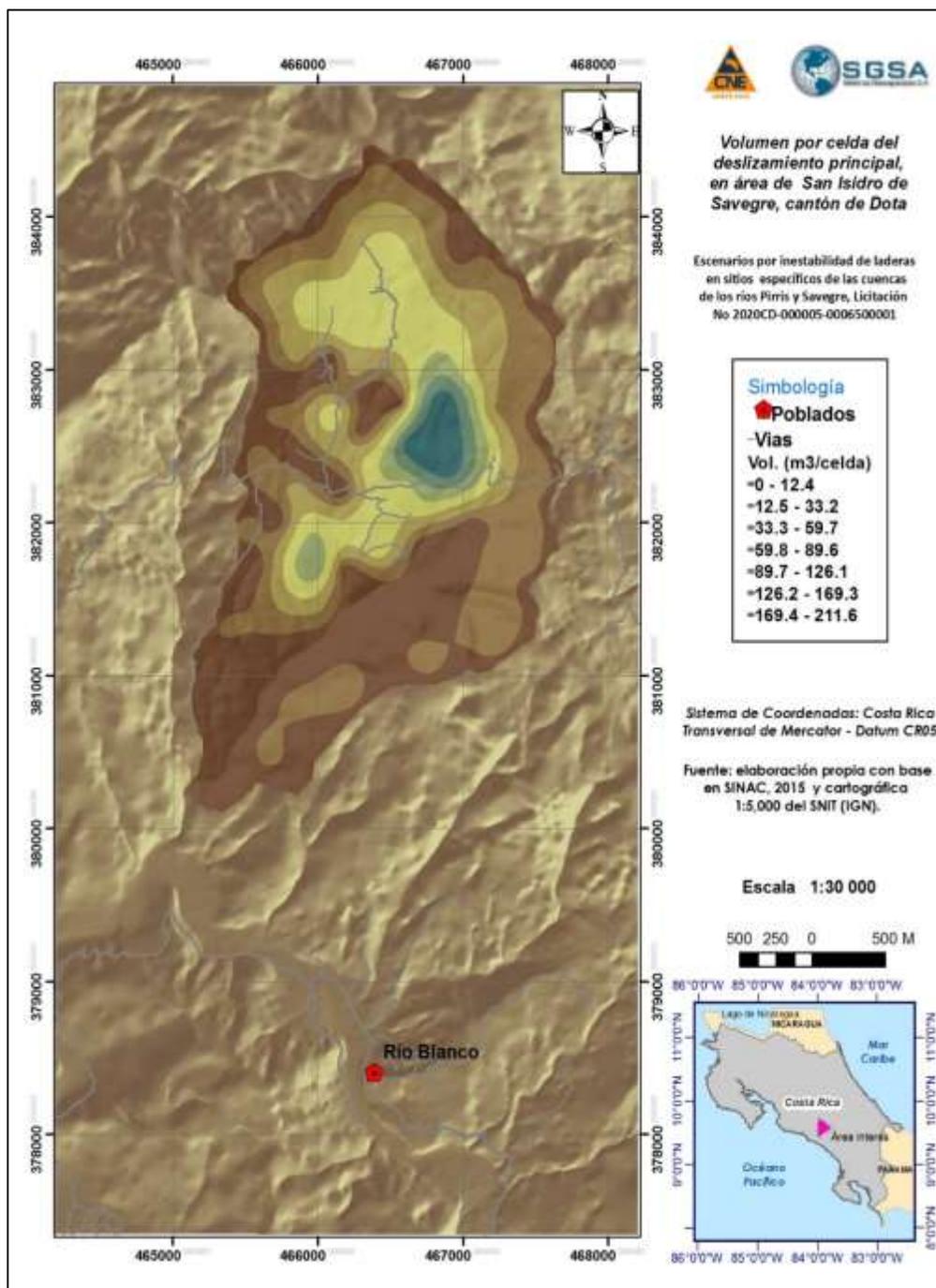


Figura 92. Volumen por celda aproximado del deslizamiento, en San Isidro de Savegre
Fuente: elaboración propia, con base en MNT de 2 metros

En el Cuadro 21 se incluye el resumen del cálculo del deslizamiento en el sitio de San Isidro de Savegre, que se estima en 62,4 millones de m³. Esto lo califica como un gran deslizamiento para esta área.

Cuadro 21. Resumen del volumen del deslizamiento

Resumen cálculo volumen deslizamiento	
Pixeles	1818477.00
Area (m ²)	7273910.00
Altura media (m)	8.57
Volumen (m ³)	62369423.53
Volumen (millones m ³)	62.37

15. Exposición-vulnerabilidad

La exposición se define como la población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales.

15.1 Vulnerabilidad con limites administrativo – políticos y/o censos.

En un intento por definir la vulnerabilidad espacial en el país se han utilizado aproximaciones vía limites políticos administrativos, que van de cantón, provincia, y más recientemente a segmentos censales y/o unidades geo-estadísticas mínimas. Lo anterior aplica muy bien en estudios macro-nacionales escala 1:25.000.

En el caso de Copey-Santa María en la Figura 93, se puede observar la relación de los Segmentos Censales y de la Unidades Geo-estadísticas Mínimas (UGM), con respecto el área de análisis y al área del deslizamiento en la cercanía de la Quebrada Escuadra. Para obtener información en el área, la misma está compuesta por las áreas parciales de 20 segmentos censales, que se muestran por rangos de población total o por 49 UGMs.

En la Figura 94, en forma similar, se muestra los segmentos censales y las unidades geo estadísticas mínimas (UGM), comparadas con el área de análisis. Se observa que hay 4 segmentos censales, que se presentan por población total y hay 4 UGM.

En cualquiera de los dos casos hacer una deducción por áreas para obtener datos de la población,, por edades u otros variables del censo, conduce a errores, por lo que se abandona este análisis y se hará una evaluación en sitio de las viviendas e infraestructura, del área de deslizamientos principal, sin pretender hacer un censo poblacional.

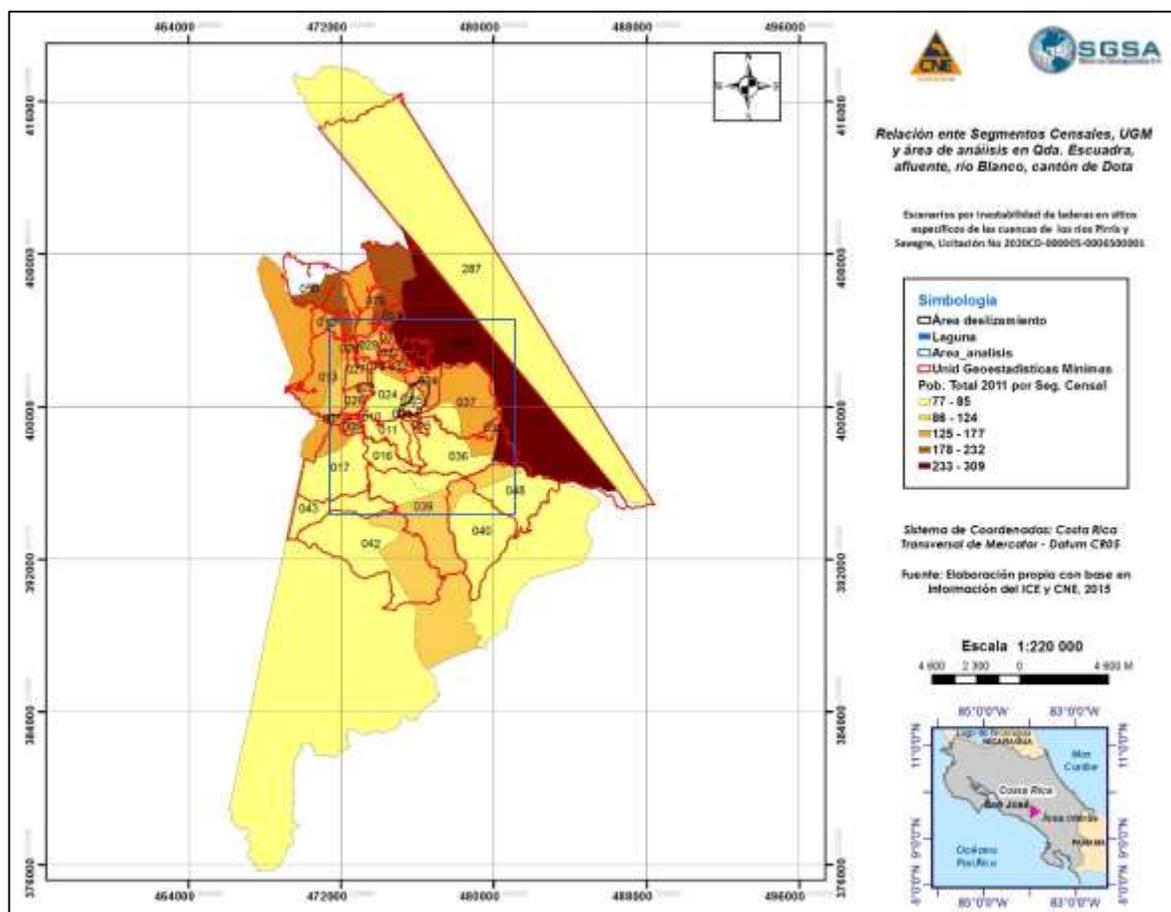


Figura 93. Relación del área de análisis Copey Santa María con respecto a los segmentos censales y UGM.

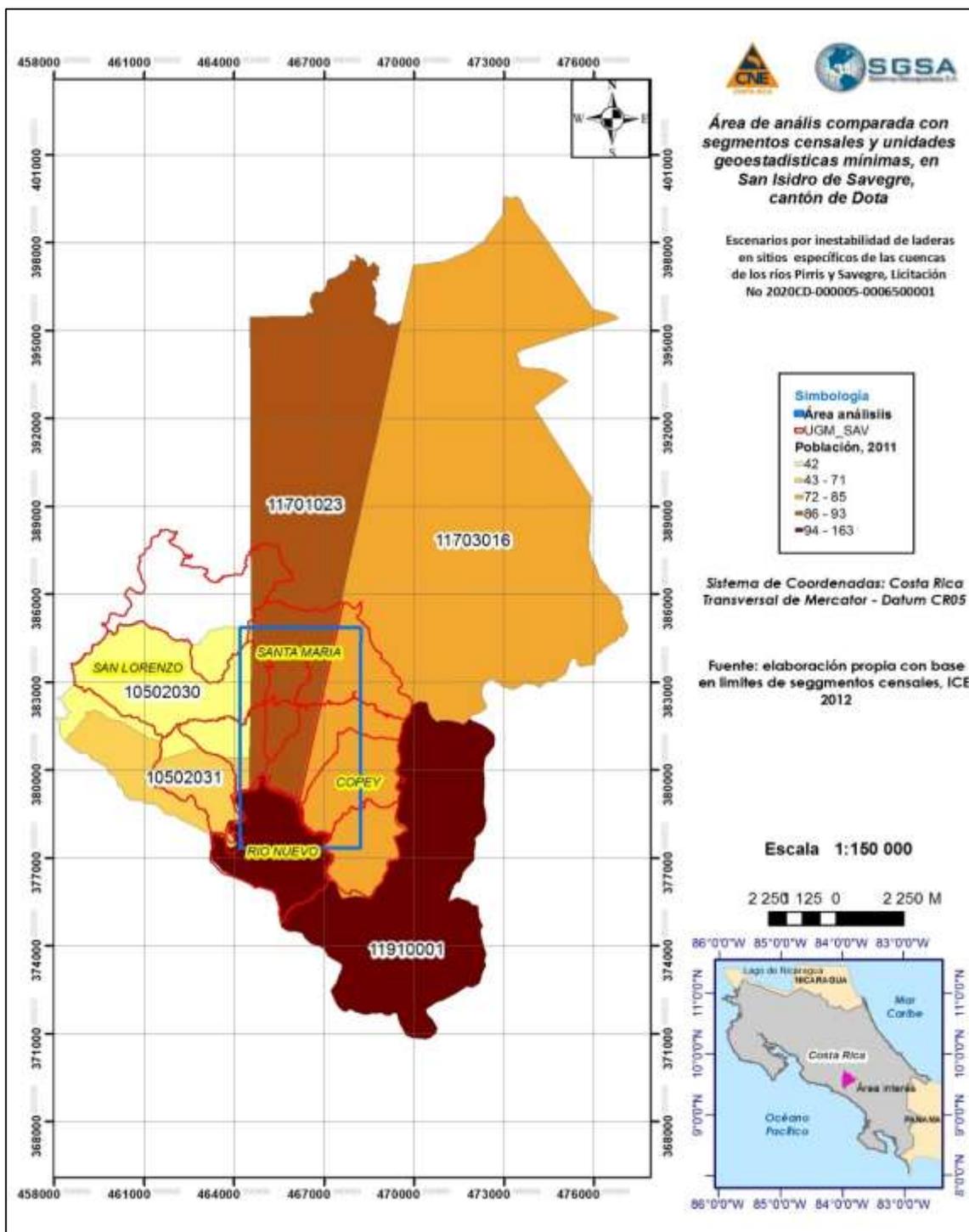


Figura 94. Relación del área de análisis San isidro, con respecto a los segmentos censales y UGM

15.2 Vulnerabilidad

El concepto de vulnerabilidad (V) se ha definido como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza, como resultado de la materialización de un evento intenso. La probabilidad de pérdida se expresa en una escala desde 0 (0%), sin daños a 1 (100%), cuando se alcanza la pérdida total. En este sentido y dado que las funciones de daños disponibles en la literatura especializada son limitadas, para el caso del análisis de la inestabilidad de laderas, los autores proponen, para el sitio, las ecuaciones siguientes, tal y como se muestran en la Figura 95. Igualmente se pueden usar los rangos mostrados en el Cuadro 22.

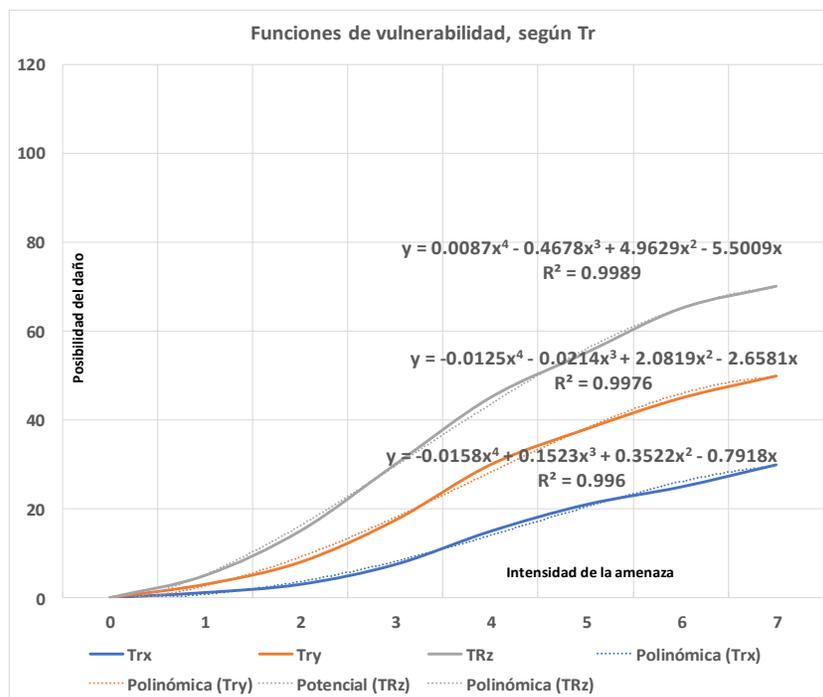


Figura 95. Funciones de daños para el análisis de la vulnerabilidad derivada de la amenaza de la inestabilidad de laderas, en área de interés.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 22. Probabilidades del daño, en porcentaje, según las intensidades de la amenaza de la inestabilidad de laderas

Ad	Rangos	Intensidad	Probabilidad del daño en %		
			Trx	Try	Trz
		0	0	0	0
I	0-40	1	1.15	3	5
II	40-120	2	3	8	15
III	120-240	3	7.5	17.5	30
IV	240 – 400	4	15	30	45
V	400 -580	5	21	38	55
VI	> 580	6	25	45	65

A partir del Cuadro 22, se puede pasar de uno de los escenarios de inestabilidad de laderas a un mapa con la exposición a los niveles posibles de daños y, en particular, mediante la aplicación de un período de recurrencia (Trz) respectivo, deducido a partir de la lluvia de 24 horas, para Tr=100 años y de la sismicidad, para Tr=500 años (Figura 96).

En este caso, para la amenaza de la inestabilidad de laderas de nivel “bajo”, se adoptó 10% en la probabilidad de los daños, para la media de 37.5% y para elevada un 60%, tanto en el caso de Copey de Dota como para San Isidro de Dota (Savegre).

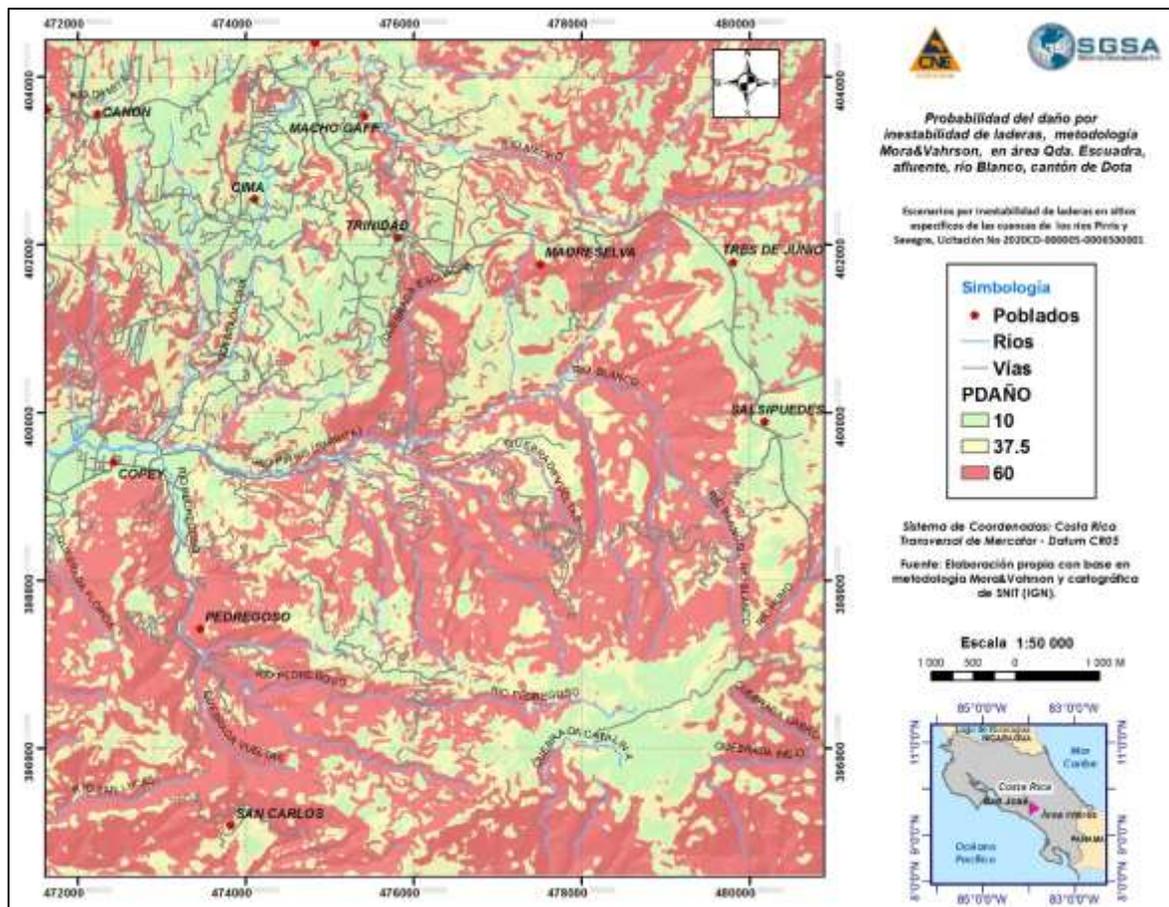


Figura 96. Probabilidad del daño, sobre los elementos expuestos, por efecto de la amenaza de la inestabilidad de laderas; Copey-Santa María-Dota.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 97 se valoró el posible daño a la vialidad y a la infraestructura. Para la vialidad se asumió un ancho de 14 metros para todas las vías y para la infraestructura se utilizó la información disponible en la restitución de la ortofoto, a la escala 1:5.000.

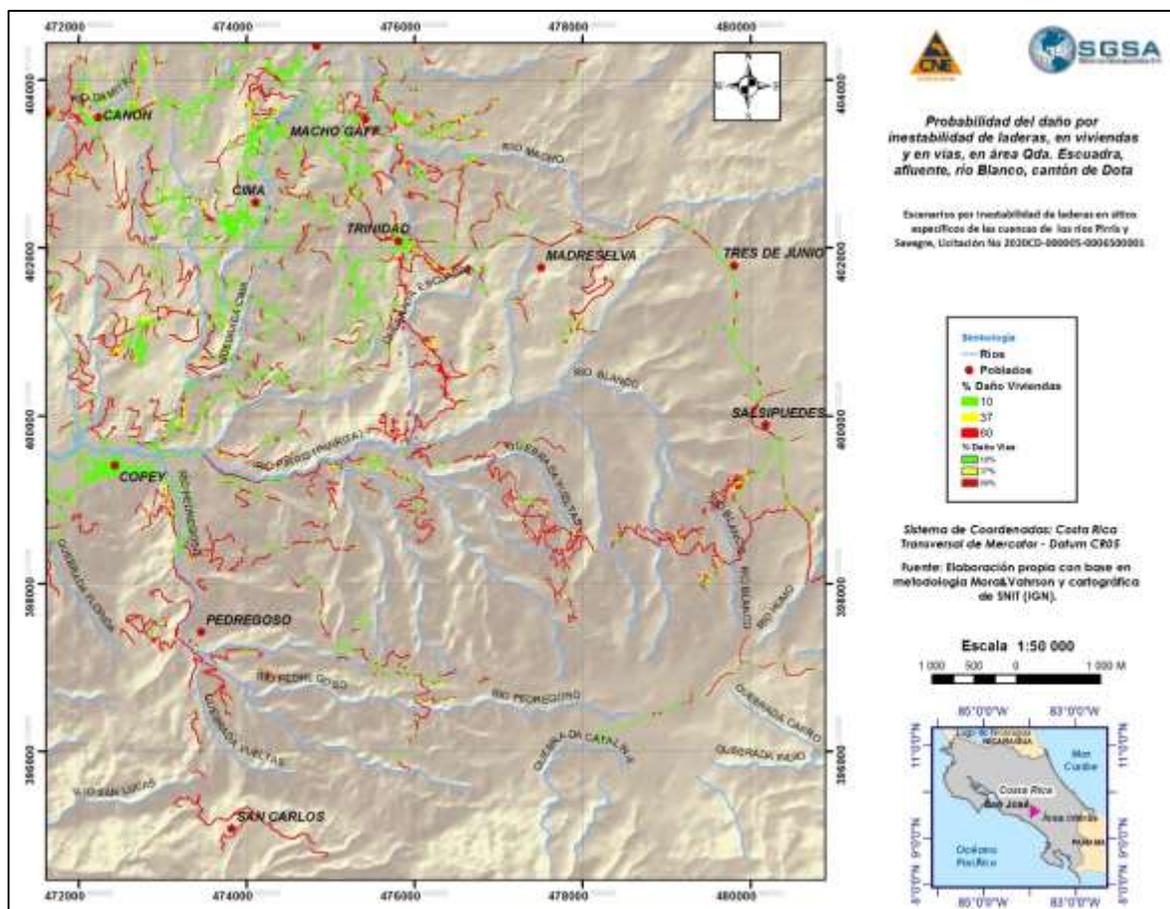


Figura 97. Probabilidad de daño a la vialidad y a la infraestructura en Copey-Santa María-Dota.

En la Figura 98 se muestra un acercamiento de la probabilidad del daño en el área del deslizamiento principal.

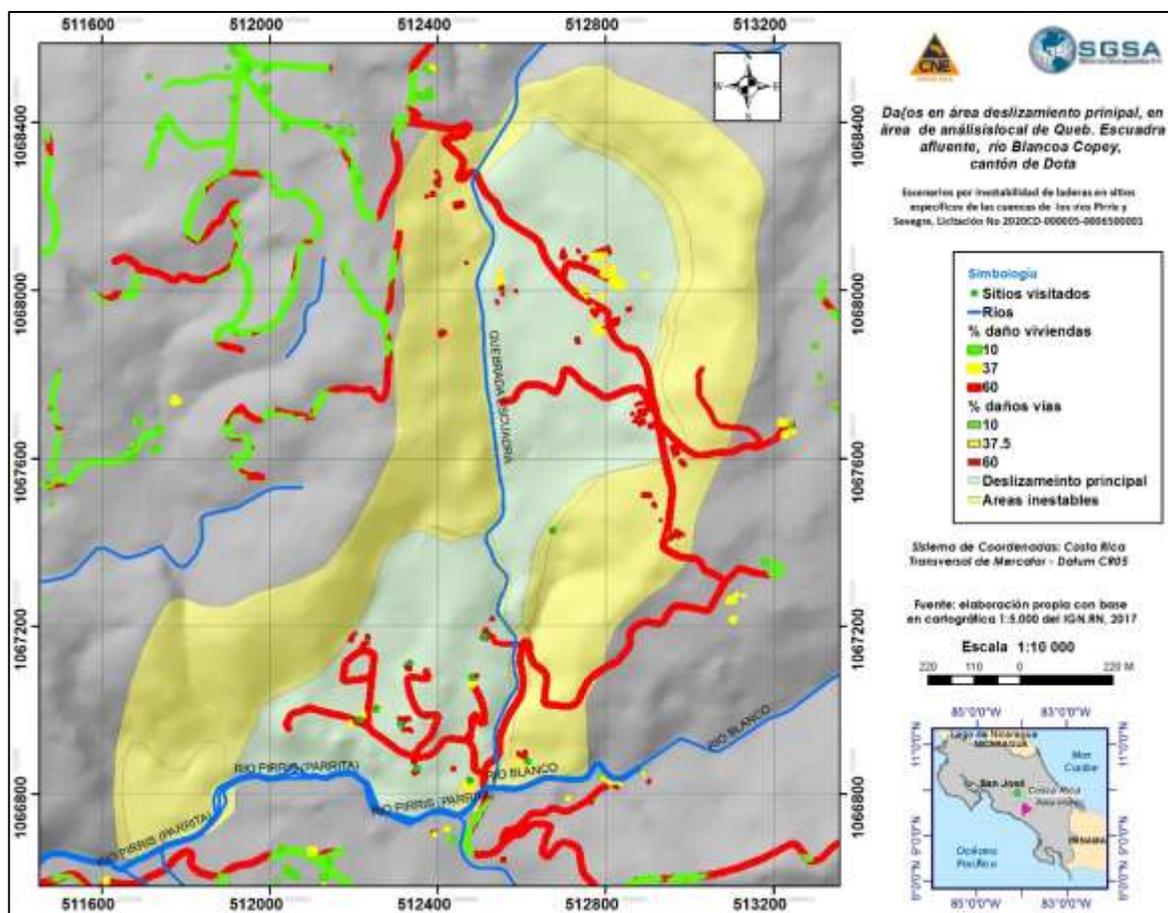


Figura 98. Probabilidad de daño a la vialidad y a la infraestructura, en área del deslizamiento principal en Copey-Santa María-Dota.

En la Figura 99, se muestra la probabilidad de daño derivado de la amenaza de la inestabilidad de laderas en el área de San Isidro de Savegre. En este sitio, las probabilidades elevadas, es decir, mayores del 60%, corresponden con la mayoría del área; las áreas remanentes, con probabilidad de daño media y baja, son relativamente menores.

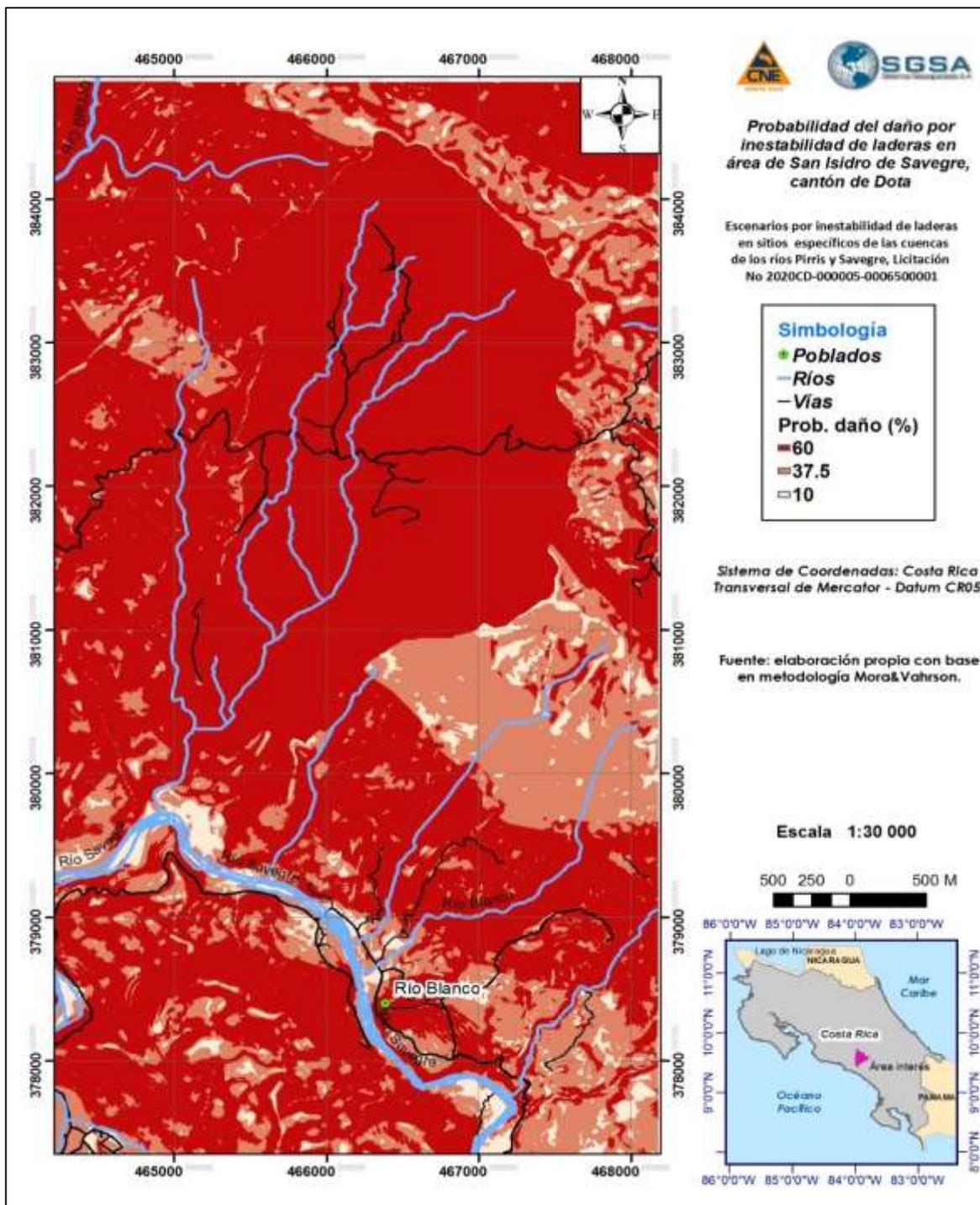


Figura 99. Probabilidad del daño por efecto de la amenaza de la inestabilidad de laderas en San Isidro de Savegre
Fuente: elaboración propia

En la Figura 100 se valoró el posible daño a la vialidad y a la infraestructura, Para la vialidad se asumió un ancho de 14 metros para todas las vías y para la infraestructura, se dejó la misma área de la restitución que aparece en la ortofoto a la escala 1:5,000.

Prácticamente toda esta área muestra una probabilidad de daño elevada, es decir, igual o mayor de 60%. Las áreas con probabilidades medianas e inferiores aparecen solamente al sur y en las cercanías del poblado de Río Blanco,

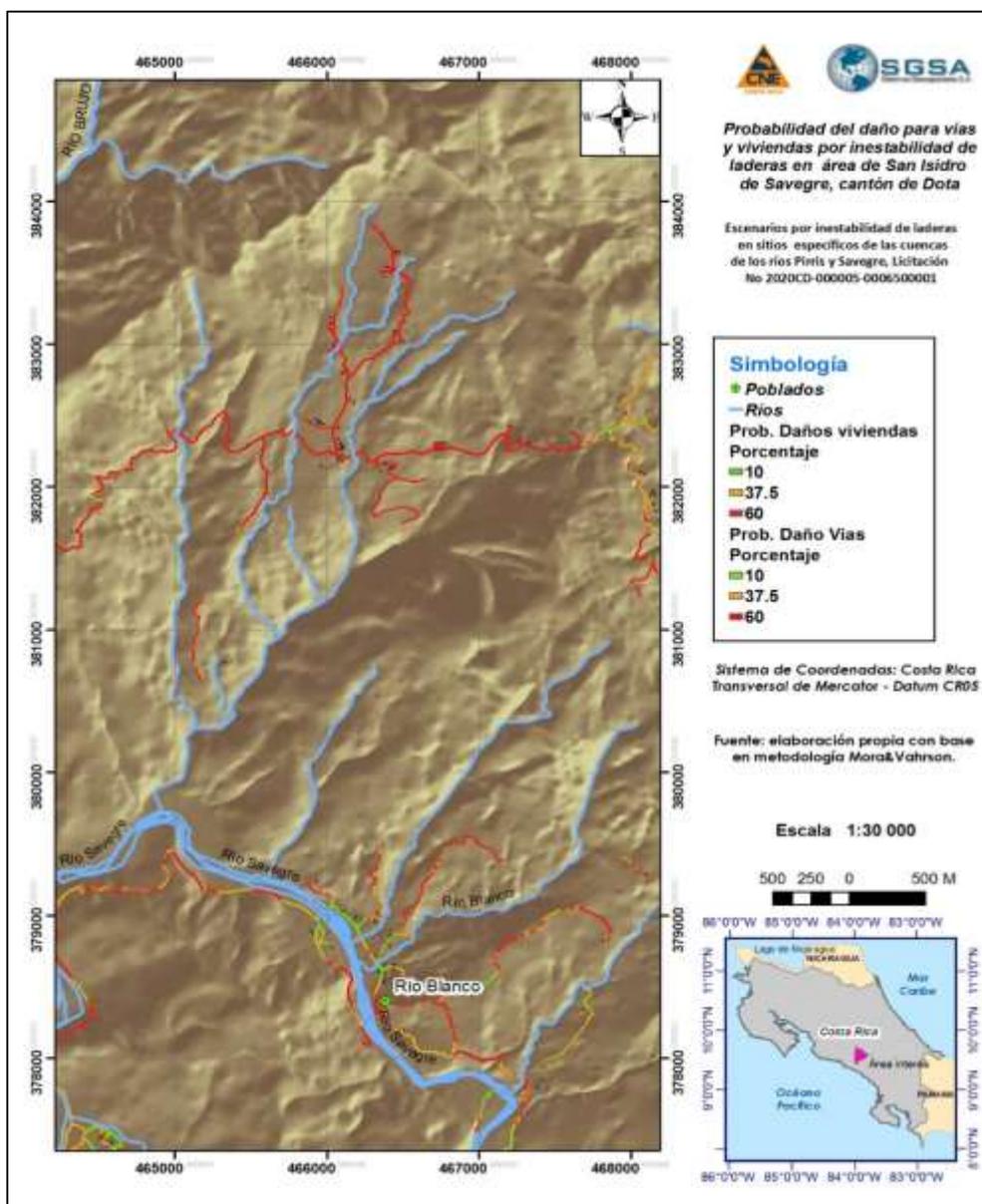


Figura 100. Probabilidad del daño a la vialidad y a la infraestructura en San Isidro de Savegre

En la Figura 101 se muestra un acercamiento de la probabilidad del daño en el área del deslizamiento principal.

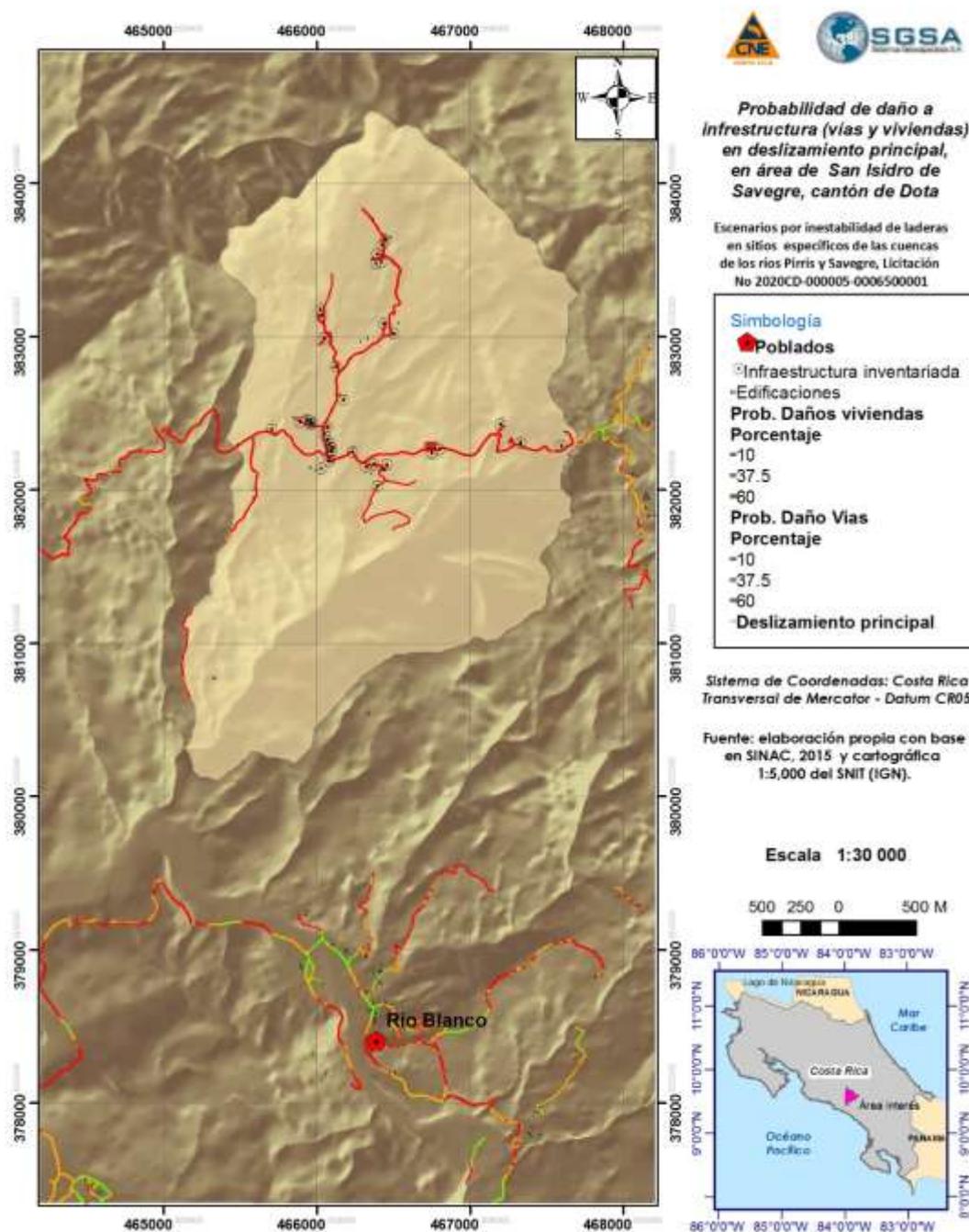


Figura 101. Probabilidad de daño a la vialidad y a la infraestructura en el área del deslizamiento principal, en San Isidro de Savegre

15.3 Inventario de detalle

En vista de que obtener información a partir de unidades censales no aplica en estudios locales, se tomó la decisión de realizar un inventario de las viviendas, infraestructura (viviendas y sitios comunitarios) tanto en el sitio de la Quebrada Escuadra y en el sitio de San Isidro de Savegre, las Figuras 98, y 101, mostraron los sitios visitados. En el Anexo 4 se detalla la ficha utilizada para recolectar y tabular la información.

Para cada sitio inventariado y valorado en el campo, en el Anexo 5 y 6, se incluye el resumen de la información. En forma general, los Cuadros 23 y 24 resume la información del sitio.

Cuadro 23. Resumen de información de inventario realizado en el campo en la Quebrada Escuadra

Información inventario	Número/valor	Notas
Población	12	No se tiene el dato de población solo de ocupación de las vivienda
Area constructiva	858	Area constructiva
Costo estimado por area, 2019	¢42 900 000.00	Costo estimado en dólares
Costo colones/area	¢50 000.00	Costo estimado por área
Casas	8	incluye casas de recreo, cabañas, apartamentos
Cabaña	1	No se pudo visitar se asume área y buen estado
Chalet	1	No se pudo visitar se asume área y buen estado
Bodegas	2	
Total	12	
Problemas en viviendas	83.33%	Se verificaron grietas en pisos, paredes, separaciones de juntas

La ocupación reportada es de 8 persona esto porque hay casas abandonadas y/o son cabinas o chalet de uso discrecional.

Cuadro 24. Resumen de información de inventario realizado en el campo en San Isidro de Savegre

Información inventario	Número/valor	Notas
Población	302	No se tiene el dato de población solo de ocupación de las vivienda
Area constructiva	2525	Area constructiva
Costo estimado por area, 2019	₡75 750 000.00	Costo estimado en dólares
Costo colones/area	₡30 000.00	Costo estimado por área
Casas	26	incluye casas de recreo, cabañas, apartamentos
Cabinas	3	
Asociacion Agropecuario San Isidro	1	
Templo de madera	1	
Escuela de san Isidro de Dota	1	
Corrales	2	
Otros	3	
Total	37	
Problemas en viviendas	40.54%	Se verificaron grietas en pisos, paredes, separaciones de juntas

16. Caracterización de la vulnerabilidad y medidas de intervención. Establecimiento de una línea de base

16.1 Apoyo a la zonificación territorial en Copey – Santa María y de San isidro - Savegre

Al estar el área inmersa en una zona protectora obliga a realizar un Plan de Manejo de Área Silvestre Protegida, por esta razón el aporte de este estudio se circunscribe al uso de las divergencias o conflictos de la tierra y a la inestabilidad de laderas (ver el Cuadro 25), con un objetivo para la zonificación de considerar tanto las divergencias del uso de la tierra con la amenaza de inestabilidad estudiada y en el caso de Copey–Santa María agregando la consideración de un efecto concatenado de las amenazas. Para el caso de Savegre se toman en cuenta las divergencias y electo de las amenaza por inestabilidad de laderas.

Cuadro 25. Criterios de valoración considerados en el análisis espacial para la determinación de la zonificación propuesta

Matriz cruce	Inestabilidad de laderas		
	1-Baja	2-Media	3-Alta
3 = Sobreuso, y Uso Extremo	1	1	1
2= Sub uso	2	3	1
1 = Uso conforme	4	5	1

Simbología:

Categorías	Siglas	Descripción
1	UF	Propiciar uso forestal
2	PUCH	Promover a uso conforme-habitable
3	PUCDH	Promover a uso conforme-desmotivar habitación
4	MUC	Mantener uso conforme
5	MUCDH	Mantener uso conforme – desmotivar habitación

Para el caso de Copey de Dota, se agregó el evento correspondiente a la inundación de 25 años de período de recurrencia.

En la Figura 102 se incluye la zonificación preliminar sugerida tomando en cuenta tanto la capacidad del uso de la tierra como la amenaza por inestabilidad de laderas y la inundación,

Para el caso de San Isidro de Savegre, se ha empleado la misma formulación y se ha llegado al establecimiento de una zonificación preliminar, Figura 103, que toma en cuenta la capacidad del uso de la tierra y la amenaza de la inestabilidad de laderas. A pesar de que se consideró una capacidad de uso menos rigurosa, en el área del deslizamiento se recomienda que su uso solo sea forestal; en la actualidad, estas áreas están siendo ocupadas en la agricultura de subsistencia.

.

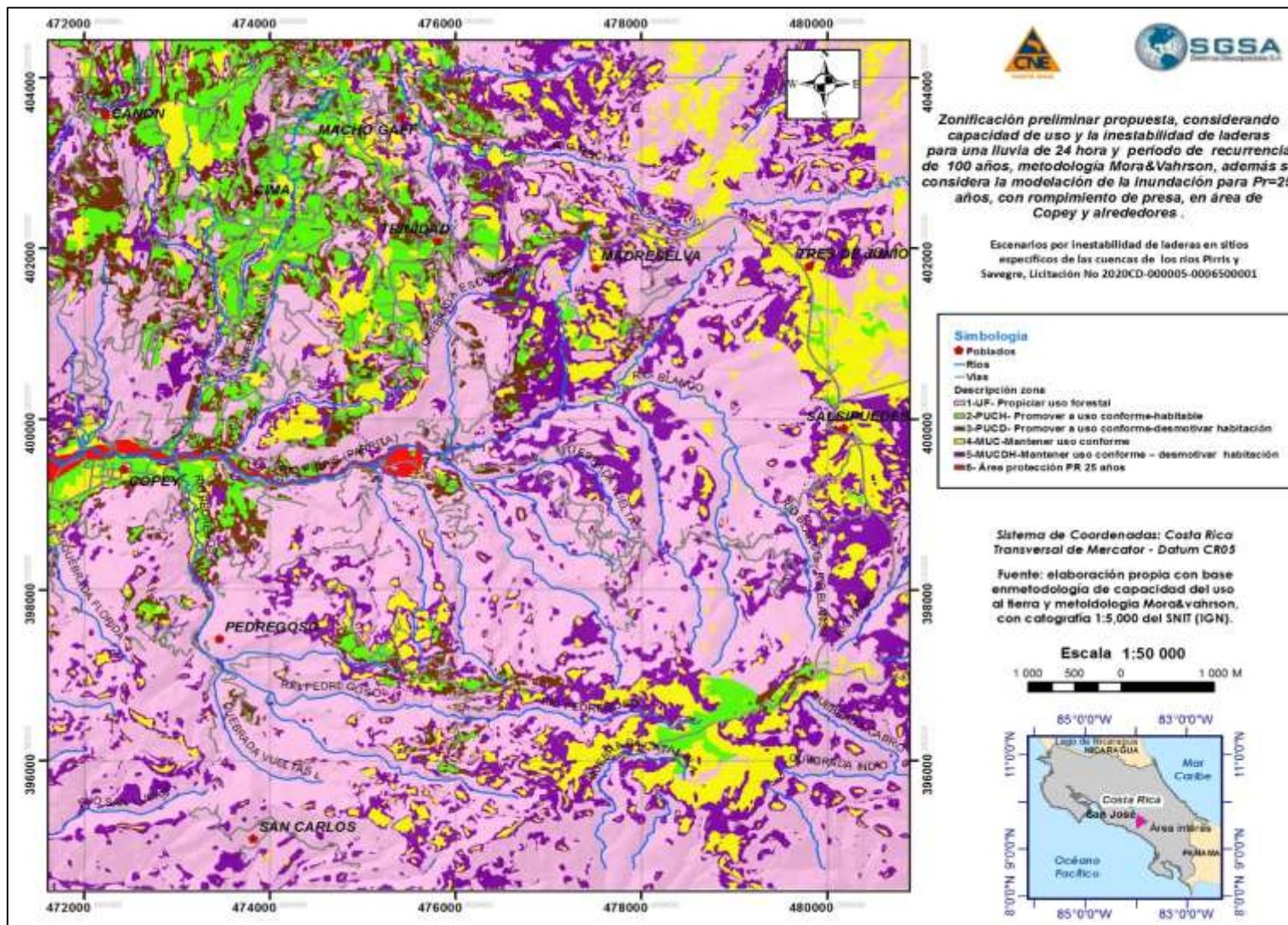


Figura 102. Zonificación preliminar recomendada para el área de Copey-Dota
Fuente: elaboración propia.

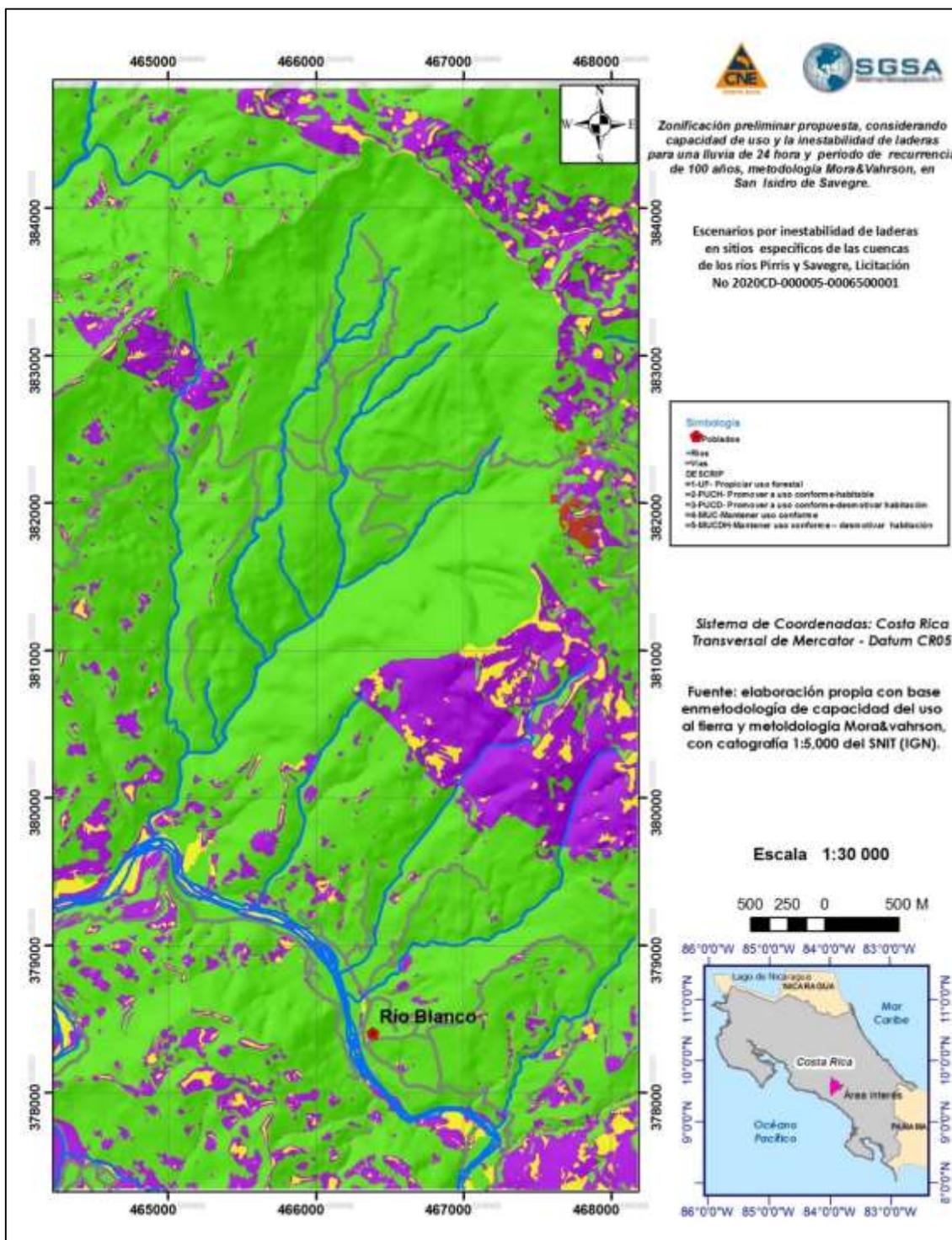


Figura 103. Zonificación preliminar recomendada para San Isidro de Dota, Savegre.
Fuente: elaboración propia.

16.2 Estrategia de intervención en ambas áreas

Las estrategias varían: a) En Copey de Dota se puede manejar la situación mediante la aplicación de una planificación adecuada y con el respaldo de un SOAAAR, en tiempo real, que permita actuar al momento del represamiento del cauce; b) En San Isidro de Dota (Savegre), los parámetros de la planificación y de vigilancia deberán ser más restrictivas en los usos de la tierra y eventualmente la disponibilidad contingente de maquinaria. En el escenario de ese represamiento, deberá tratar de evitarse el desencadenamiento del alud y flujo torrencial hacia aguas abajo, dadas las condiciones del caudal del río Savegre y la magnitud elevada del volumen por deslizarse. A continuación se sugieren las medidas de intervención respectivas.

16.2.1 Copey-Santa María.

La elaboración de una estrategia de intervención, en el área de Copey – Santa María -Dota, debe ser llevada a cabo por la Municipalidad de Dota, con apoyo del SINAC, el ICE, la CNE y otras instituciones involucradas, además del sector privado y la población. En este apartado se hacen recomendaciones, las cuales se resumen en el Cuadro 26, para que los productos de este estudio se incorporen a las variables ecosistémicas, socio económicas y culturales, a la hora de realizar el Plan Regulador del cantón de Dota

Cuadro 26. Estrategia de intervención propuesta para Copey- de Dota y en relación con los resultados de la evaluación de la amenaza de la inestabilidad de laderas realizada en este estudio.

Estrategias de intervención propuestas	Acciones en el corto, mediano y largo plazo		
	Corto plazo (0 a 5 años)	Mediano plazo (5 a 10 años)	Largo plazo (más de 10 años)
1. Inclusión de los resultados del estudio de la amenazas de la inestabilidad de laderas y su vulnerabilidad respectiva en el Plan Regulador que está por realizar la Municipalidad	X		
2. Colaboración y coordinación eficaz entre la Municipalidad, las instituciones presentes en el área, el sector privado y la población.	X		
3. Fortalecimiento del Comité Local de Emergencias (evolucionar hacia un Comité para la Gestión del Riesgo); dotarlo de equipamiento básico (radios, motocicletas, personal, capacitación en la gestión integral del riesgo y ordenamiento territorial, no solamente en el manejo de las emergencias), para mantener una vigilancia constante del sitio de la Quebrada Escuadra.	X		
4. Mantenimiento y recuperación de la cobertura forestal en las áreas con clases VI, VII, VIII y las de amenaza elevada de la inestabilidad de laderas.	X	X	

5. Promoción de un desplazamiento progresivo de las viviendas permanentes hacia sitios seguros, en los alrededores del área del deslizamiento identificada en la cuenca de la quebrada. Escuadra y según la zonificación preliminar propuesta en este análisis.		X	X
6. En las áreas señalada con media y elevado nivel de amenaza, promover los usos temporales de la tierra: sitios recreativos, senderismo, observatorios de especies: flora, fauna.		X	X
7. Aplicación de medidas de restricción al desarrollo de la expansión urbana y comercial, particularmente en los sectores en que se han señalado áreas con niveles de la amenaza de la inestabilidad de laderas medias y elevadas y además, en las áreas de posible inundación. Igualmente, establecer incentivos para ocupar áreas cercanas con nivel bajo de la amenaza de la inestabilidad de laderas.	X	X	X
8. En las áreas sometidas al subuso de la tierra y con niveles de amenaza de la inestabilidad de laderas medios a bajos, se pueden realizar usos agrícolas y ganaderos, acompañados de medidas de conservación de suelos, con las recomendaciones siguientes: a) Las prácticas agrícolas deben manejar adecuadamente los drenajes y proteger el suelo de la erosión; b) En cuanto a las prácticas ganaderas, debe evitarse el sobrepastoreo y practicar la semi-estabulación del ganado.	X	X	X
9. El ICE y el Instituto Meteorológico Nacional deberán aportar y poner a disposición la información y los datos sismológicos, hidrometeorológicos, climáticos y fluviográficos de sus estaciones y acompañar la colocación, instalación y operación del Sistema integrado de información para la observación, alerta, alarma, advertencia y respuesta temprana (SOAAAR) . El Sistema deberá operar en tiempo real y mantener un registro continuo que permita correlacionar los eventos hidrometeorológicos, sismológicos y de la inestabilidad de laderas.	X	X	X

16.2.2 San Isidro de Savegre.

La elaboración de una estrategia de intervención en el área de San Isidro de Dota (Savegre) debe ser llevada a cabo por la Municipalidad de Dota, con apoyo del SINAC, el ICE, él y otras instituciones involucradas, quien es el responsable de dirigir esta planificación territorial por esta razón en este apartado se hacen recomendaciones, Cuadro 27, para que los productos de este estudio se incorporen junto con las variables ecosistémicas y socio económicas culturales cuando realice el plan de Manejo del cantón de Dota

Cuadro 27. Estrategia de intervención propuesta en Copey-Santa María

Estrategias de intervención propuestas	Acciones en corto, mediano y largo plazo		
	Corto plazo (0 a 5 años)	Mediano plazo (5 a 10 años)	Largo plazo (más de 10 años)
1. Inclusión de los resultados del estudio de la amenazas de la inestabilidad de laderas y su vulnerabilidad respectiva en el Plan Regulador que está por realizar la Municipalidad	X		
2. Promover el traslado de la población y viviendas permanente a sitios seguros, sea coordinado con INDER u otra institución, si es a otro sitio, o bien promoviendo el traslado, con apertura mantenimiento de vía al sitio seguro, según la zonificación preliminar propuesta,	X		
3. Fortalecimiento del Comité Local de Emergencias (evolucionar hacia un Comité para la Gestión del Riesgo); dotarlo de equipamiento básico (radios, motocicletas, personal, capacitación en la gestión integral del riesgo y ordenamiento territorial, no solamente en el manejo de las emergencias), para mantener una vigilancia constante del sitio de la Quebrada Escuadra.	X		
4. Mantenimiento y recuperación de la cobertura forestal en las áreas con clases VI, VII, VIII y las de amenaza elevada de la inestabilidad de laderas donde la pendiente sea mayor al 60%	X	X	
5. En caso de darse un deslizamiento masivo se debe dar la alerta en forma inmediata para iniciar la apertura con maquinaria de un posible represamiento en el río Blanco – Savegre.	X	X	X

6. En las áreas señalada con media y elevado nivel de amenaza, promover los usos temporales de la tierra: sitios recreativos, senderismo, observatorios de especies: flora, fauna		X	X
7. Aplicación de medidas de restricción al desarrollo de la expansión urbana y comercial, particularmente en los sectores en que se han señalado áreas con niveles de la amenaza de la inestabilidad de laderas medias y elevadas y además, en las áreas de posible inundación. Igualmente, establecer incentivos para ocupar áreas cercanas con nivel bajo de la amenaza de la inestabilidad de laderas.	X	X	X
8. En áreas de subuso y de inestabilidad de laderas medias a bajas, se pueden realizar usos agrícolas - ganaderos, acompañados de medidas de conservación de suelos: a) para sitios de agricultura manejar adecuadamente los drenajes, protegiendo el suelo, b) para ganadería evitar sobre pastoreo, practicar semiestabulación del ganado, que debe ser para consumo interno de la comunidad.	X	X	X
9. Lograr que el ICE ponga a disposición los datos de la climatología en sus estaciones para monitorear, con datos en tiempo real y mantener un registro con los máximos, que permita en un futuro correlacionar esto a eventos de inestabilidad de laderas.	X	X	X

17. Inventario de las principales organizaciones sociales

En el área operan diferentes organizaciones que trabajan en la temática ambiental y que potencialmente pueden incluir a la Gestión de Riesgo.

En la Municipalidad de Dota se cuenta con un SIG, utilizado con énfasis en las actividades y servicios catastrales y que podría incorporar la información generada en este trabajo

Aunque las organizaciones no tienen dentro de sus objetivos a la Gestión del Riesgo, sí podrían convertirse en aliados estratégicos de la Municipalidad. Para ello, podrían enfatizar sus programas y acciones en la temática ambiental, educación, protección de cuencas, organización para emergencias, vigilancia de las amenazas y ordenamiento territorial, con el objeto de velar por la seguridad de las comunidades.

La necesidad de un Sistema de Observación, Vigilancia, Alerta, Alarma, Respuesta y Continuidad SOAAAR en la comunidad, es evidente e importante.

Sin embargo, debe comenzarse por la instalación de la instrumentación de observación y vigilancia de las amenazas hidrometeorológicas, sismológicas y geotécnicas. En la actualidad, no hay estaciones pluviométricas y fluviográficas en tiempo real, las cuales son las más apropiadas para apoyar el proceso de toma de decisiones oportunas. Solamente existe la instrumentación operativa en la cuenca de los ríos Parrita y Pirrís y son propiedad del ICE y relacionadas con la operación de la planta hidroeléctrica Pirrís. Se sabe, sin embargo, que la estación telemétrica de Tabacales, deberá ser reubicada y puesta de nuevo en operación.

Dado que en la cuenca de los ríos Parrita y Pirrís, el ICE juega un papel clave en cuanto a la Gestión del Recurso Hídrico y es un aliado estratégico en cuanto a la protección de la cuenca y el uso adecuado de la tierra, también debería incorporarse en la evaluación y vigilancia de las áreas de inestabilidad de laderas. La longevidad del embalse y de su capacidad de regulación hidrológica-hidráulica, así como la estabilidad de la operación y rentabilidad de su operación, dependen de ello.

En el Cuadro 28 se incluyen algunos proyectos relacionados al ambiente y la protección del recurso hídrico y actividades afines.

Cuadro 28. Resumen de proyectos en el cantón de Dota

TIPO DE PROYECTO	INSTITUCION ACARGO	UBICACIÓN DEL PROYECTO	CARACTERISTICAS	OBSERVACIONES
Manejo de Desechos	Asociacion Femenina Los Santos	Los Santos	Reciclaje de Vidrio, papel, plastico, Talleres de manejo de desechos	Trabajo en conjunto con las municipalidades de la Zona
Abono orgánico	APACO	Santa Cruz	Abonos organicos, manejo de política de produccion amigables	Producción en vivero, utilizacion de un 60% del abono en la plantación
Manejo de Desechos (Brosa)	Beneficio Montañas de Diamante	Santa María	Manejo de la brosa, compos abono organico,secar la brosa para usar en los hornos	El agua en la epoca de no uso utilizarla para la producción de electricidad
Conservacion de bosque y reforestacion por pago de servicios ambientales	Centro Agricola Cantonal Dota	Santa María	Pago de servicios Ambientales	Hacen los tramites y inspecciones
Produccion de abono organico	Centro Agricola Cantonal Tarrazú	El Rodeo	Abono con la brosa y lombris y otro compuesto con Brosa, granza tierra cal Bocachi	Para la venta
Vivero de arboles para reforestacion y venta	Centro Agricola Cantonal Tarrazú	El Rodeo	Arboles de eucalpto, nogal, cedro, dama	Para la venta y apoyo a reforestacion de nacientes y programas a esculeas
Clasificacion de desechos	Coopedota RL	Santa María	Clasificacion de desechos en diferentes recipientes de colores según su origen dentro de la coperativa	Estimacion de la produccion de desechos dentro de la Cooperativa
Manejo de desechos solidos y organicos	Coopedota RL	Santa María	Cantidad de desechos sólidos y orgánicos que se generan en la comunidad de Santa María de Dota	Crear un centro de acopio y producir abono organico
Producción de etanol a base de residuos del café y ciertas variedades de musáceas.	Coopedota RL	Santa María	Utilizacion del mucilago de café, como alternativa en la produccion de combustibles	Crear una planta destiladora de subproductos del café
Producción de biodiesel a base de Higuierilla (Euphorbiaceae <i>Ricinos communis</i>) y Tempate o Piñon (<i>Jatropha Curcas</i>).	Coopedota RL	Santa María	Utilizar diferentes materias primas existentes (Higuierilla y Tempate) en las plantaciones de café para la producción de biodiesel	Crear una planta productora de biodiesel que funcione a base de Higuierilla y Fomentar la siembra alternativa de higuierilla y tempate
Tratamiento de Desechos (Brosa)	Coopellano Bonito RL	Llano Bonito	Volteos y palicacion de cal mas una encima que acelera la decomposion	
Protección de Recursos Hidrico	Coopesantos referencia al proyecto de compra	Toda el area de influencia	Compran los terrenos para la administracion del as comunidades por	Compra de Nacientes
Aprovechamiento de los desechos	Municipalidad de Dota	Santa María y Providencia	Utilizacion de desechos para construccion de infraestructuras.	Se practica en la elaboracion de aceras
Reciclaje, manejo de Desechos	Municipalidad de Dota	Santa María	Papel, Plastico, Vidrio, Aluminio	En coordinacion con CoopeDota y el colegio dota
Bandera Azul Cantonal	Municipalidad de Dota	Santa María	Reciclaje recurso Hidrico, educacion Ambiental, focos de contaminacion	Instituciones publicas, Cosevi, Coopedota, Cámara de Turismo

18. Sistema integrado de información para la observación, alerta, alarma, advertencia y respuesta temprana (SOAAAR) ante la amenaza de la inestabilidad de laderas

18.1 Ideas básicas para el establecimiento del sistema SOAAAR, para enfrentar las emergencias derivadas de la inestabilidad de laderas.

En adelante, se describen las ideas básicas para el establecimiento de un sistema SOAAAR, fundamentadas en la aplicación de la metodología Mora-Vahrson y el caso específico de Copey-Santa María, en la amenaza concatenada del deslizamiento con la inundación.

El concepto fundamental del sistema se basa, en primer lugar, en la consideración de la susceptibilidad las laderas y efectos, con sus parámetros y condiciones intrínsecas y pasivas (i.e. litología, relieve, humedad prevalente del suelo) y luego, la inclusión de la influencia de los factores desencadenantes externos y dinámicos.

Se pueden prever dos tipos de escenarios posibles, relacionados con la oportunidad temporal y disponibilidad anticipada del flujo de información necesario para alimentar el sistema.

- “Ex ante”, en el caso de las tormentas de lluvia, pronosticables, caracterizables mediante sus relaciones IDFV (intensidad, duración, frecuencia, volumen), ya sea en sus acumulaciones de 24 a 72 horas, o incluso también podrían ser las previsiones de las lluvias estacionales. Esto puede realizarse mediante la utilización, probabilística, con suficiente anticipación, de las isoyetas, hietogramas y/o funciones IDFV. Si hubiese recursos tecnológicos avanzados y disponibles, para el diagnóstico en tiempo real (i.e. radar meteorológico, imágenes satelitales, “nowcast”), para el pronóstico en el corto plazo, obviamente podría agregarse un beneficio adicional para mejorar el desempeño del sistema.
- "Ex post":
 - Tormentas de lluvias intensas recientemente sucedidas: Mediante el mismo tipo de información descrita, en la situación anterior, pero en este caso, deben aportarse los datos reales registrados, durante y/o inmediatamente después del evento, a la brevedad posible.
 - Justo después de un terremoto intenso, actualmente imposible de pronosticar: Se pueden utilizar los datos e información disponibles, rápidamente, de las intensidades, ya sea en la escala de Mercalli Modificada, aceleraciones pico del terreno, aceleraciones espectrales, respuesta dinámica del suelo, datos de los “mapas de reportes de sismo sentido” generados a partir de la aplicación “¿Lo sentiste?”, recabados por la Red Sismológica Nacional, u otros parámetros macrosísmicos disponibles.

Si estos datos e información se ponen a disposición, a su debido tiempo, sería posible obtener una distribución confiable, en el espacio y tiempo, de la influencia de los factores de disparo y de la manera cómo influyen, en la gestación de los incidentes de inestabilidad de laderas.

Por lo tanto, sería factible orientar, de esta manera, los procesos de toma de decisiones en la gestión de emergencias y desastres de una manera más informada: respuesta, alivio, asistencia, rehabilitación, reconstrucción, continuidad operativa y comercial, etc.

18.2. Participación de la comunidad en el sistema SOAAAR

Es claro que, aparte del diseño técnico, científico y tecnológico del SOAAAR, así como la participación de las instituciones nacionales (i.e. CNE, IMN, RSN, Cruz Roja, Ministerio de Seguridad Pública, etc.), es imperativa la participación de la comunidad y de los comités locales y municipales de emergencias.

El involucramiento comunitario debe considerar, al menos, los aspectos siguientes:

- i. Percepción y comunicación social del riesgo
- ii. Capacitación en los aspectos de la gestión local del riesgo
- iii. Observación de los indicios previos de la inestabilidad de laderas
- iv. Gestión del SOAAAR
- v. Organización para la respuesta
- vi. Manejo de la evacuación y albergues
- vii. Documentación de los incidentes

18.3 Consideraciones al someter un SOAAAR para la comunidad de Copey-Santa María y en San Isidro de Savegre

Los términos de referencia solicitan una propuesta y avance en cuento al establecimiento de un sistema de “alerta temprana”. Sin embargo y antes de proceder, deben señalarse algunos aspectos relevantes al respecto:

- a. La inestabilidad de ladera puede materializarse durante una variedad amplia de combinaciones de eventos hidrometeorológicos, sismológicos y geotécnicos, de intensidades tanto extremas, como también de intensidades menores.
- b. La aparición de indicios peligrosos de la inestabilidad de laderas puede, no necesariamente, coincidir con los eventos extremos, sino también luego de períodos transitorios, a lo largo de los cuales se alcanzan las condiciones críticas que rigen el Factor de Seguridad y su migración desde la condición estable ($FS > 1,0$), a la meta-estable ($FS \approx 1,0$) y, eventualmente, a la inestable ($FS < 1,0$), por lo que no es prudente concentrarse solamente en los eventos máximos de precipitación y sismicidad.
- c. Es claro que se requiere de una interacción estrecha entre la comunidad, la Municipalidad, los comités local y municipal para la gestión del riesgo, la CNE, la Red Sismológica Nacional y el Instituto Meteorológico Nacional.
- d. Debe aprovecharse la situación de que, en la localidad, se cuenta con estaciones climatológica, propiedad de ICE y AyA. Si bien en los sitios estudiados, se hará la separación de los requerimientos específicos,, y en el caso de que se requiera el calibrar para emitir señales y datos relacionados con los eventos, por ejemplo, para $TR \geq 25$ años. Igualmente, debe pensarse en el establecimiento de un umbral adecuado para las intensidades sísmicas.
- e. Por lo tanto, el sistema de comunicación se vuelve clave para que el Comité Local de Emergencias tenga acceso a la información en tiempo real.

Por la importancia del Sistema integrado de información para la observación, alerta, alarma, advertencia y respuesta temprana (SOAAAR), para el área de Copey y alrededores, en el Anexo 6, se incluye un perfil de proyecto, con objeto de buscar financiamiento,

-
- f. Un sistema de vigilancia continua, en el ámbito, local es factible sí y solo sí, se establece un sistema de comunicaciones eficientes, y el área de Copy-Sana María no tiene problemas de telefonía celular pero la de Savegre requiere de apoyo vía radio comunicación
 - g. Mientras se establece el sistema adecuado de comunicaciones para manejar las emergencias, debe establecerse un procedimiento alternativo de alarma fundamentado en el uso de las campanas de la iglesia, sirenas y de mensajería personal, con motociclistas u otros medios adecuados.
 - h. Eventualmente y para sustentar el establecimiento y confiabilidad del SOAAAR, es necesario considerar, en el futuro, la realización de un análisis geotécnico detallado de la masa deslizante, semejante a los que ya se han hecho en Puriscal, Tapezco, San Blas y otros casos. Esto incluye la realización de perforaciones, prospección geofísica, mediciones geodésicas de primer orden (GPS, interferometría LiDAR, etc.), ensayos de laboratorio (i.e. resistencia al corte), instalación de inclinómetros, piezómetros, cálculos y retrocálculos, escenarios probabilísticos, etc.
 - i. Es necesario tomar en cuenta la necesidad de establecer un protocolo de sostenibilidad del SOAAAR y de la instrumentación y nexos institucionales asociados, para garantizar su mantenimiento, vigencia y evitar su deterioro, como ha sucedido en otros lugares del país.

18.4 Lineamientos (medidas estructurales y no estructurales).

A partir de las amenazas analizadas: inestabilidad de ladera-escenarios de deslizamiento y modelación de un escenario de inundación derivada del rompimiento de una presa efímera, se incluyen medidas para incrementar la resiliencia que tienen como propósito el documentar al lector y a la vez el incorporar las misma, que son aplicables a las subcuencas analizadas.

Se debe dejar claro que las medidas siguientes aplican al caso de Copey-Santa María, en el tanto que para Savegre, con una condición crítica, se pueden aplicar algunas de las medidas, pero lo ideal es una reubicación hacia sitios seguros, de las personas que habitan el lugar y dejarlo para actividades temporales, sean de índole ecológica u otra actividad amigable con el ambiente.

Medidas estructurales:

Se identifican diferentes medidas estructurales

- En el caso de insuficiencia/deficiencia de las estructuras hidráulicas, los puentes se deben cambiar de tamaño (espacio hidráulico) a fin de aumentar su capacidad para resistir el tránsito de caudales extremos. Esta acción requiere de un afinamiento de los diseños fundamentado en la aplicación de la información hidro-climática e hidráulica.
- No se recomienda el uso de alcantarillas en lugar de puentes, debido a que por lo general son insuficientes y generan obstrucciones en el cauce de los ríos y quebradas. Esto también implica la necesidad de revisar los diseños de las obras actuales.

Recomendaciones basadas en la profundidad de la inundación.

- En el caso de los desbordamientos de menos de 0,5 metros de profundidad, se puede considerar:
 - Elevar el nivel de la construcción
 - El uso de sacos de arena para proteger los edificios.
 - El uso de tuberías y sistemas eléctricos a más de 0,75 m.
- En el caso de desbordamiento de 0,5 a 1 metro:
 - Elevar el nivel de la construcción
 - Uso de puertas resistentes al empuje del agua
 - Uso de ventanas con una altura mínima de 1,3 metros.
 - El uso de tuberías y sistemas eléctricos a más de 1,25 m.
- En el caso de desbordamiento de 1 a 1,5 metros:
 - El uso de casas de dos pisos. La función de la planta baja debe ser secundario.
 - Uso de pilotes para las casas.
 - El uso de materiales de alta resistencia.
- En el caso de desbordamiento de 1,5 a 2 metros.
 - Reubicación de viviendas.
 - El uso de las casas sobre pilotes.
 - Introducción de edificios de varios pisos, con una planta baja secundaria.
 - Construcción de refugios en alto
 - El uso de materiales de alta resistencia
- En el caso de desbordamiento más de 2 metros.
 - Declaración de la zona inhabitable.
 - Declaración de zona de protección.
 - Demolición de edificios en alta amenaza

Medidas no estructurales:

- Introducción de un procesos para el reordenamiento territorial y cambios en el uso de la tierra, lo que desalienta la construcción en las zonas de inestabilidad de laderas y en las zonas inundables.
- Programas para la gestión de residuos sólidos.
- Aplicación de un código de construcción de alta resistencia y seguridad a las inundaciones.
- Introducción y operación confiable del SOAAAR.
- Captación del agua de lluvia en las casas y fincas, para satisfacer diferentes necesidades humanas y agropecuarias y para reducir el flujo, aunque sea de manera modesta.
- Programas formales e informales de educación ambiental, gestión de los residuos sólidos y para conocer el riesgo con que se convive.
- Introducción y aplicación de un proceso seguro que desalienta el desarrollo en áreas propensas a inundaciones y deslizamientos.
- Promover planes de manejo de la ASP en forma conjunta entre el SINAC y la Municipalidad de Dota

Los lineamientos se hacen desde las perspectivas:

a) Degradación ambiental - manejo de desechos sólidos

Esta es una temática que se debe retomar por las autoridades respectivas, Municipalidades, Ministerio de Salud, otras relacionadas como el Ministerio de Educación, así como ONGs, sector privado y la población en general.

b) Gestión del riesgo

Por el tipo de amenazas que se presentan en el área de interés, las acciones deben tomarse:

- Las acciones preventivas, tanto para los casos de la inestabilidad de laderas como para los eventos climáticos extremos que producen inundaciones, deberán enfocarse con un ordenamiento territorial adecuado, donde se debería impulsar un manejo eficiente de los usos de la tierra.
- El intento de detener materialización de las amenazas de inundación e inestabilidad de laderas mediante barreras o diques, aparte de ser soluciones costosas, no es una solución recomendable ni durable.
- La mejor medida preventiva es la aplicación de los preceptos del ordenamiento territorial, fundamentados en la gestión del riesgo.
- Para el caso de la infraestructura crítica, en el apartado de las líneas vitales (caminos, redes eléctricas, distribución de agua), se requiere contar con la disponibilidad de maquinaria que actúe eficientemente al presentarse una emergencia.

c) Trámites de construcción – plan regulador

Una de las principales competencias que poseen las municipalidades está referida a la planificación y control del desarrollo urbano, dentro de los límites jurisdiccionales de su territorio.

El plan regulador ha sido el principal instrumento técnico y jurídico de que disponen las municipalidades para ejercer esas competencias. Idealmente, toda municipalidad debería poseer su propio plan regulador; también idealmente, estos deberían elaborarse teniendo en cuenta el contexto y marco regional y las realidades nacionales. La Municipalidad debe incorporar la variable de las amenazas naturales, la vulnerabilidad y la gestión del riesgo en el plan regulador.

d) Deterioro de infraestructura urbana-mantenimiento y mejoras comunales.

En el caso específico de la red vial, el mantenimiento continuo a las vía de comunicación es fundamental. Debe considerarse también, como prioritario, el mantenimiento de los sistemas de drenaje y la limpieza general de los cauces, para evitar que los puentes y alcantarillas se conviertan en obstáculos al flujo normal del agua.

e) Salud-educación

Es muy importante incluir a la Gestión del Riesgo en las actividades cotidianas de la comunidad. Para ello, se pueden introducir programas informales y formales dirigidos a los diferentes estratos de la población, con énfasis en los sistemas escolares.

f) Escenarios de intervención del Gobierno y la Municipalidad, sobre las causas y efectos para reducir el riesgo.

La herramienta de los Planes Reguladores, dotadas del enfoque de la Gestión del Riesgo, debe constituirse en una herramienta valiosa para la Municipalidad y el SINAC, dada las condicionantes de los municipios y de la presencia de áreas silvestres protegidas.

19. Conclusiones

Fueron utilizadas fuentes nuevas de datos e información, a escala 1:5 000, en cuanto a la cartografía disponible y otras temáticas, con lo cual fue constituida una base de datos actualizada que puede ser de gran utilidad para realizar y actualizar el Plan de Manejo que debe llevar a cabo el SINAC, en el área de la zona protectora.

Fueron verificadas y cotejadas diversas fuentes de información geológica disponibles en el área. Igualmente, fueron corroboradas y confirmadas durante el trabajo de campo. Con base en esto se ha propuesto un modelo geológico actualizado, el cual fue aplicado en la metodología Mora&Vahrson

Se elaboraron los factores de susceptibilidad y los mecanismos de disparo de la metodología Mora&Vahrson, con la novedad de definir los parámetros de manera continua, para adaptarlos mejor a la realidad de los sitios y al comportamiento natural de las laderas.

Se determinaron diferentes escenarios de inestabilidad de laderas, usando diferentes escenarios de disparo. Por ejemplo, el disparo por lluvia se asoció con un evento de 24 horas y para un período de recurrencia de 100 años. Además, se aplicaron varios escenarios de disparo sísmico, considerando períodos de recurrencia de 500, 1000 y 1500 años.

Se produjeron varias versiones de los mapas de la amenaza de la inestabilidad de laderas, los cuales deberán utilizarse durante el proceso de planificación territorial y de formulación y actualización del Plan Regulador Municipal del cantón de Dota.

Fue calculado el volumen del deslizamiento principal, tanto en las cercanías de la Quebrada Escuadra como en la parte alta de río Blanco en Savegre, en alrededor de 10 y de 60 millones de metros cúbicos, lo cual lo cataloga como uno de los más grandes de Costa Rica. A la gestión del riesgo, en relación con este deslizamiento, deberá ser consecuente con sus dimensiones y sus aspectos relacionados con su situación en tanto que amenaza y según sus aspectos derivados de la vulnerabilidad de los elementos expuestos en su interior.

Fue realizado un análisis de la exposición de los elementos locales, ubicados en el interior del área del deslizamiento principal en estudio. Con base en ello se realizó una estimación provisional de los daños posibles.

Se realizó un análisis de divergencia del uso de la tierra con respecto a la utilización óptima de los recursos naturales en esta región. Esto también permitió tomar en cuenta su relación con la exposición a la amenaza de la inestabilidad de laderas. Con base en este tipo de análisis es posible definir las áreas más seguras y la forma de establecer una convivencia segura con la amenaza.

Fue realizada una zonificación territorial preliminar de ambas áreas estudiadas, la cual deberá ser tomada en cuenta durante la formulación del Plan Regulador Municipal.

Fueron incluidas, además, las propuestas preliminares para las estrategias de protección en el corto, mediano y largo plazo,

Se ofrecen, también, recomendaciones generales para la implantación de un sistema integrado de información para la observación, alerta, alarma, advertencia y respuesta (SOAAAR) ante la amenaza de la inestabilidad de laderas en este sitio.

Es posible considerar que para el caso de Copey Santa María, por la cercanía y la vigilancia futura propuestas para el sitio, sería posible actuar rápidamente con maquinaria para habilitar el paso del agua y evitar que se produzca un evento máximo, por esta razón en la zonificación se presentó el evento para PR=25 años.

20. Referencias

- Alfaro, A., Denyer, P., Alvarado, G.E., Gazel, E. & Chamorro, C., 2018: Estratigrafía y petrografía de las rocas ígneas en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. – Revista Geológica de América Central, 58: 7-36.
- Alvarado, G.E. & Gans, P.B, 2012: Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. – Revista Geológica de América Central, 46: 7-122.
- Arias, O. & Denyer, P. , 1990: Geología de la hoja Carraigres. Instituto Geográfico Nacional, 1 hoja escala 1:50 000.
- Barrantes R., J. 2002. Geología y Macrozonificación de la Amenaza por Deslizamiento. Preparado para el estudio de Riesgo Integral de la Cuenca del Río Savegre. DISEÑO-PSA-ICE.
- Barrenechea, J. 1999. "Herramientas metodológicas para la gestión integral de riesgos ambientales." PIRNA - Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente tomado de internet: www.filo.uba.ar/institutos/geografia/home.htm
- Basterrechea, M., Dourojeanni A, García L., Novara J. y Rodríguez R 1996. Lineamientos para la preparación de proyectos de manejo de cuencas hidrográficas para eventual financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D.C.
- Basterrechea, M., Saborío J., González A. 2001. Análisis de Riesgo e Impacto de Eventos Generadores de Desastres en las Cuencas Hidrográficas, CATIE - BID (1147/OC-GU) – MAGA. Guatemala.
- Chacón R., 2002. Aspectos Climáticos Relacionados con la Distribución Temporal y Espacial de la Precipitación en la Cuenca del Río Savegre. Preparado para el estudio de Riesgo Integral de la Cuenca del Río Savegre. Estudios Básicos-PSA-ICE.
- Climont M. A., Barquero P. Rafael, Alvarado I., Guillermo. 2002. Amenaza Sísmica en el Marco del Riesgo Integral de la Cuenca del Río Savegre. CGA-PSA-ICE.
- Cordero Calderón F., Hernández Artavia M., Agüero Ureña G., Villalobos Arce J. 2001 Plan de Incendios Forestales 2002-2002.
- CRED, (Centre for Research on the International Centre for Training and Epidemiology of Disasters Exchanges in the Geosciences), 1997. Diagnóstico Previo al Plan de Acción DIPECHO para América Central y el Caribe. Disaster Preparedness Programme European Commission Humanitarian Office (DIPECHO). Université Catholique de Louvain. En Internet: <http://www.cred.be/centre/publi/142s/ch3.htm>.
- Denyer, P. & Alvarado, G.E., 2007: Mapa Geológico de Costa Rica. – Escala 1:400 000. Librería Francesa S.A., San José.
- Denyer, P., & Arias, O., 1991: Estratigrafía de la Región Central de Costa Rica. – Revista Geológica de América Central, 12: 1-59

- Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G.E., 2003: Atlas Tectónico de Costa Rica. – 81 págs. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José.
- Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G.E., 2009: Atlas Tectónico de Costa Rica. – 2ª edición, 55 págs. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José.
- Diccionario de la Lengua Española (Decimonovena: 1974).
- Huffman, j. g., 1997. Estimaciones del error medio cuadrática aleatorio para muestras finitas de precipitación estimada. J. Appl. Meteor.(1191 - 1201).
- Huffman, j. g., R.F. Adler, Rudolf B., u. Schneider y P.R. Keehn,, de 1995. Estimaciones de precipitación global basadas en una técnica para combinar las estimaciones basadas en satélites, análisis pluviómetro e información de precipitación del modelo NWP. Clima de j. 8(1284-1295).
- Huffman, j. g., R.F. Adler, p. Arkin, A. Chang, r. Ferraro, A. Gruber, j. Janowiak, A.
- MacMillan, I., Gans, P.B. & Alvarado, G., 2004: Middle Miocene to present plate tectonic history of the southern Central American Volcanic Arc. – Tectonophysics, 392: 325-348.
- McNab, Rudolph B. y u. Schneider, 1997. El proyecto de climatología de la precipitación global (GPCP) combina conjuntos de datos de precipitación. Toro. Amer. Meteor. Sócrates 78:5-20.
- Maidment, David R. 2002. Ed. Arc Hydro: GIS for Water Resources, ESRI Press.
- Marshall, J.S., Idleman, B.D., Gardner, T.W. & Fisher, D.M., 2003: Landscape evolution within a retreating volcanic arc, Costa Rica, Central America. Geology, 31, 5:419-422.
- Madrigal, C. 1996, Efectos del Huracán César sobre la región que incluye el PH. Los Llanos. Publicación interna ICE.
- Madrigal, J. 2002. Material de campo recopilado después del huracán Cesar en 1996, por Comisión Nacional de Emergencias.
- Mays, Larry W. Water Resources Engineering. 1st ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 2001.
- Mora, S. 2000. Presentación acerca de riesgos, en Reunión Latinoamericana de Riesgos. New Orleans.
- Obando, L.G. & Murillo, S., 2019: Ocurrencia de yugawaralita (zeolita) en Copey de Dota, Costa Rica. - Revista Geológica de América Central, 61: 121-130.
- OEA. 1991 Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños, en Internet:
<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea57s/begin.htm#Contents>
- OEA. 1993 Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado, en Internet:
<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch06.htm>

- OIKOLOGICA, 2018. Metodología ambiental para Planes de Ordenamiento Territorial, tomando en cuenta el Calentamiento Global Antropogénico (MECSA-POT), para la SETENA y Dirección de Cambio Climático.
- Rojas N. 2011. Estudio de Cuencas Hidrográficas de Costa Rica. MINAET, IMN y PNUD. Costa Rica. 19 p.
- Ruiz Rodríguez y Zeisler. FloodArea – User Manual. Geomer GMBH. Wiesbaden. 2003.
- Saborío B., J. Estudio de Erosión Potencial en la Cuenca del Río Savegre. Preparado para el estudio de Riesgo Integral de la Cuenca del Río Savegre. CGA-PSA-ICE.
- Saborío B, J., 2000. Presentación personal acerca de Ordenamiento Territorial, presentada en MAGA y FLACSO, Guatemala.
- Saborío J; Saborío MdM; Mora, S. (2015). Normas y elementos básicos para la gestión municipal del riesgo, su control y regulación territorial. https://www.researchgate.net/publication/283420939_Normas_y_elementos_basicos_para_la_gestion_municipal_del_riesgo_su_control_y_regulacion_territorial
- Saborío J; Saborío MdM; Mora, S. (2015). Gestión municipal del riesgo: Normas y elementos básicos para su inclusión en la planificación y aprovisionamiento presupuestal municipal. https://www.researchgate.net/publication/283420780_Gestion_municipal_del_riesgo_Normas_y_elementos_basicos_para_su_inclusion_en_la_planificacion_y_aprovisionamiento_presupuestal_municipal
- Snyder, F. 1938. SYNTHETIC UNITGRAPHS. Transactions American Geophysical Union. AGU. Vol 19. 1938.
- Sojo, D., Denyer, P., Gazel, E. & Alvarado, G.E., 2017a: Geología del cuadrante Tapantí, Costa Rica. – Revista Geológica de América Central, 56: 83-116.
- Sojo, D., Denyer, P., Gazel, E. & Alvarado, G.E., 2017b: Mapa geológico del cuadrante Tapantí, Costa Rica. – Serie: Colección de mapas geológicos N° 13, Revista Geológica de América Central, 56, Escala 1:50 000, 1 hoja.
- Srinivas E., Eastman R. y otros. 1994. Applications in Hazard Assessment and Management UNITAR.
- Ureña M., 2002. Diagnóstico de la vulnerabilidad socioeconómica, cultural, uso de la tierra e infraestructura”. Preparado para el estudio de Riesgo Integral de la Cuenca del Río Savegre. CGA-PSA-ICE.
- Saborío J. et all. Estudio de riesgo integral de la cuenca del río Savegre. CGA-PSA-ICE. San José. 2003.
- Wilchex C., 1993. Vulnerabilidad Global en La Red “Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina”
- WMO 1995. Comprehensive Risk Assessment for Natural Hazards. 92 p.

Anexo 1- inestabilidad de laderas en Copey-Santa María

A1.1 Amenaza de la inestabilidad de laderas en Copey-Santa María

A1.1.1 Factor de susceptibilidad por la pendiente del terreno

A partir del modelo numérico del terreno, a escala 1:5.000, fueron obtenidas las pendientes del área de Copey-Dota, expresadas en grados y que se muestran en la Figura A3-1, la pendiente máxima es de 70,39 grados, la mínima es 0, con una endiente promedio de 19,58 grados. Dichas pendientes fueron reclasificadas de acuerdo con el Cuadro A3-1 y con el fin de obtener el Factor de Susceptibilidad por Pendientes (Sp), el cual puede visualizarse en la Figura A3-2.

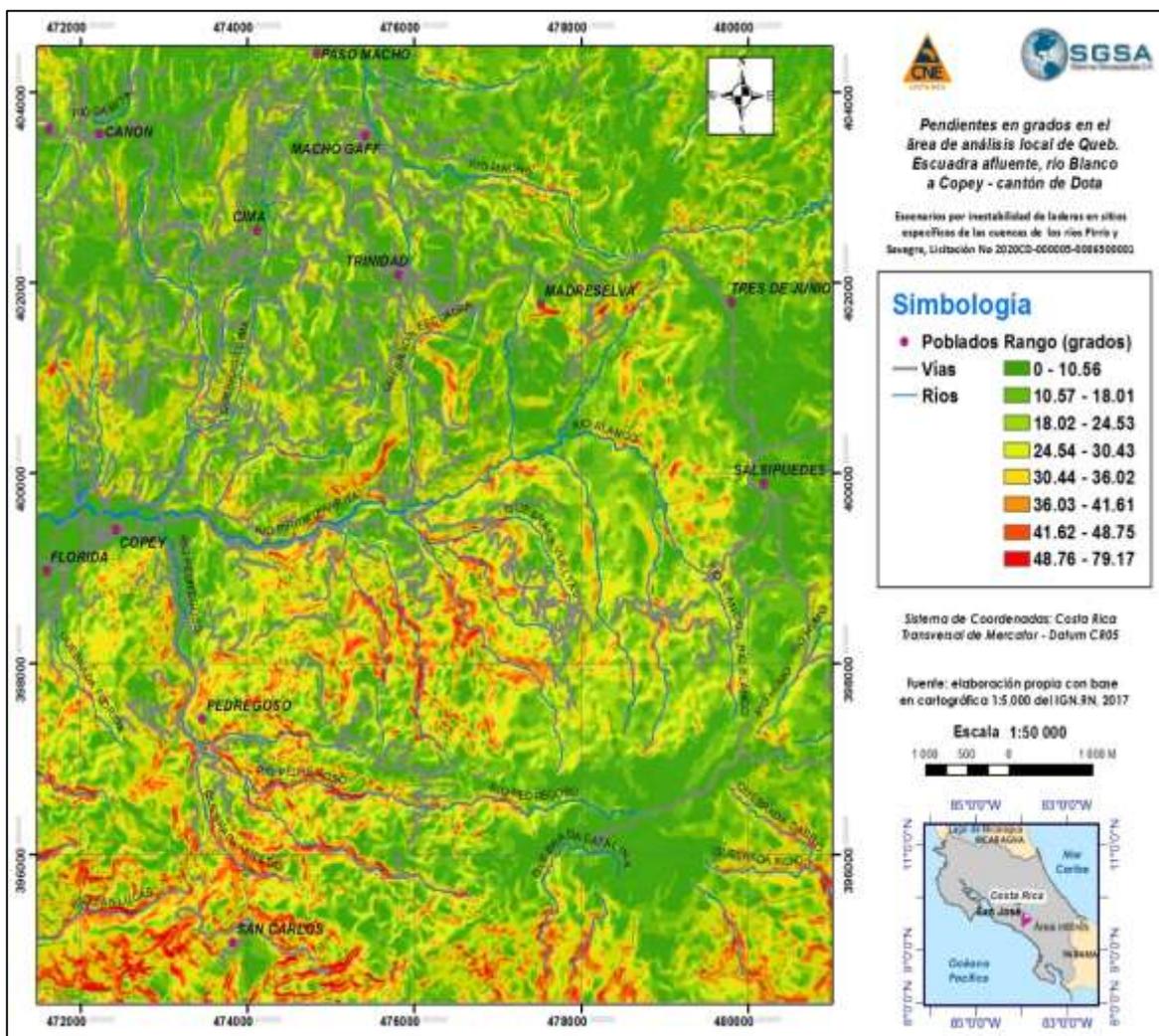


Figura A1- 1. Pendientes, en grados, en el área de Peñas Blancas

Fuente: Metodología Mora&Vahrson, a partir de MNT derivado de IGN/RN, 2017.

Cuadro A1-1. Valores para obtener el factor SP, a partir de las pendientes en grados

Rango grados	Valor SP	Descripción
0 – 2	0	Nulo
1 – 9	1	Muy bajo
10 – 18	2	Bajo
20 – 28	3	Medio
30 – 40	4	Elevado
Más de 40	5	Muy Elevado

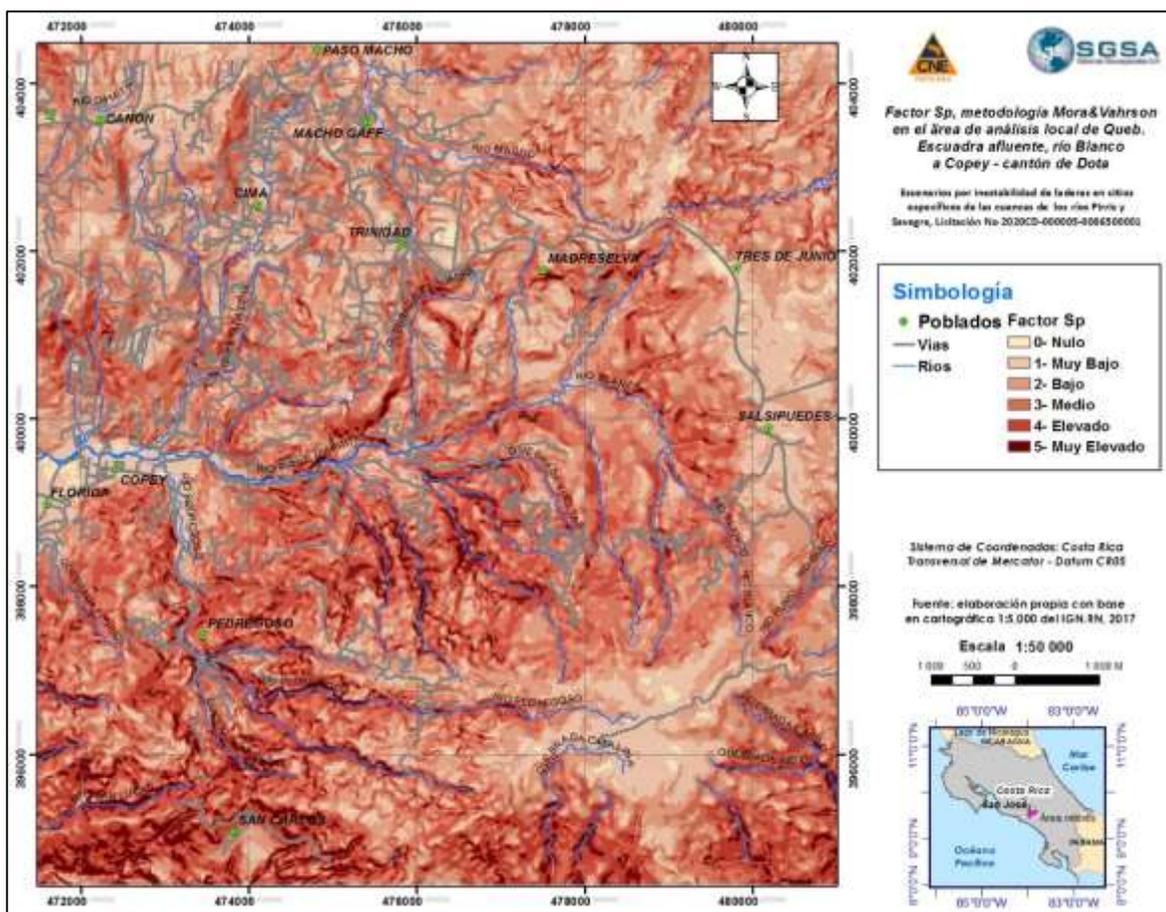


Figura A1- 2. Factor de pendientes (Sp) método Mora&Vahrson área de Peña Blancas
Fuente: Metodología Mora&Vahrson, reclasificado a partir de MNT derivado de IGN-RN, (2017).

Otra forma para calcular el factor de las pendientes es a través de una función cuadrática, que debe contar con condicionantes: partir de 0 y debe tener un límite máximo, para esto se ha fijado en 55 grados que representa aproximadamente 150 %, de acuerdo con la Figura A3-4 y para considerar una función cuadrática, con valore entre 0 y 5, acotando los valores mayores a 40 grados al valor de Sp 5. En la Figura A3-5 se incluyen los cálculos

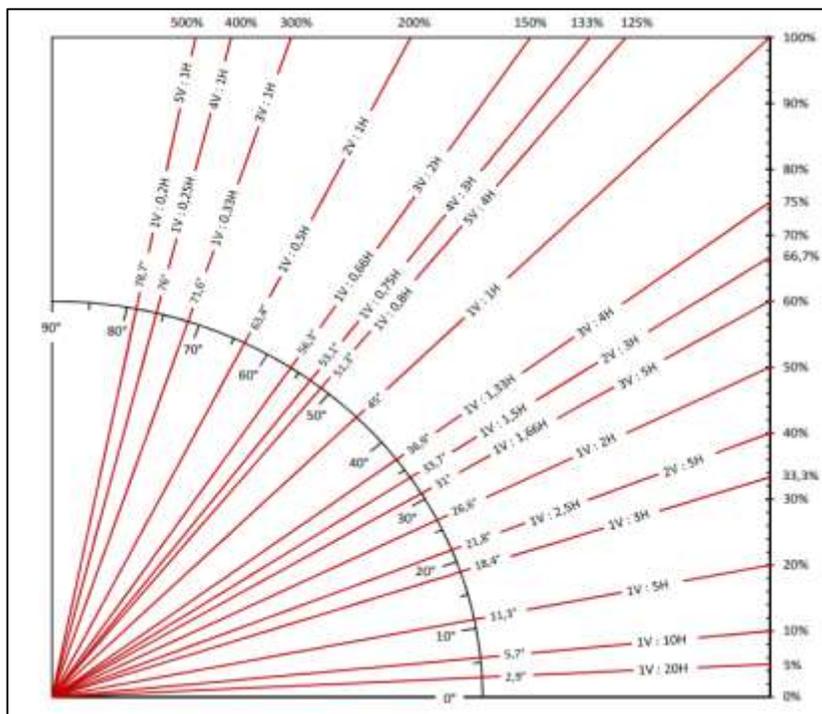


Figura A1- 3. Relación de grados pendientes y porcentajes²

Calificación	Rango (°)	Representa
0= Nulo	2	0 - 2
1=Muy bajo	9	2 - 9
2=Bajo	18	9 - 18
3=Medio	28	18 - 28
4=Elevado	40	28 - 40
5=Muy Elevado	55	> 40

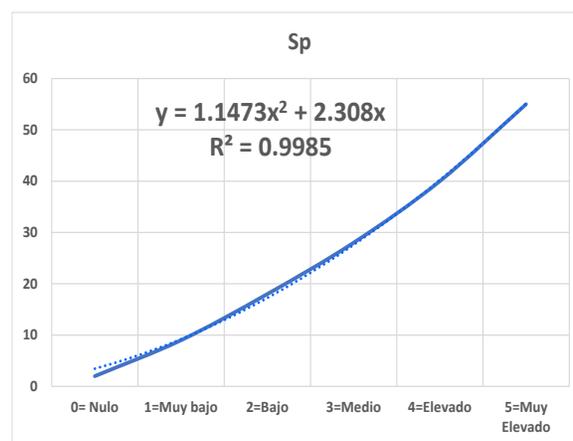


Figura A1-1. Determinación de la ecuación entre las pendientes en grados y el factor Sp

² Tomado de [http://enriquemontalar.com/wp-content/uploads/Esquema-Talud-Grados-Pendiente-
Porcentaje.pdf](http://enriquemontalar.com/wp-content/uploads/Esquema-Talud-Grados-Pendiente-Porcentaje.pdf)

La solución a la ecuación se logra por medio de la relación siguiente:

$$Sp = \frac{-2.308 + (2.308^2 + 4 * 1.1473 * P_{\text{grados}})^{0.5}}{2 * 1.1473}$$

En la Figura A3-6, se incluye el factor Sp, calculado de acuerdo con esta ecuación.

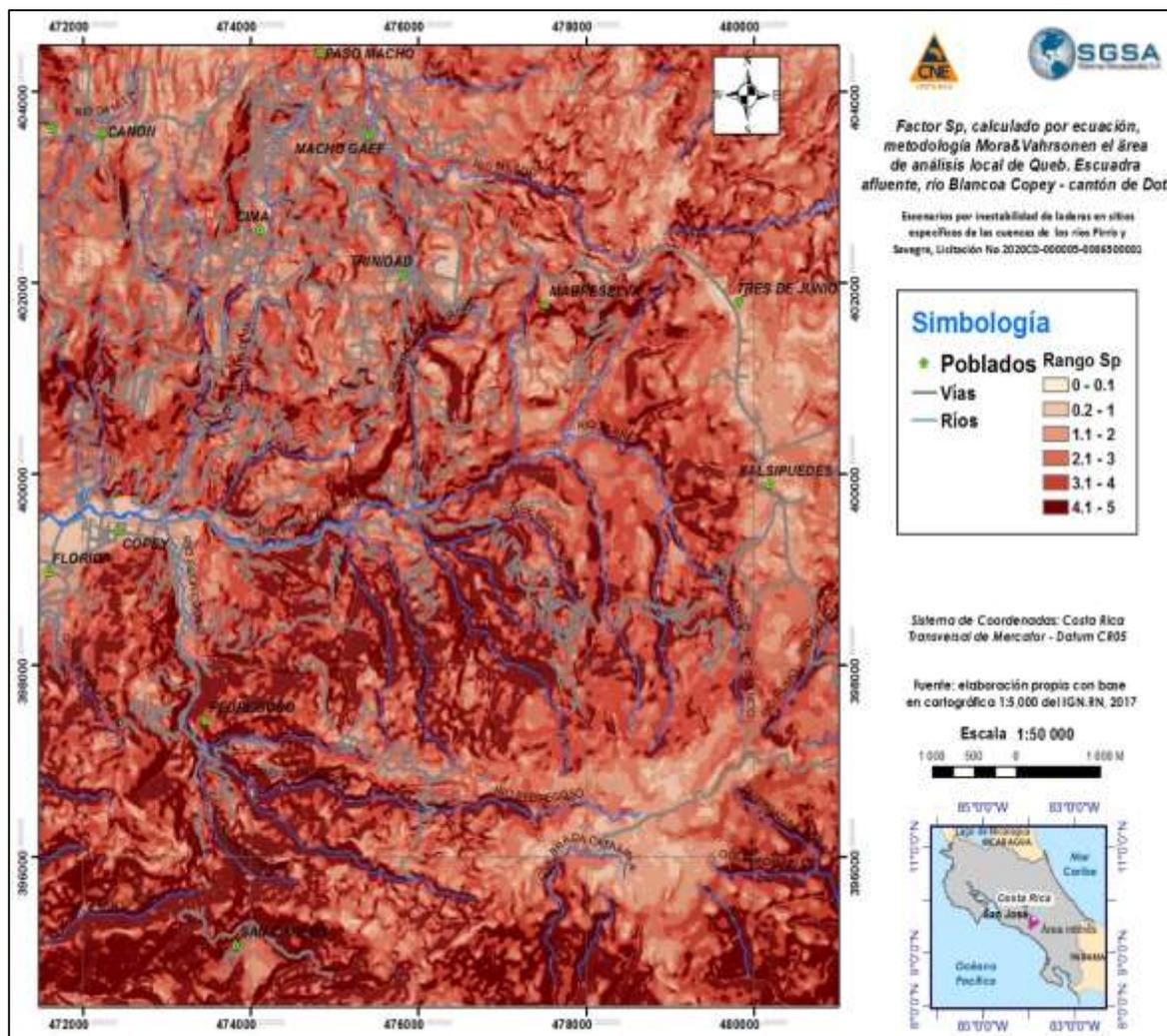


Figura A1- 4. Factor Sp, calculado a través de la ecuación cuadrática deducida.

A1.1.2 Factor de susceptibilidad, obtenido por el índice del relieve relativo (Sr)

A partir del modelo de numérico del terreno (pixel 2 metros, Figura A3-7, se ha producido el mapa de relieve relativo (Rr= Mayor diferencia de elevación por unidad de área; m/Ha) y que se muestra en la Figura A3-6. La deducción de la ecuación y los rangos se presenta en la Figura A3-7. Este mapa se puede reclasificar de acuerdo con el Cuadro A3-2, o bien aplicar la ecuación cuadrática, para deducir el Factor de susceptibilidad a partir del índice de Relieve Relativo (Sr) del método Mora & Vahrson y aplicado la ecuación, el cual se muestra en la Figura A3-8.

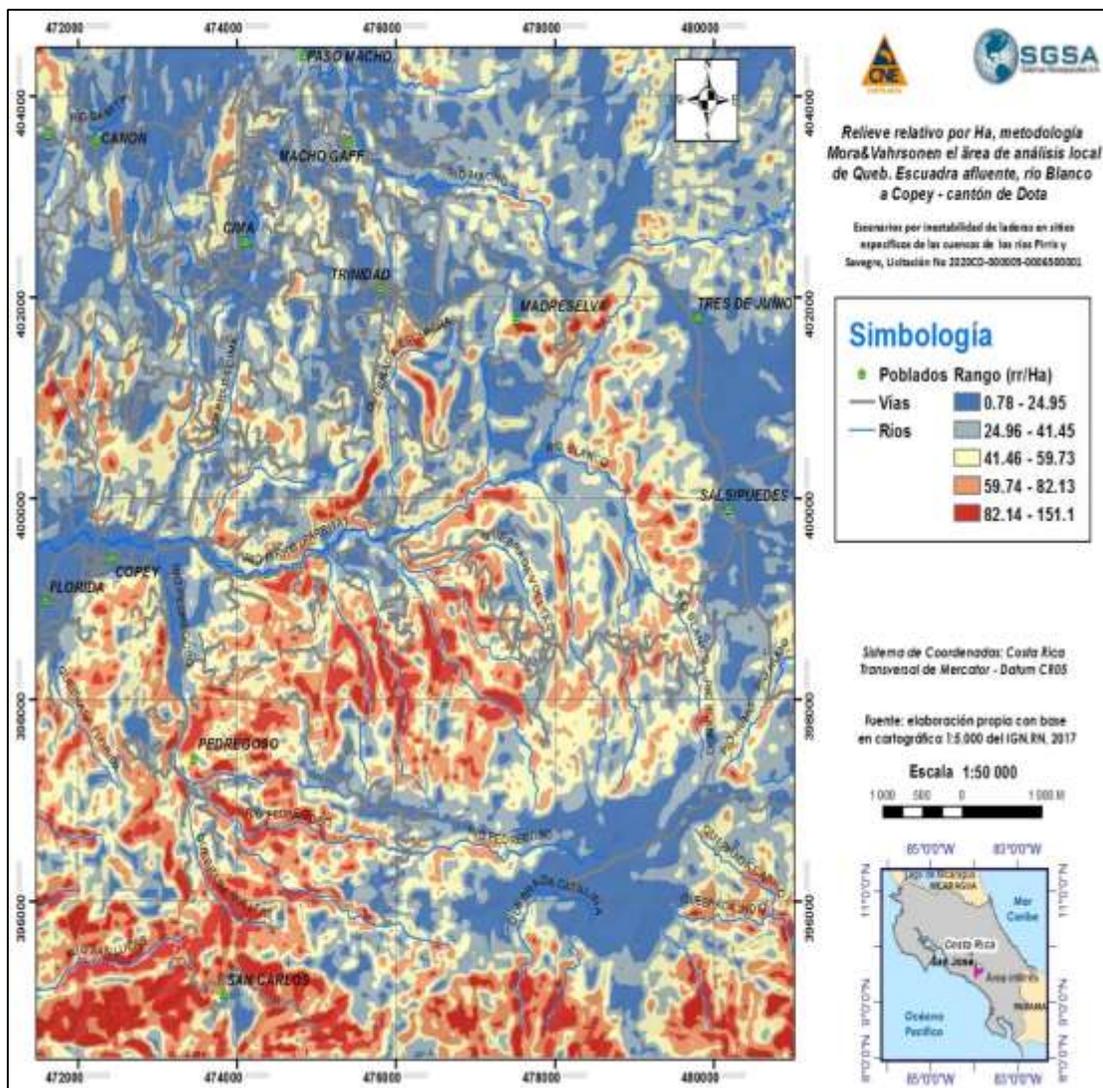


Figura A1- 5. Relieve relativo del área Copey- Santa María
 Fuente: Metodología Mora&Vahrson, a partir de MNT derivado por Hao de IGN-RN, 2017.

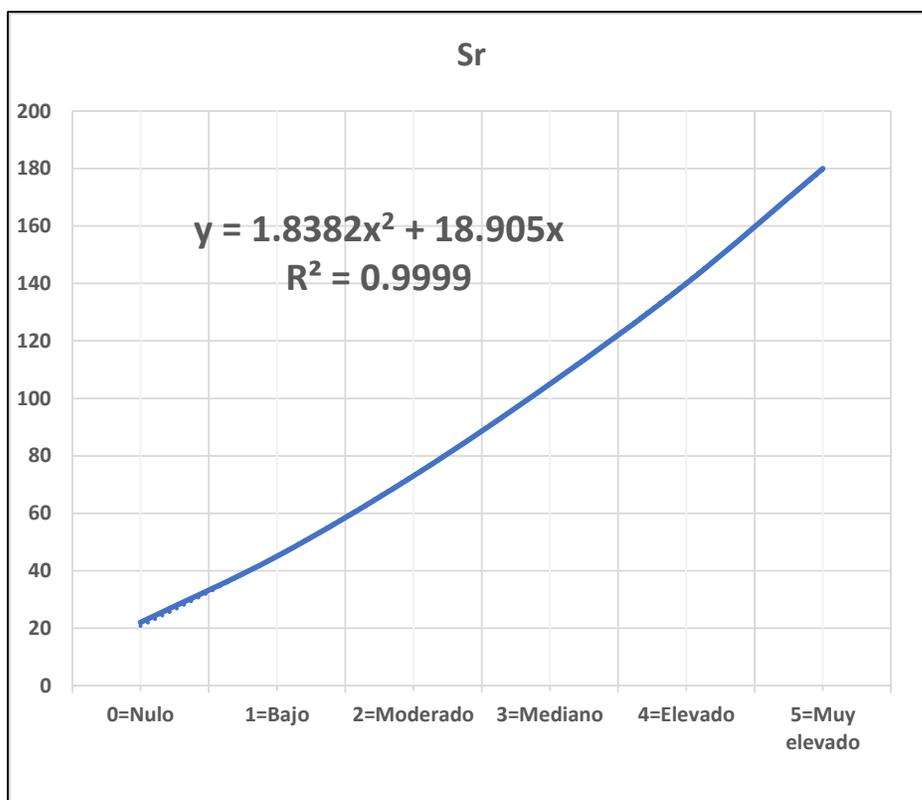


Figura A1- 6. Ecuación para reclasificar el relieve relativo al rango de 0 a 5

Cuadro A1-2. Valores para obtener el factor Sr, a partir del relieve relativo (m /-Ha)

Calificación	Rr (m/ha)	Representa
0=Nulo	25	0-25
1=Bajo	45	20 - 45
2=Moderado	73	45 - 73
3=Mediano	105	73 - 105
4=Elevado	140	105 - 140
5=Muy elevada	180	> 140

El factor del relieve relativo se muestra en la Figura A3-9.

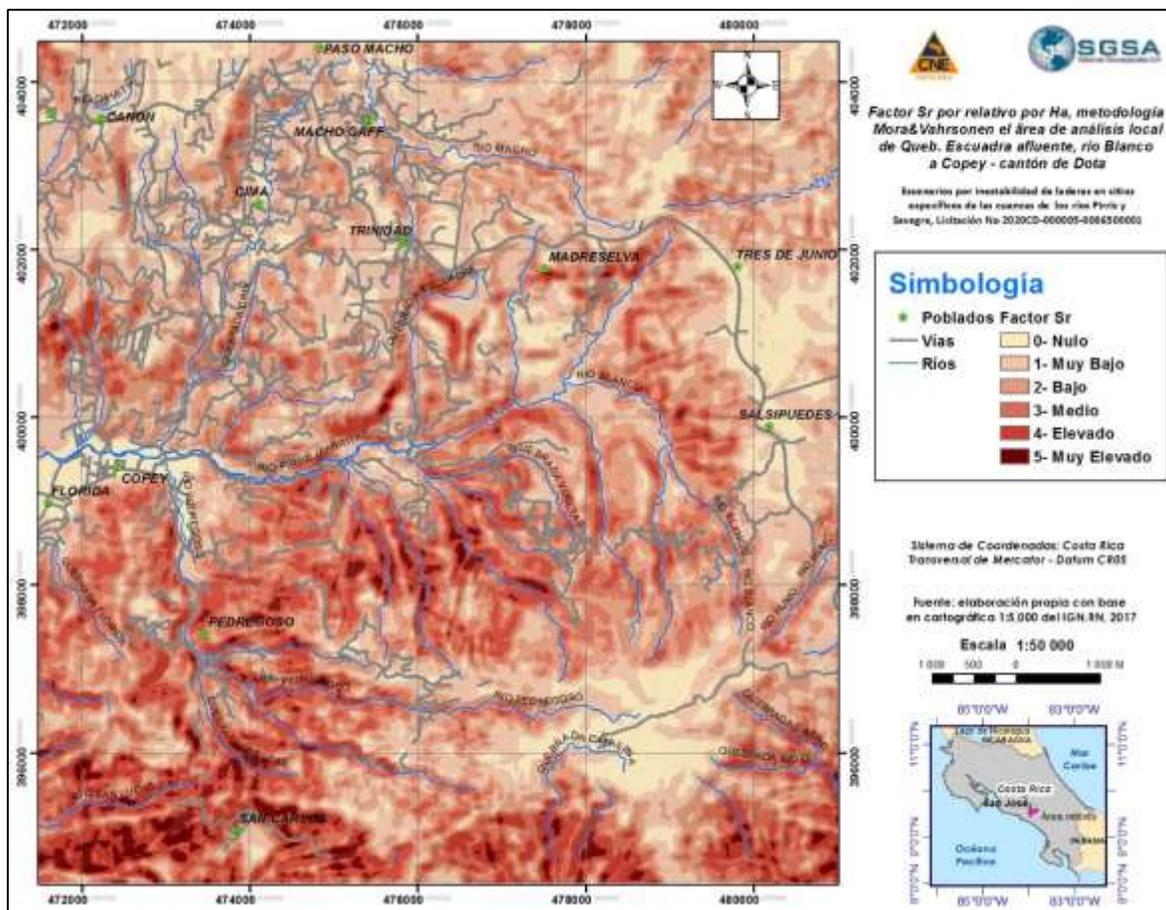


Figura A1- 7. Factor de relieve relativo (Sr), método Mora&Vahrson – área de Copey- Santa María
Fuente: Metodología Mora&Vahrson, a partir de MNT derivado de IGN-RN, 2017

Generalmente, debe elegirse entre los factores de Sp y Sr, según tengan una mejor representatividad espacial de las condiciones de la susceptibilidad a la inestabilidad de laderas en cada región específica. Por la forma de calcularse, el resultado del factor del relieve relativo tiende a realizar agrupamientos de los valores en áreas mayores que el factor de las pendientes, en el tanto que este factor se concentra en los detalles, sobre todo en cauces, riscos o cambios intensos de las pendientes del terreno.

Para considerar el efecto combinado de Sp y Sr, dado que ambos factores presentan rangos estandarizados de 0 a 5, el análisis de máximos, pixel por pixel y al comparar las dos variables Sp y Sr, se escoge el máximo valor de cada factor, lo que representa una condición máxima derivada de las características del relieve del terreno. El factor máximo (Sp, Sr), se muestran en la Figura A3-9. En el caso de **Copey- Santa María** se escogió Sp para el análisis de la susceptibilidad de laderas.

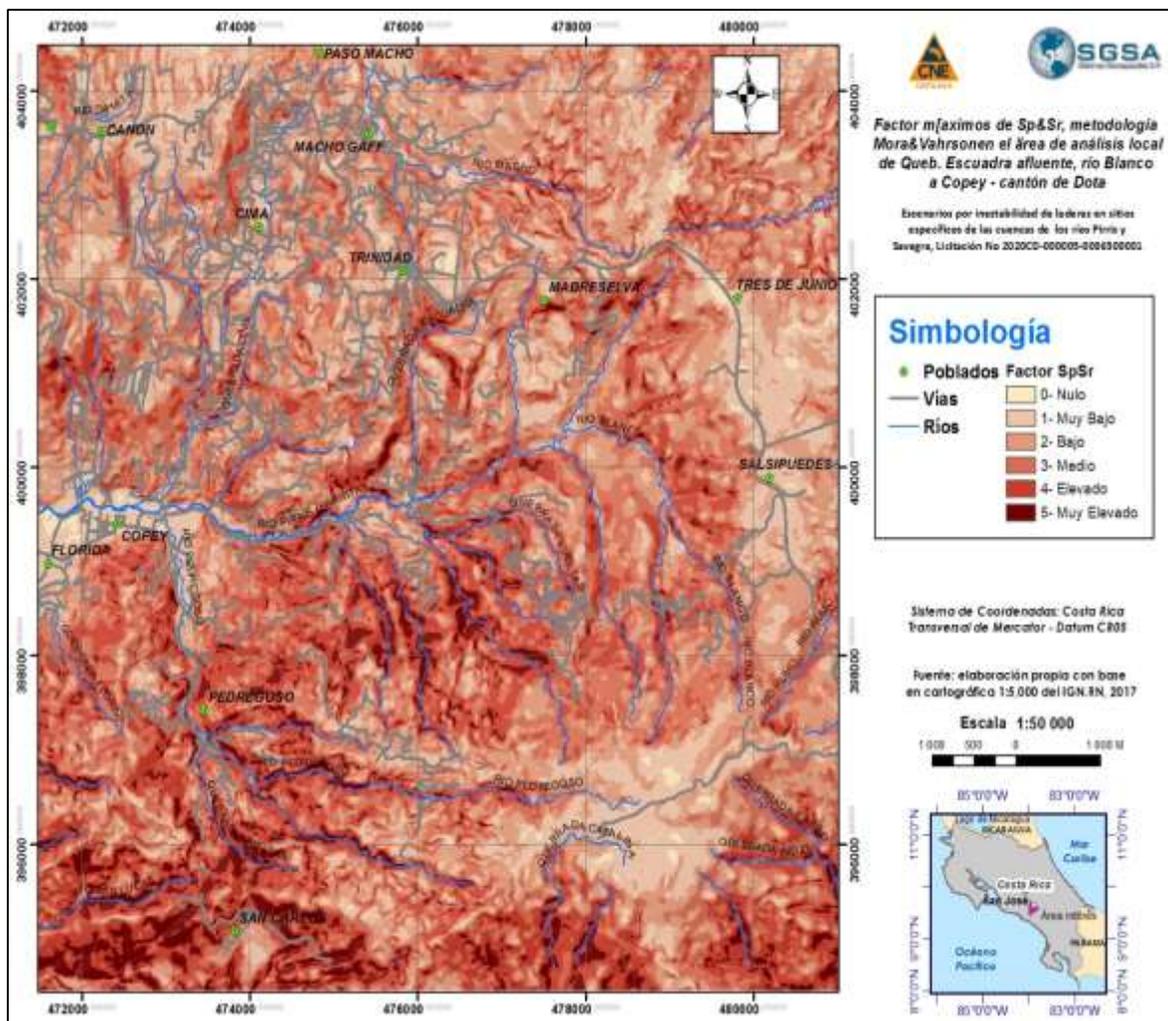


Figura A1- 8. Factor de relieve relativo (Sp & Sr), método Mora&Vahrson – área de Copey- Santa María

Fuente: Metodología Mora&Vahrson, a partir de MNT derivado de IGN-RN, 2017

A1.1.3 Factor litológico (SI)

El Factor de Susceptibilidad Litológica (SI), del Método Mora & Vahrson se obtiene a partir de la reclasificación determinística (“opinión de experto”) de las características geotécnicas de las litologías presentes en el área de estudio. En el Cuadro A3-3 se incluyen las características y descripciones de las litologías y los criterios con los que han sido asignados los valores del factor litológico (SI), con las consideraciones específicas para la región de Peñas Blancas.

Cuadro A1-3. Clasificación del factor SI para Copey- Santa María
METODOLOGÍA MORA-VAHRSON (1994) - MACROZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA DE LA INESTABILIDAD DE LADERAS
 Debido a la dimensión de los afloramientos rocosos, usualmente restringida en tamaño, se toma en cuenta la capa superficial del terreno, en los 5 m superiores.

Símbolo y litología	Composición y condiciones físico-mecánica e hidrogeológicas	Descripción y espesor del suelo (residual y/o transportado) y de la biomasa	Factor SI y calificación
Q-al: Aluvión fluvial, Cuaternario	Cantos, gravas, arenas, limos; pobre a parcialmente consolidados y compactos; resistencia al corte, moderada a baja; nivel freático somero (<2 m), drenaje moderado a elevado. Posibilidad de licuefacción sísmica durante eventos intensos.	Suelos húmicos delgados (<1 m) y de desarrollo moderado.	<ul style="list-style-type: none"> • SI=4,50: Elevada susceptibilidad a la inestabilidad de laderas.
Q-dcol: Depósitos de deslizamientos y coluvios	Bloques, cantos, gravas, arenas, limos (arcillas cuando hay suelos residuales-regolitos) poco a parcialmente consolidados y remoldeados; resistencia al corte baja a muy baja y/o residual. Nivel freático somero a poco profundo (≤ 1 a 5 m), variable a relativamente profundo (10-20 m en áreas relativamente distales del depósito). Posibilidad de licuefacción sísmica durante eventos intensos.	Suelos húmicos delgados (<1 m) y de desarrollo moderado.	<ul style="list-style-type: none"> • SI=4,25: Alta (cortes y laderas ≤ 3 m) a elevada [SI=4,75] (cortes > 3 m) susceptibilidad a la inestabilidad de laderas.
Nga-v, lavas, tobas y brechas volcánicas, Fm. Grifo Alto, Mioceno Superior - Plioceno	Rocas duras a medianamente blandas; medianamente meteorizadas y alteradas; fracturas-diaclasas poco densas. Nivel freático medianamente profundo (≥ 12 m).	Suelos húmicos medianos (≥ 3 m), con regolitos de desarrollo moderado a elevado; se observan sectores con alteración hidrotermal. En ocasiones se aprecian paleosuelos "quemados" y metamorfismo óptico y sectores menores con alteración hidrotermal.	<ul style="list-style-type: none"> • SI=3,0: Moderada susceptibilidad a la inestabilidad de laderas. • Cuando hay alteración hidrotermal SI=3,75. • Sus suelos residuales y coluvios diferenciados: SI=4,25 suprayacentes (cuando >2 m)
Mit-gr, granitoides varios, Intrusivo de Talamanca, Mioceno Superior	Rocas duras; afloramientos masivos a poco fracturados muy escasos; usualmente de mediana a altamente meteorizadas esferoidalmente y con arenitización; fracturas-diaclasas poco a medianamente densas. Nivel freático medianamente profundo (≥ 10 m).	Suelos húmicos medianos (≥ 3 m), con regolitos de desarrollo moderado a elevado; se observan sectores aislados con alteración hidrotermal.	<ul style="list-style-type: none"> • SI=3,0: Moderada susceptibilidad a la inestabilidad de laderas. • Cuando los suelos son desarrollados y la meteorización desarrolla arenitización SI=3,50. • Cuando hay alteración hidrotermal SI=3,75.
Mpn-ln, lutitas y areniscas	Rocas medianamente tectonizadas, alteradas y meteorizadas. Discontinuidades frecuentes y persistentes	Suelo residual (limos, arcillas) de elevada compresibilidad-	<ul style="list-style-type: none"> • SI=4,0: Alta susceptibilidad a la inestabilidad de laderas.

Símbolo y litología	Composición y condiciones físico-mecánica e hidrogeológicas	Descripción y espesor del suelo (residual y/o transportado) y de la biomasa	Factor SI y calificación
oscuras, Fm. Peña Negra, Mioceno Medio	(fisuras, diaclasas, estratificación) abiertas, lisas, con rellenos sin sello y con tendencia marcada a que sus buzamientos estén orientados a favor de la pendiente de la ladera.	plasticidad (MH, CH) y coluvios (arenas, gravas, cantos) suprayacentes en cantidad importante (> 5m). Terrenos deforestados. Desprendimientos de coluvios y biomasa de la ladera con frecuencia elevada (erosión, soliflucción, deslizamientos, aludes).	<ul style="list-style-type: none"> • Suelos compactos y coluvios, consolidados y semi-cementados (Resistencia al corte no-drenada elevada): SI = 4,25. • Suelos residuales y coluvios permeables, compactos, antiguos (Resistencia al corte no-drenada mediana): SI = 4,50. • Suelos residuales y coluvios poco compactos y mal drenados (Resistencia al corte no-drenada débil): SI = 4,75
Mpc-ar, areniscas, lutitas, brechas y conglomerados violetas hasta verduscos, Fm. Pacacua, Mioceno Inferior	Rocas medianamente tectonizadas, alteradas y meteorizadas. Discontinuidades frecuentes y persistentes (fisuras, diaclasas, estratificación) abiertas, rugosas, con rellenos, con y sin sello y con tendencia marcada a que sus buzamientos estén orientados a favor de la pendiente de la ladera.	Suelo residual (arenas, limos arcillas) y coluvios (bloques, arenas, gravas, cantos) suprayacentes en cantidad moderada (3-5 m). Vegetación moderada (semideforestada) a densa.	<ul style="list-style-type: none"> • SI=3,0: Moderada susceptibilidad a la inestabilidad de laderas. • Suelos compactos y coluvios, consolidados y semi-cementados (Resistencia al corte no-drenada elevada): SI = 3,25. • Suelos residuales y coluvios permeables, compactos, antiguos (Resistencia al corte no-drenada mediana): SI = 3,50. • Suelos residuales y coluvios poco compactos y mal drenados (Resistencia al corte no-drenada débil): SI = 3,75
Mlc-ab, andesitas y basaltos, piroclastos, alterados, Fm. La Cruz, Mioceno Inferior	Lavas y tobas con grado mediano a elevado de alteración hidrotermal; a veces no poseen sus estructuras originales y aparecen tan solo sus fantasmas. Drenaje pobre, niveles freáticos someros, variables y ascendentes por su respuesta rápida a las lluvias intensas. Meteorización mediana a intensa. Frecuente alteración hidrotermal.	Suelos húmicos medianos (≥ 3 m) y con regolitos de desarrollo moderado a elevado, de granulometría fina, predominantemente limos y arcillas de espesor ≥ 3 m. En ocasiones se aprecian paleosuelos "quemados" (metamorfismo óptico) y sectores menores con alteración hidrotermal.	<ul style="list-style-type: none"> • SI=4,0: Alta susceptibilidad a la inestabilidad de laderas. • Sus suelos residuales diferenciados: SI=4,25 suprayacentes (cuando >2 m)

A partir del marco geológico presentado en la **Figura 68**, se crea por digitalización el parámetro SI, de acuerdo con la litología y el Cuadro A1-4, mostrado en la Figura A1-9.

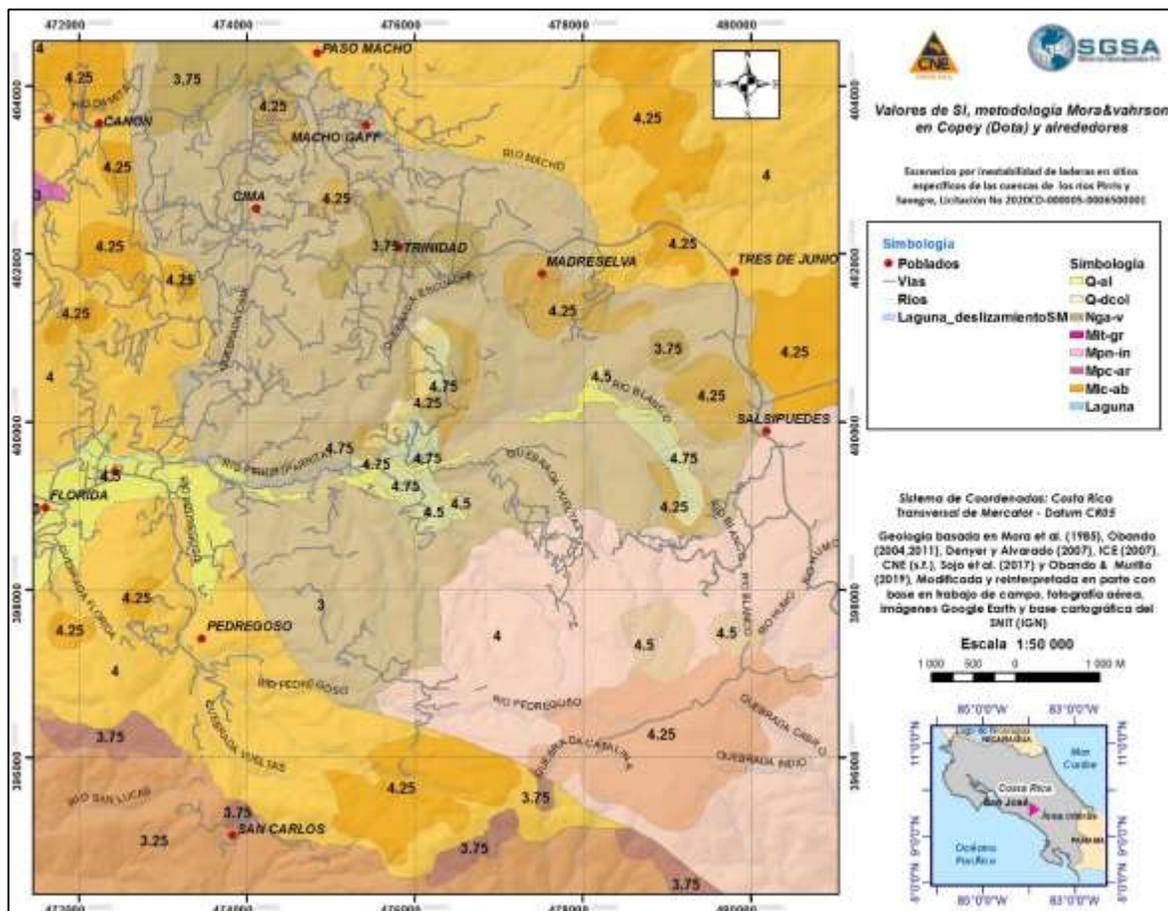


Figura A1- 9. Factor litológico (SI) del área de Copey-Santa María

Fuente: Elaboración propia con base en el marco geológico definido por G.Soto, 2020

Además de la litología, calificada de acuerdo con la unidad geológica respectiva, se contempló la influencia de las fallas tectónicas sobre la calidad geomecánica de las litologías. Por lo general, su presencia ocasiona fracturación y alteración hidrotermal, por lo que debilita sus estructuras y reduce su resistencia. En el Cuadro A1-4, se muestran las condiciones, actividades, valor asignado y buffer, para cada falla respectiva. En la Figura A1-11 se incluye el factor de susceptibilidad litológica empleado en el modelo.

A1.1.4 Factor de humedad (SH)

El factor de humedad proviene de un balance hídrico, originalmente basado en el concepto de que la humedad que se infiltra en el terreno y que juega un papel importante en las presiones intersticiales y la inestabilidad de las laderas, puede calcularse a partir de la lluvia promedio menos la evaporación real, para cada unidad de área del terreno.

Cuando se incorpora un balance mensual de la recarga y un mapa con la estimación de la “precipitación que infiltra” (Figura A1-12), el proceso se simplifica, pues es precisamente el agua de la recarga la que da el valor de humedad del suelo. De esta manera y eventualmente, se genera la línea de base de las presiones intersticiales, a partir de las cuales las lluvias intensas harán luego que se alcance su valor crítico que inducirá hacia la reducción del factor de seguridad ($FS < 1,0$) y a la ruptura del equilibrio límite de la ladera, o sea, del umbral de la inestabilidad del terreno.

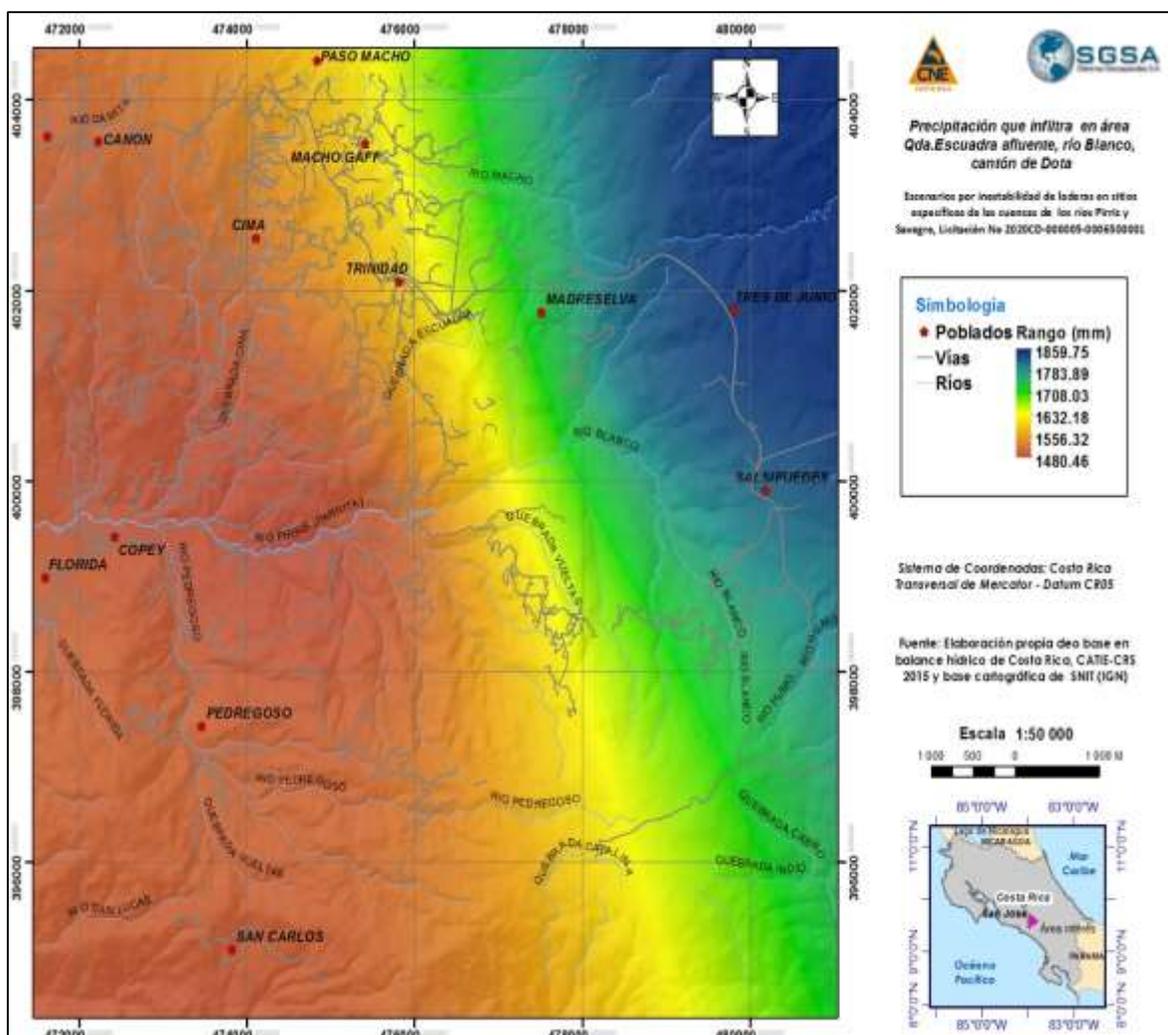


Figura A1- 11. Precipitación “que infiltra” en el área de Copey- Santa María
Fuente: CATIE-CRS, balance hídrico, 2015

La media, según el archivo de lluvia que infiltra, es de 1.613 mm, con una desviación estándar de 126,5 mm, un máximo de 1.859 y un mínimo de 1.480 mm. Los rangos para la reclasificación, utilizados para producir el factor de humedad (Sh), se muestran en el Cuadro A3-5.

Toda el área está cerca de un rango entre 4,2 o 1480 mm y 5,0 (mayor a 1800 mm). Por esto se ha aplicado un re-escalamiento que lleve los valores del factor de humedad entre 4.2 y 5. La aplicación de esta técnica se realiza para disminuir discontinuidades, al usar valores enteros en el proceso metodológico Mora&Vahrson.

Cuadro A3-5. Valores del factor de humedad, en función de la “precipitación que infiltra”.

Rango en mm	Valor Sh	Descripción
0 – 800	1	Muy bajo
800 – 1200	2	Bajo
1200 – 1400	3	Medio
1400 – 1800	4	Alto
Más de 1800	5	Muy alto

Fuente: elaboración con base en criterios de Saborío (2017 y 2020).

El mapa del Factor de Susceptibilidad por Humedad (Sh) del área de Copey-Santa María, se presenta en la Figura A1-13. Este mapa es un indicativo de la humedad intersticial prevalente del suelo y representa el balance hidrológico en los suelos locales y que, en este caso, ha sido deducido a partir del índice de la “precipitación que infiltra”.

Como puede apreciarse, los valores del factor de humedad son elevados en el área analizada, con una media de 4,43. Lo anterior se ha deducido a partir de un balance mensual, por lo que, en condiciones extremas, se podría usar un valor de 5 para toda el área.

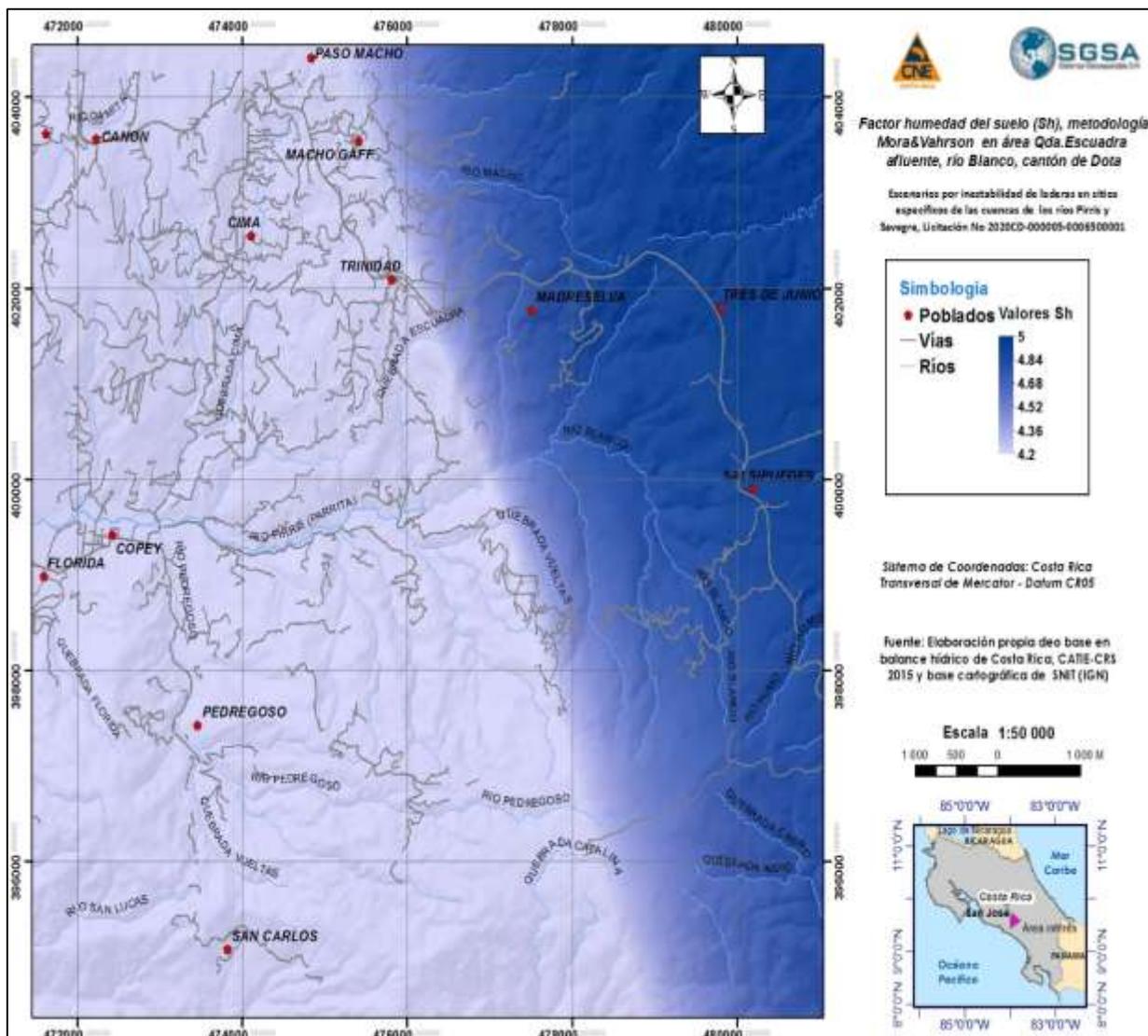


Figura A1- 12. Factor de susceptibilidad por humedad (Sh), método Mora&Vahrson – de Copey-Santa María

Fuente: Elaboración propia con base a mapa de precipitación que infiltra, CRS-CATIE, 2014 y 2015

A1.1.5 Susceptibilidad (SUC) a la inestabilidad de laderas

La combinación de los factores de la susceptibilidad (SUSC), derivada de la combinación los indicadores del relieve relativo o de las pendientes, la litología y la humedad prevalente del terreno, permite la producción del mapa de las áreas con la susceptibilidad intrínseca a la inestabilidad de laderas. En la Figura A1-13 se incluye la susceptibilidad, para el factor Sp. Su media es de 33 puntos y posee una desviación estándar de 15 puntos, con un mínimo de 0 y máximo de 112 puntos. Es interesante observar que las indicaciones de susceptibilidad a la inestabilidad de laderas, logran apreciarse de manera más precisa, sobre todo para el área alrededor de la cuenca media de la Quebrada Escudra, la cual es el centro de atención de este estudio. Obviamente hay otras áreas que también resaltan por sus valores elevados del parámetro de susceptibilidad SUSC.

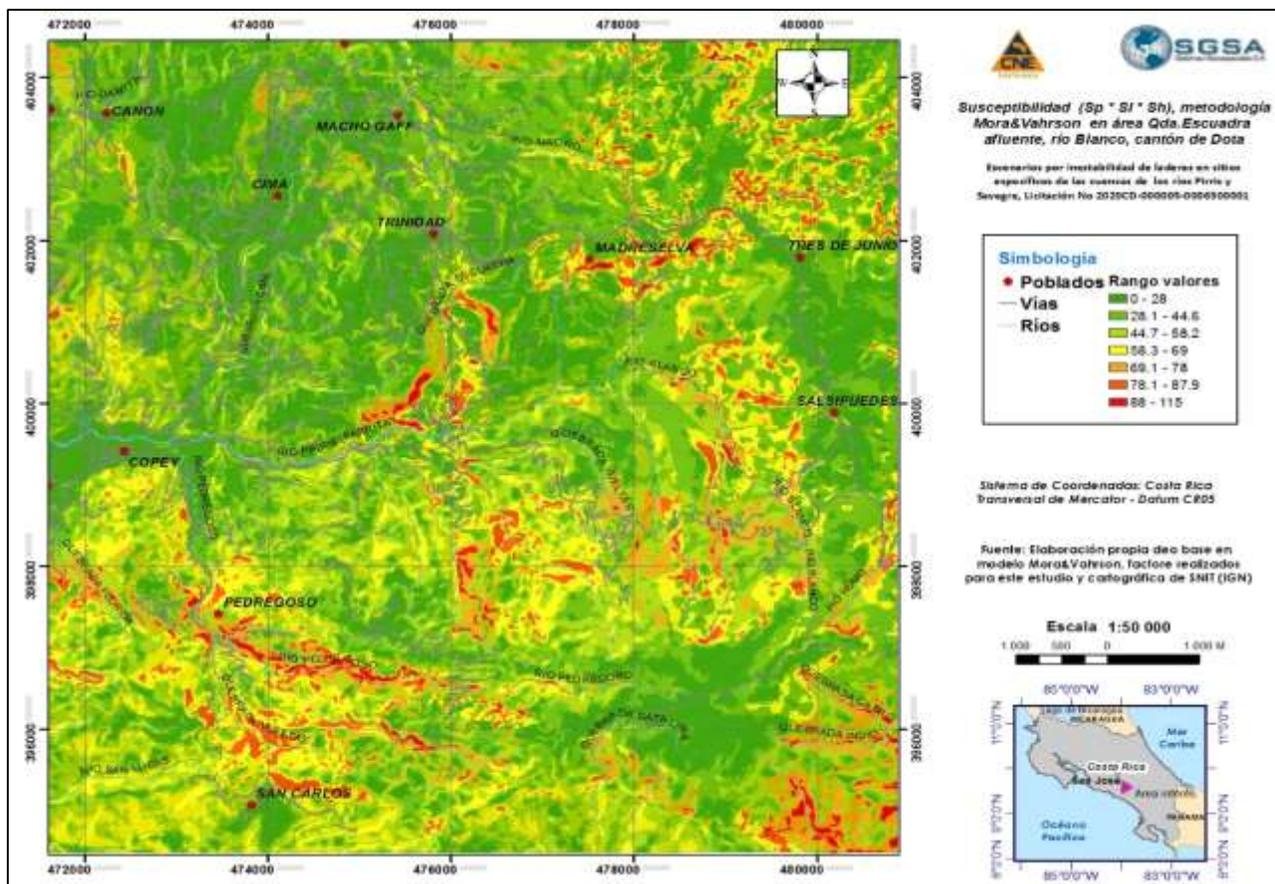


Figura A1- 13. Distribución espacial del parámetro de la susceptibilidad (SUSC) a la inestabilidad de laderas, obtenido mediante la combinación de los indicadores de la pendiente (S_p), la humedad prevalente del terreno (S_h), y de la susceptibilidad litológica (S_I), en área de Copey- Santa María
Fuente: Elaboración propia, con base a la metodología Mora&Vahrson

A1.1.6 Factor de disparo por influencia de la acción de la sismicidad intensa (D_s)

Para analizar el potencial de disparo (DISP), definido a partir de la influencia de los indicadores de la intensidad sísmica (D_s), se utilizó el mapa de Aceleración Pico del Terreno, para un período de recurrencia de 500 años (Figura A1-14) obtenido del proyecto RESIS II, en este caso re-interpolado para el área de análisis en la región de Peñas Blancas. También se aplicaron los valores de la aceleración, para eventos con período de recurrencia de 1.000 años y 2.500 años, según se muestran en las Figuras A1-15 y A1-16.

En este análisis, se han considerado las intensidades sísmicas obtenidas por los procedimientos estocásticos aplicados en el estudio RESIS II y derivadas de los eventos generados por el proceso de subducción. Por el momento, no hay disponible un análisis neotectónico que indique que la actividad de las fallas tectónicas locales puedan generar aceleraciones pico (PCA) superiores a los eventos de la subducción.

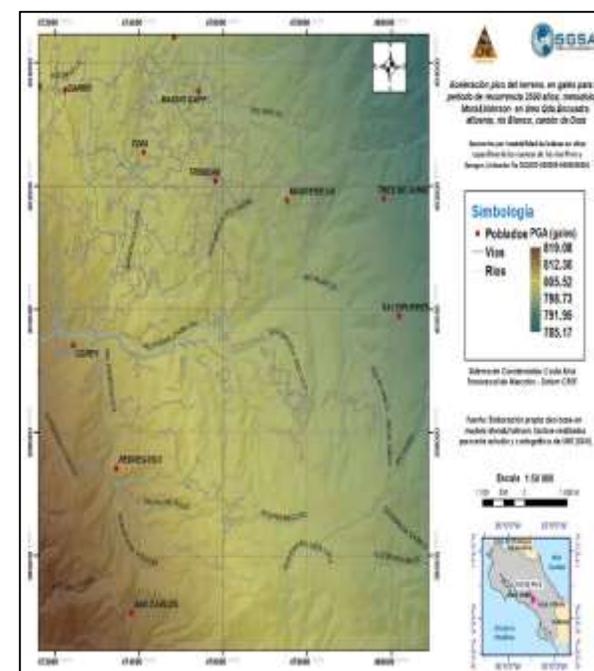
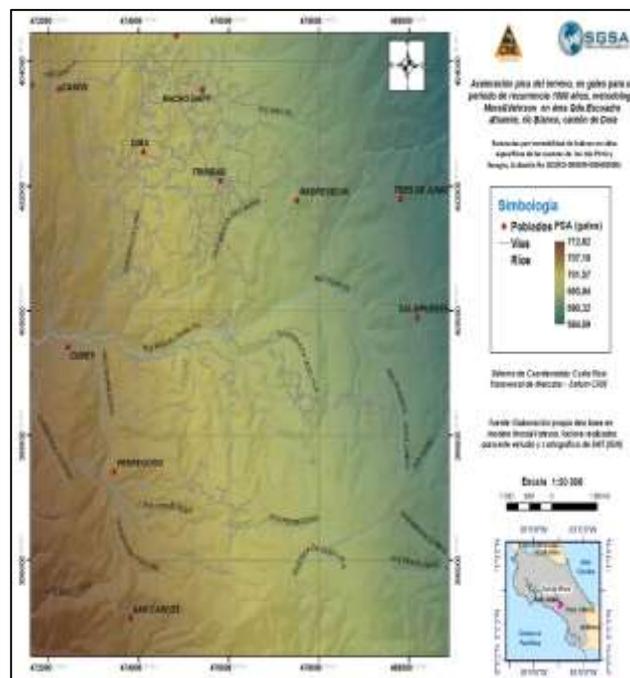
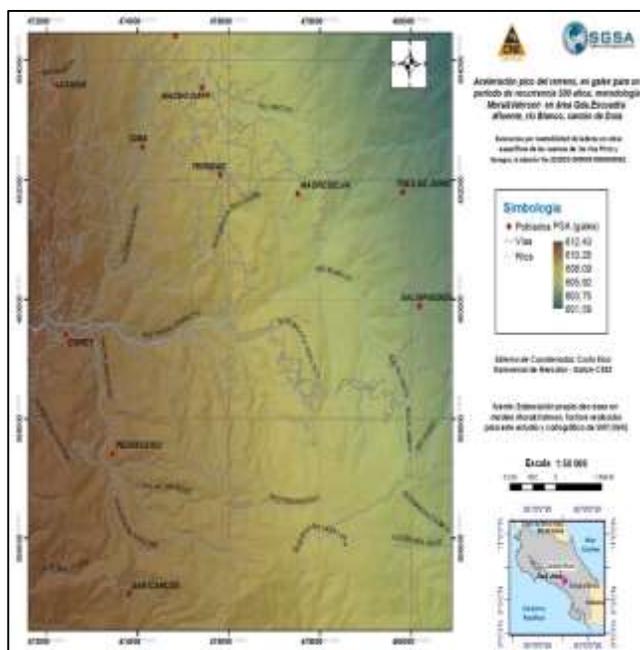


Figura A1-14. Aceleración pico del terreno, en gales³ para un período de recurrencia 500 años. Elaboración propia, con base en RESIS II

Figura A1-15. Aceleración pico del terreno en gales para un período de recurrencia 1000 años. Elaboración propia con base en RESIS II

Figura A1-16. Aceleración pico del terreno en gales para un período de recurrencia 2500 años. Elaboración propia con base en RESIS II

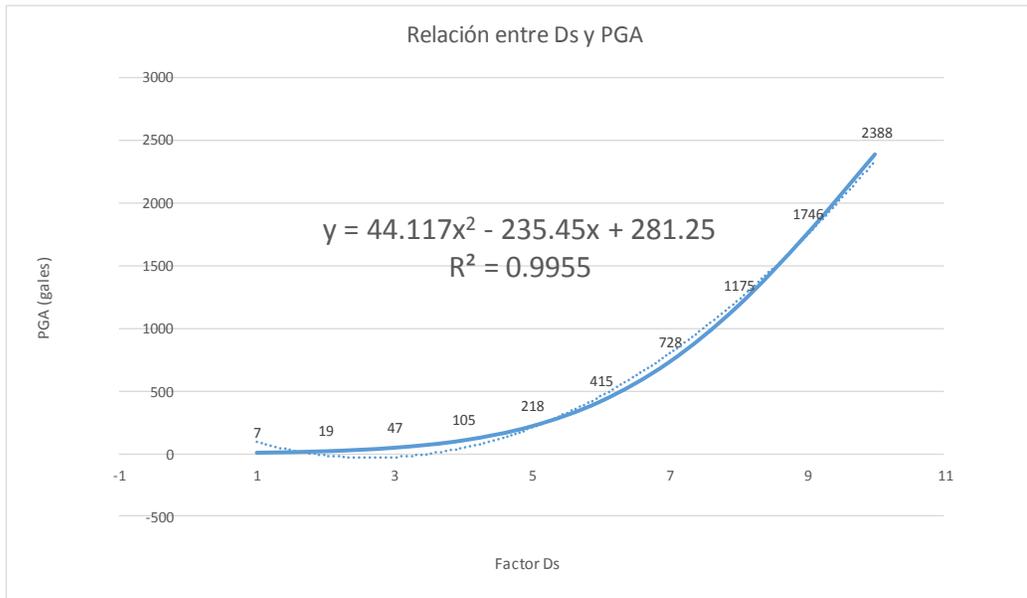
³ 1 gal = 0,01 m/s². La aceleración gravitacional de la Tierra varía entre 976 y 983 gal.

El Cuadro A1-6 presenta la relación entre la Aceleración pico del terreno (PGA) y el factor de disparo por sismicidad (Ds), de acuerdo con la metodología Mora&Vahrson.

Cuadro A1-6. Aceleración pico del terreno (PGA), valores del factor de influencia de la intensidad sísmica (Ds) y su calificación.

PGA (gales)	Calificación	Factor Ds
7	Marginal o nulo	1
19	Muy bajo	2
47	Bajo	3
105	Moderado	4
218	Mediano	5
415	Considerable	6
728	Importante	7
1175	Elevado	8
1746	Muy elevado	9
2388	Extremadamente elevado	10

Fuente: elaboración propia con base a la fórmula (5).



A través de una sumatoria, se integran los mapas de del factor de disparo sísmico agregado, tanto por influencia de la PGA y del potencial sismogénico de las fuentes regionales, para así producir el mapa del factor de disparo derivado de la sismicidad Ds, para un período de recurrencia Pr=500 años. (Figura A1-17). De igual forma se procede para los disparos por sismicidad Ds para Pr=1.000 y 2.500 años (Figuras A1-18, y A1-19).

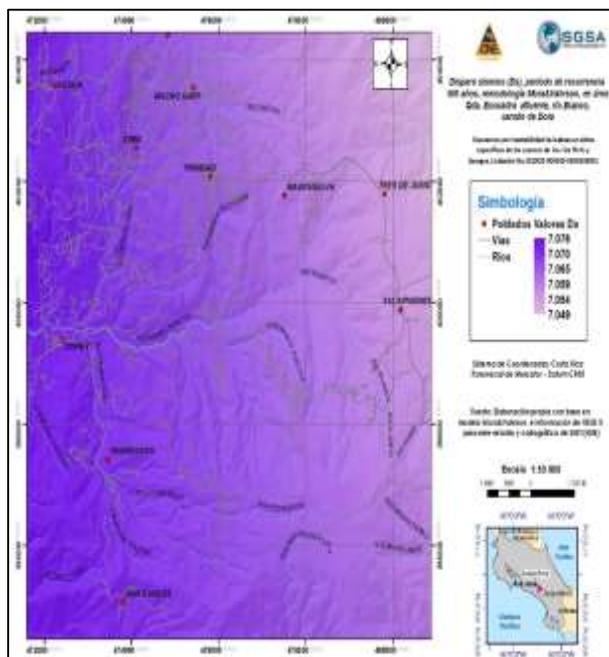


Figura A1-17. Factor de disparo por sismicidad (Ds), para Pr=500 años, método Mora&Vahrson

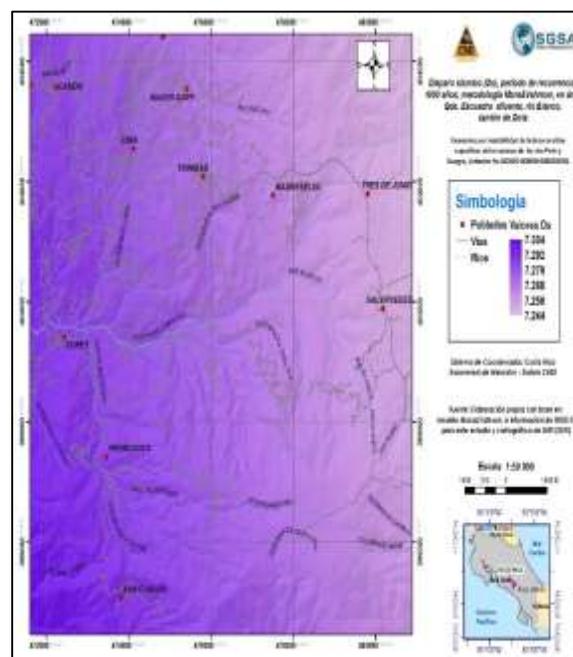


Figura A1-18. Factor de disparo por sismicidad (Ds), para Pr=1000 años, método Mora&Vahrson

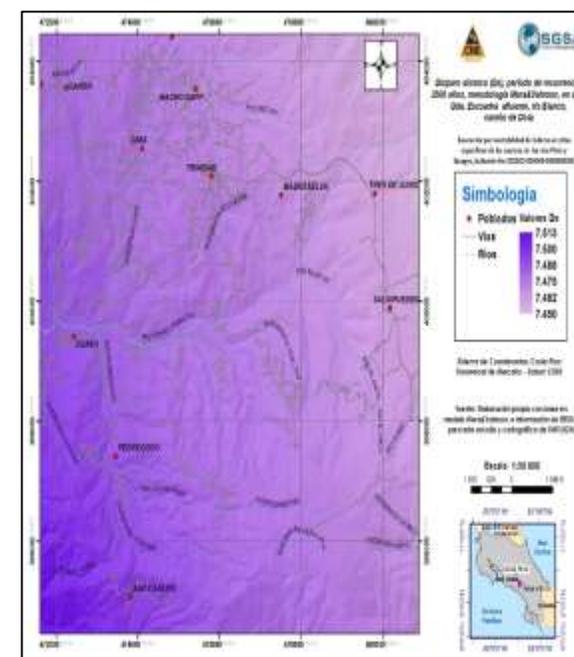


Figura A1-19. Factor de disparo por sismicidad (Ds), para Pr=2500 años, método Mora&Vahrson

A1.1.7 Factor de disparo por influencia de la intensidad de las lluvias (Dp)

El factor de disparo, por la influencia de la intensidad de las lluvias (Dp), se obtiene a partir de la clasificación de los eventos días de precipitación para 24 horas y un período de recurrencia de 100 años (UNED, 2017). La calificación y el factor Dp respectivo, se pueden visualizar en el Cuadro A1-7.

Cuadro A1-7. Calificación de la influencia de la precipitación máxima de 24 horas, para Tr= 100 años

Precipitación máxima, para duración 24 horas y Tr = 100 años	Intensidad máxima, para duración 24 horas y Tr = 100 años (mm/h)	Calificación	Factor Dp
< 100 mm	0 - 4.17	Muy baja	1
100 – 200	4.17 - 8.33	Baja	2
200 – 300	8.33 – 12.5	Media	3
300 – 500	12,5 – 20.83	Elevada	4
> 600	>25	Muy elevada	5

Fuente: Metodología Mora&Vahrson, 2015.

La precipitación máxima de la lluvia para 24 horas y Tr=100 años se incluye en la Figura A1-20, con valores que van en aumento de Este a Oeste, este factor se obtiene con influencia de las estaciones la Lucha (al Oeste del área, Damas (Suroeste del área) y Chirripó (al Este del área). El factor de disparo derivado de la intensidad de las lluvias (Dp) se incluye en la Figura A1-21. Este factor presenta valores de 4 a 5, con un énfasis en el área media de la cuenca, según el patrón espacial de la lluvia promedio anual y de lo indicado en el capítulo de las Zonas de Vida de Holdridge. Esto se traduce en una muy elevada influencia del disparo por las lluvias intensas sobre la inestabilidad de laderas.

Los escenarios con menor intensidad de lluvia, es decir, para períodos de recurrencia de 25 o 50 años, no se recomienda, dado que según los registros históricos señalan que el área se ha visto afectada por tormentas intensas derivadas de ondas tropicales, con varios días de duración. Un escenario máximo puede obtenerse, por lo tanto, considerando un valor de disparo por lluvia de 5.

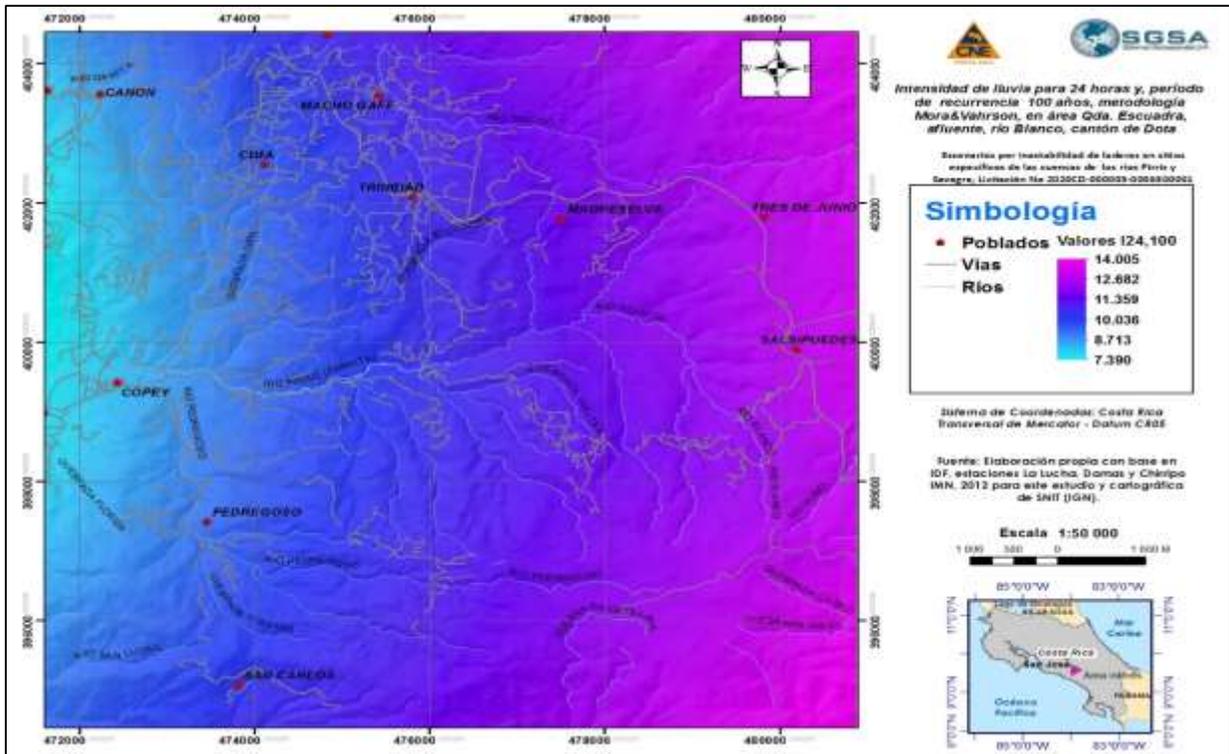


Figura A1-20. Intensidad de la lluvia de 24 horas, para $Tr=de$ 100 años, en área Copey-Santa María
Fuente: a partir de la intensidad de lluvia, IMN, 2011 y 2012.

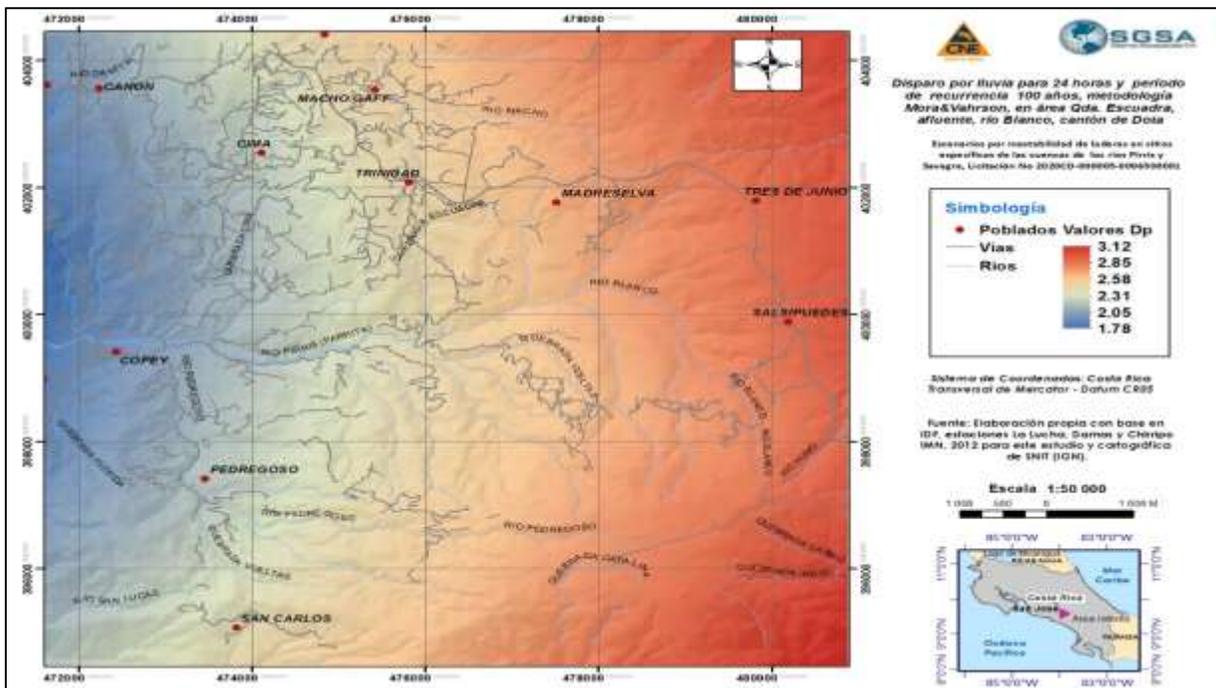


Figura A1-21. Factor de disparo derivado de intensidad de las lluvias (D_p); método Mora&Vahrson, en Copey- Santa María
Fuente: a partir de la intensidad de lluvia de 24 horas, para $Tr=de$ 100 años, IMN, 2011 y 2012.

A1.1.8 Factores de disparo

El factor de disparo total se calcula como la suma de los factores derivados de la intensidad de la sismicidad y de las lluvias. Este factor se resume en la Figura A1-22 para Dp de 24 horas, Tr=100 años y Ds para Pr=500 años y presenta un valor máximo de 11,9 puntos. El escena corresponde, de esta manera, con la situación de la amenaza de la inestabilidad de laderas derivada de un evento sísmico intenso durante la estación lluviosa, o luego de una lluvia de elevada intensidad.

En la Figura A1-23 se incluye el factor disparo total para para Dp de 24 horas y Tr=100 años y Ds para Tr=1.000 años y presenta un valor máximo de 10,18 puntos, con una media de 9,56 lo cual coincide con el sitio de la Quebrada Escuadra. Si bien la influencia de la sismicidad se califica como importante, es la intensidad de la lluvia la que aporta más en los valores altos para el factor de disparo.

En la Figura A1-24 se incluye el factor de disparo para para Dp de 24 horas y Tr=100 años y Ds para Tr=2500 años y presenta un valor máximo de 11,9 puntos.

Como un caso de escena máximo, en la Figura A1-25 se incluye el factor de disparo para para Dp = 5 y Ds para Tr=1000 años y que presenta un valor de 11,9 puntos.

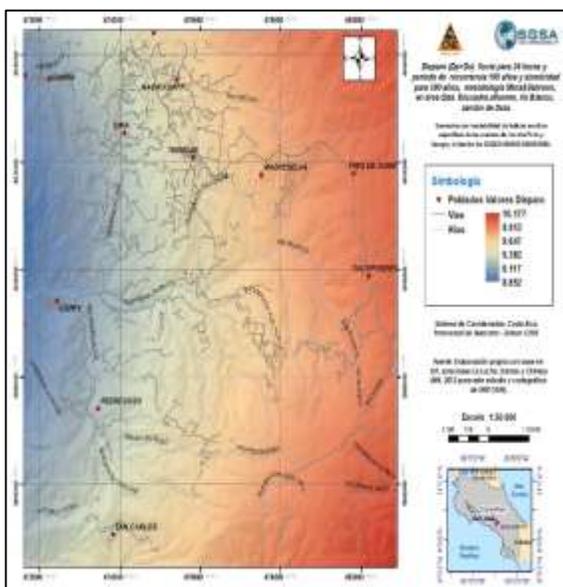


Figura A1-22. Factor de disparo ($D_{p100-24}$, D_s500), método Mora&Vahrson.
Fuente: con base al modelo Mora&Vahrson

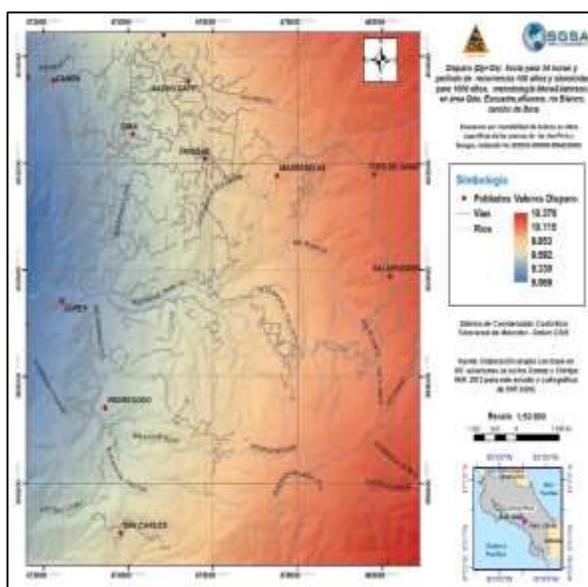


Figura A1-23. Factor de disparo ($D_{p100-24}$, D_s1000), método Mora&Vahrson
Fuente: con base al modelo Mora&Vahrson

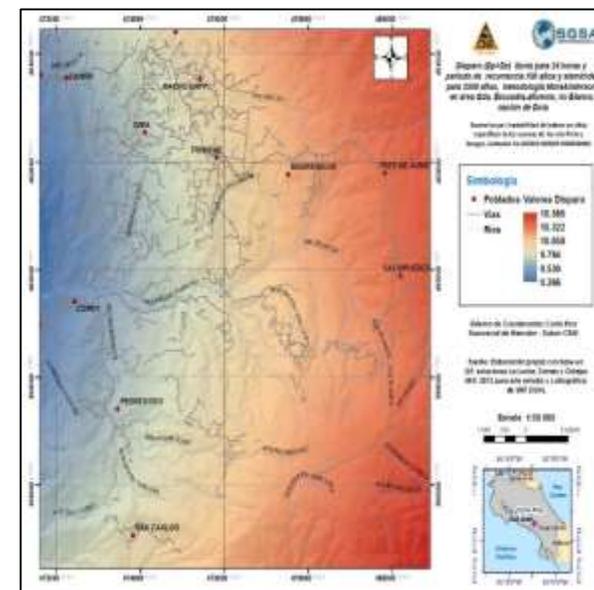


Figura A1-24. Factor de disparo ($D_{p100-24}$, D_s2500), método Mora&Vahrson
Fuente: con base al modelo Mora&Vahrson

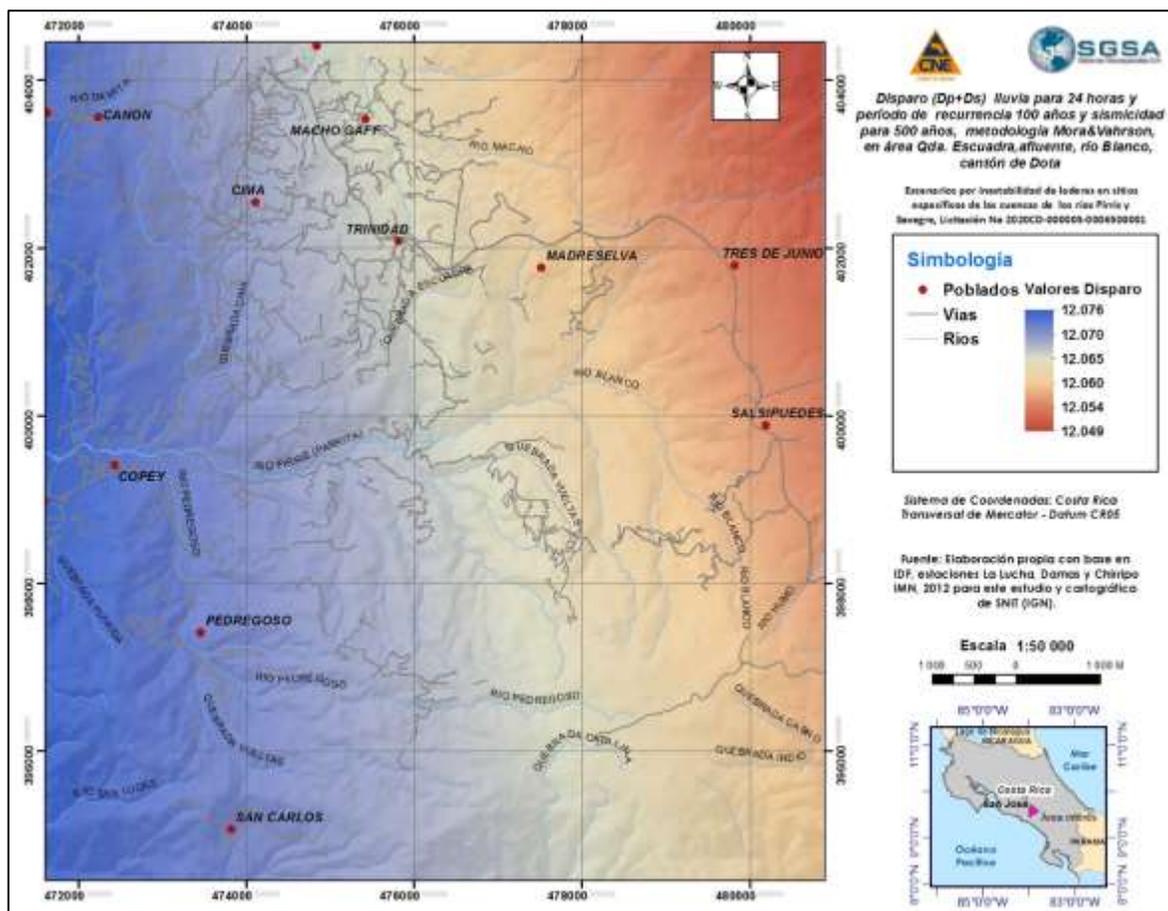


Figura A1-25. Factor de disparo (Dp=5, 24, Ds1000), método Mora&Vahrson – área de **Copey- Santa María**

Fuente: con base al modelo Mora&Vahrson

A1.1.9 Amenaza de la inestabilidad de laderas

La amenaza de la inestabilidad de laderas se obtiene a través de la combinación de las capas de susceptibilidad (SUSC) y disparo (DISP) y de la reclasificación de sus valores respectivos, lo cual se muestra en el Cuadro A3-9 y la función que aparece en la Figura A1-26.

Cuadro A1-8. Reclasificación de los valores de la amenaza de la inestabilidad de laderas.

Rangos	Valor	Descripción
0-40	I	Nula
40-120	II	Muy baja
120-240	III	Baja
240 – 400	IV	Media
400 -580	V	Elevada
Mayor de 580	VI	Muy elevada

Fuente: Metodología Mora&Vahrson, 2011.

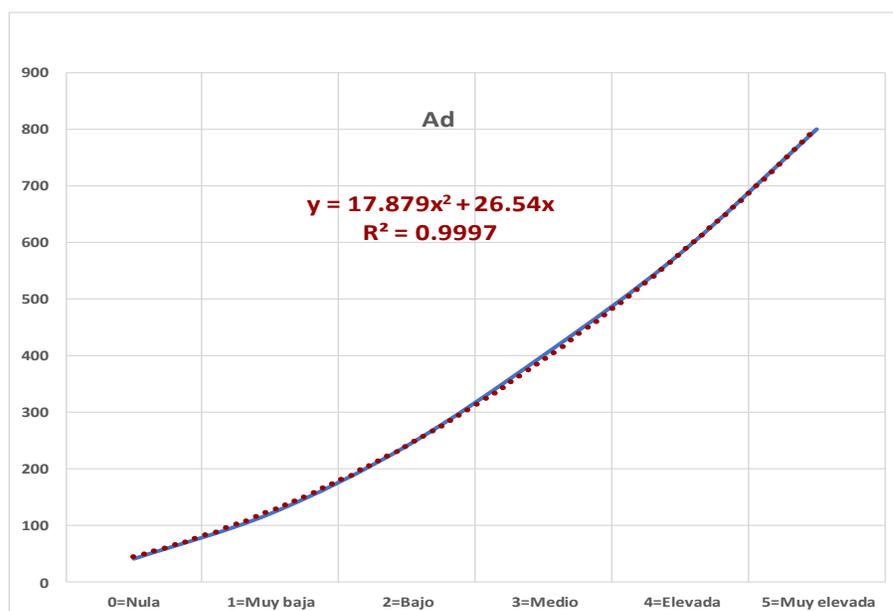


Figura A1-26. Ecuación para reclasifica la inestabilidad de laderas

Se utilizó el factor de pendientes S_p para comparar con los escenarios del disparo sísmico. En la Figura A1-27 se presenta la inestabilidad de laderas para un D_s de 500 años y en las Figuras A1-28 y A1-29, se presentan los escenarios para un D_s de 1.000 y 2.500 años, con DP de 24 horas y $Tr= 100$ años.

El escenario escogido corresponde a D_s de 500, con DP de 24 horas, $Tr= 100$ años y S_p como factor derivado de las pendientes de las laderas. A este, se le considera como un escenario conservador y no necesariamente tan severo como para ser representativo para el área analizada.

En la Figura A1-30, se incluyó un escenario extremo, con un disparo por lluvia máximo valor de 5 para $Pr > 100$ años, y el disparo sísmico con período de recurrencia T_r de 500 años.

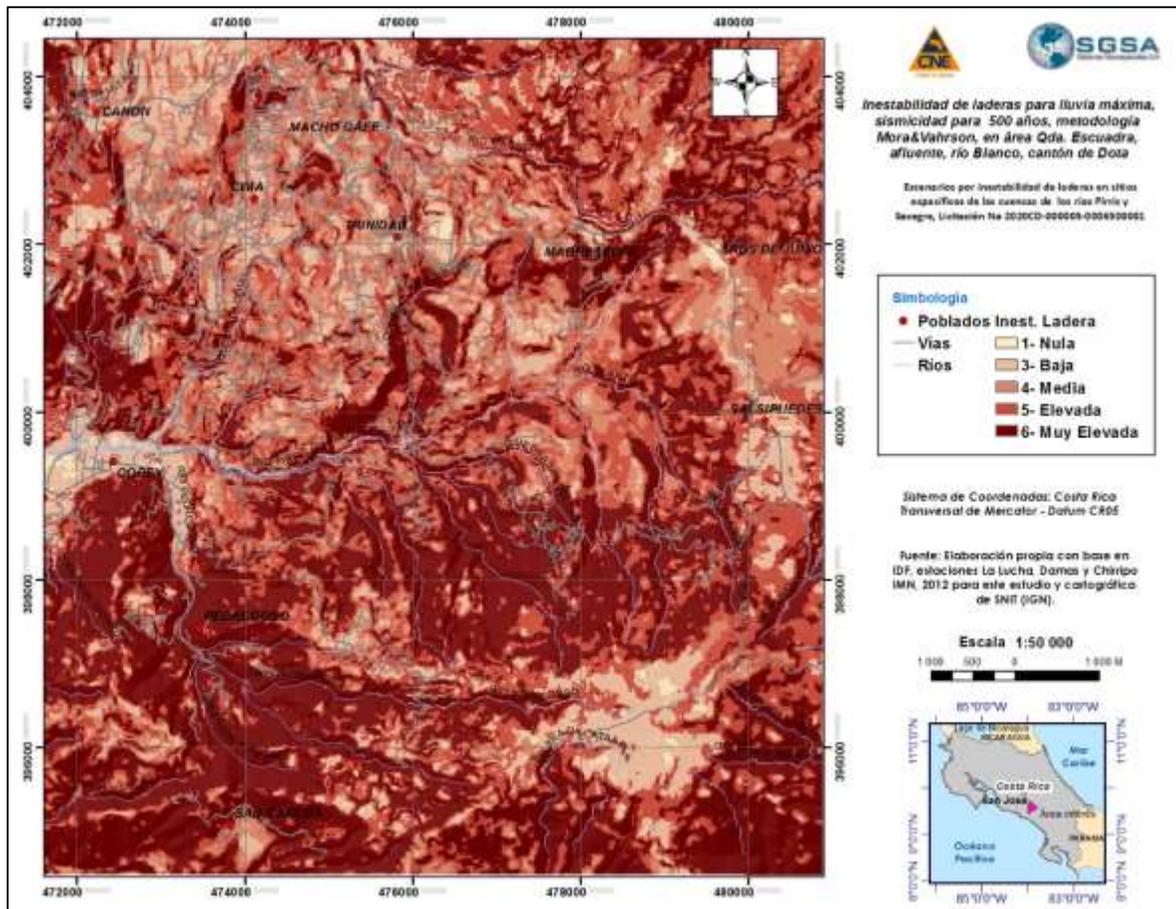


Figura A1-30. Escenario extremo de la amenaza de la inestabilidad de laderas, con S_p , y $D_s=2500$ y D_p máximo

Fuente: aplicación de la metodología Mora&Vahrson

Anexo 2 - Inestabilidades de laderas en San Isidro de Savegre

A2.1 Amenaza de la inestabilidad de laderas en San Isidro de Savegre

A2.1.1 Factor de susceptibilidad según el factor de la pendiente del terreno

A partir del modelo numérico del terreno, escala 1:5.000, fueron obtenidas las pendientes del área de Copey-Dota, expresadas en grados y que se muestran en la Figura A2-1. La pendiente máxima es 77,3 grados, la mínima es 0 y la pendiente promedio es de 26,1 grados. Dichas pendientes fueron reclasificadas de acuerdo con el Cuadro A2-1, con el fin de obtener el Factor de Susceptibilidad por Pendientes (Sp), el cual puede visualizarse en la Figura A2.2.

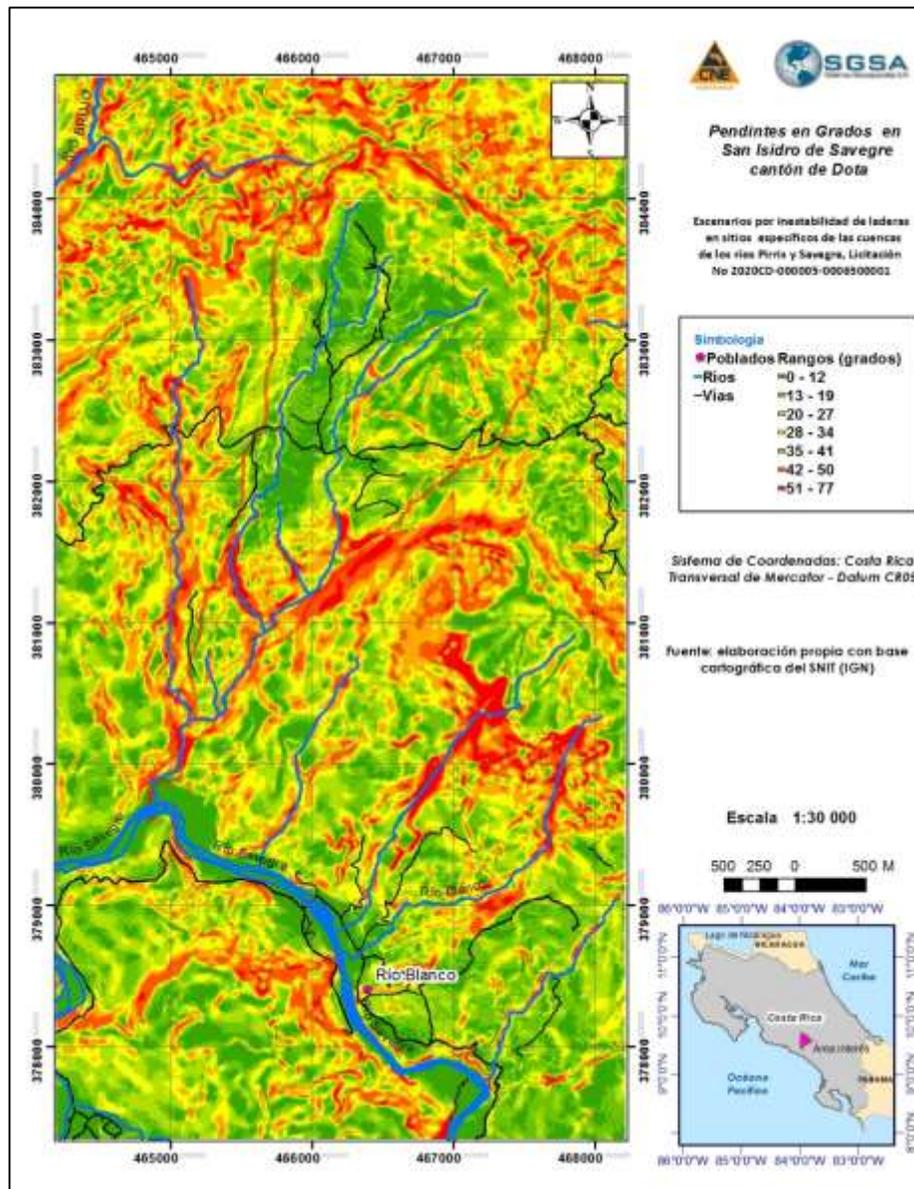


Figura A2-1. Pendientes, en grados, en el área de San Isidro - Savegre
Fuente: Metodología Mora&Vahrson, a partir de MNT derivado de IGN/RN, 2017.

Cuadro A2- 1. Valores para obtener el factor SP, a partir de las pendientes del terreno, en grados.

Rango grados	Valor SP	Descripción
0 – 2	0	Nulo
1 – 9	1	Muy bajo
10 – 18	2	Bajo
20 – 28	3	Medio
30 – 40	4	Elevado
Más de 40	5	Muy Elevado

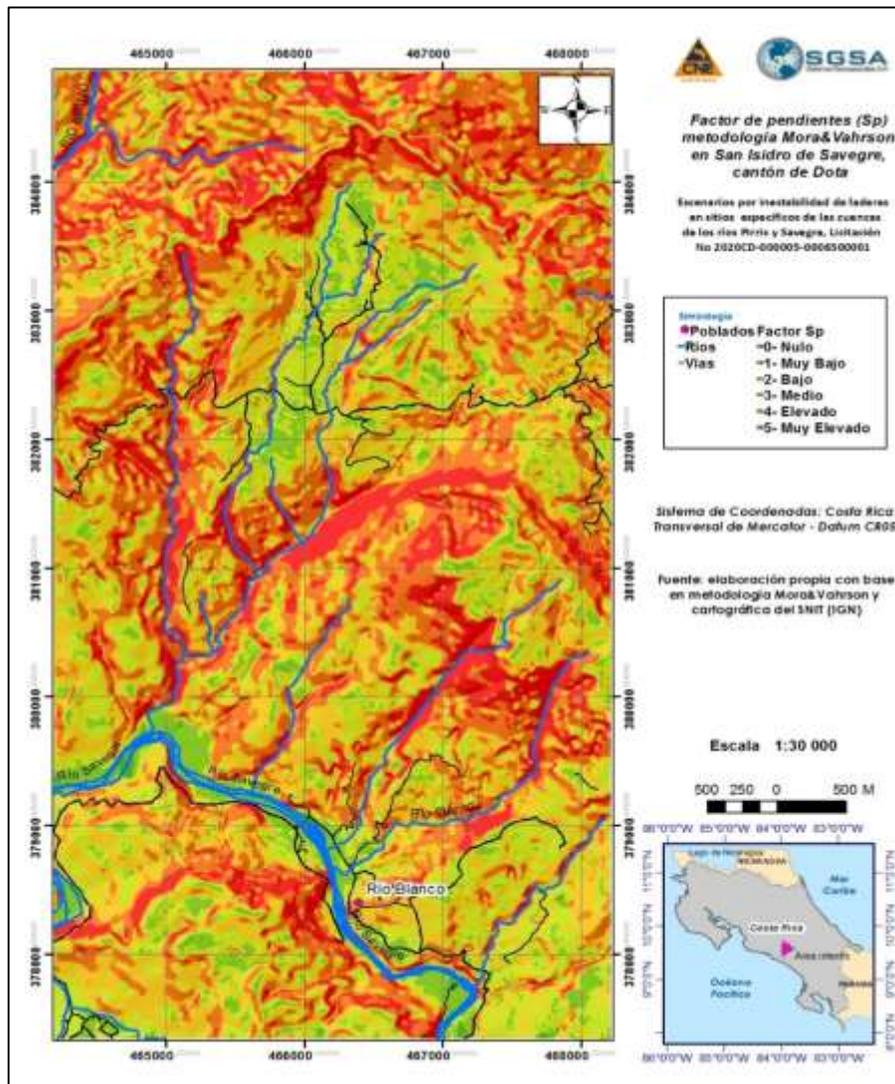


Figura A2-2. Factor de pendientes (Sp), según el método Mora & Vahrson, aplicado en el área de San Isidro - Savegre

Fuente: Metodología Mora & Vahrson, reclasificado a partir de MNT derivado de IGN-RN, 2017).

Otra forma para calcular el factor de las pendientes es a través de una función cuadrática, que debe contar con condicionantes: partir de 0 y debe tener un límite máximo, para esto se ha fijado en 55 grados que representa aproximadamente 150 %, de acuerdo con la Figura A2-3. Lo anterior para calcular una función cuadrática con valor entre 0 y 5, acotando los valores mayores a 40 grados al valor de 5. En la Figura A2-4 se incluyen los cálculos.

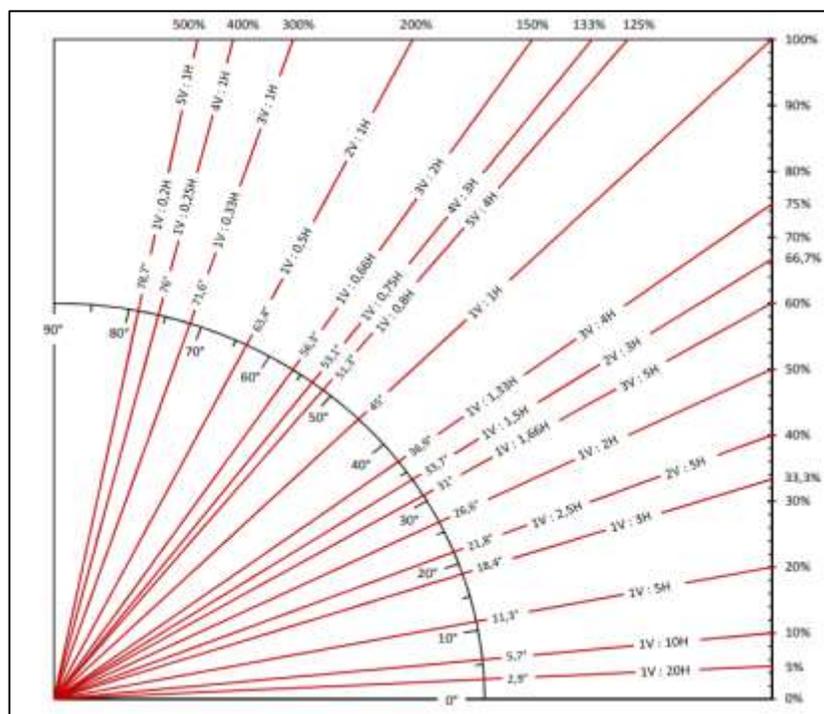


Figura A2-3. Relación de grados pendientes y porcentajes⁴

Calificación	Rango (°)	Representa
0= Nulo	2	0 - 2
1=Muy bajo	9	2 - 9
2=Bajo	18	9 - 18
3=Medio	28	18 - 28
4=Elevado	40	28 - 40
5=Muy Elevado	55	> 40

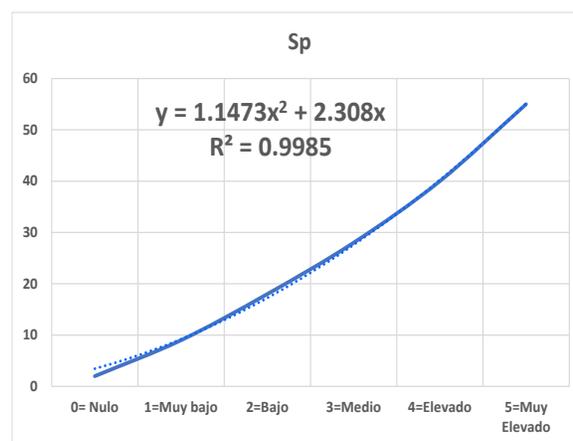


Figura A2-4. Determinación de la ecuación entre pendientes en grados y factor Sp.

⁴ Tomado de [http://enriquemontalar.com/wp-content/uploads/Esquema-Talud-Grados-Pendiente-
Porcentaje.pdf](http://enriquemontalar.com/wp-content/uploads/Esquema-Talud-Grados-Pendiente-Porcentaje.pdf)

La solución a la ecuación se logra:

$$Sp = \frac{-2.308 + (2.308^2 + 4 * 1.1473 * P_{\text{grados}})^{0.5}}{2 * 1.1473}$$

En la Figura A2-5, se incluye el factor Sp, calculado de acuerdo con esta ecuación.

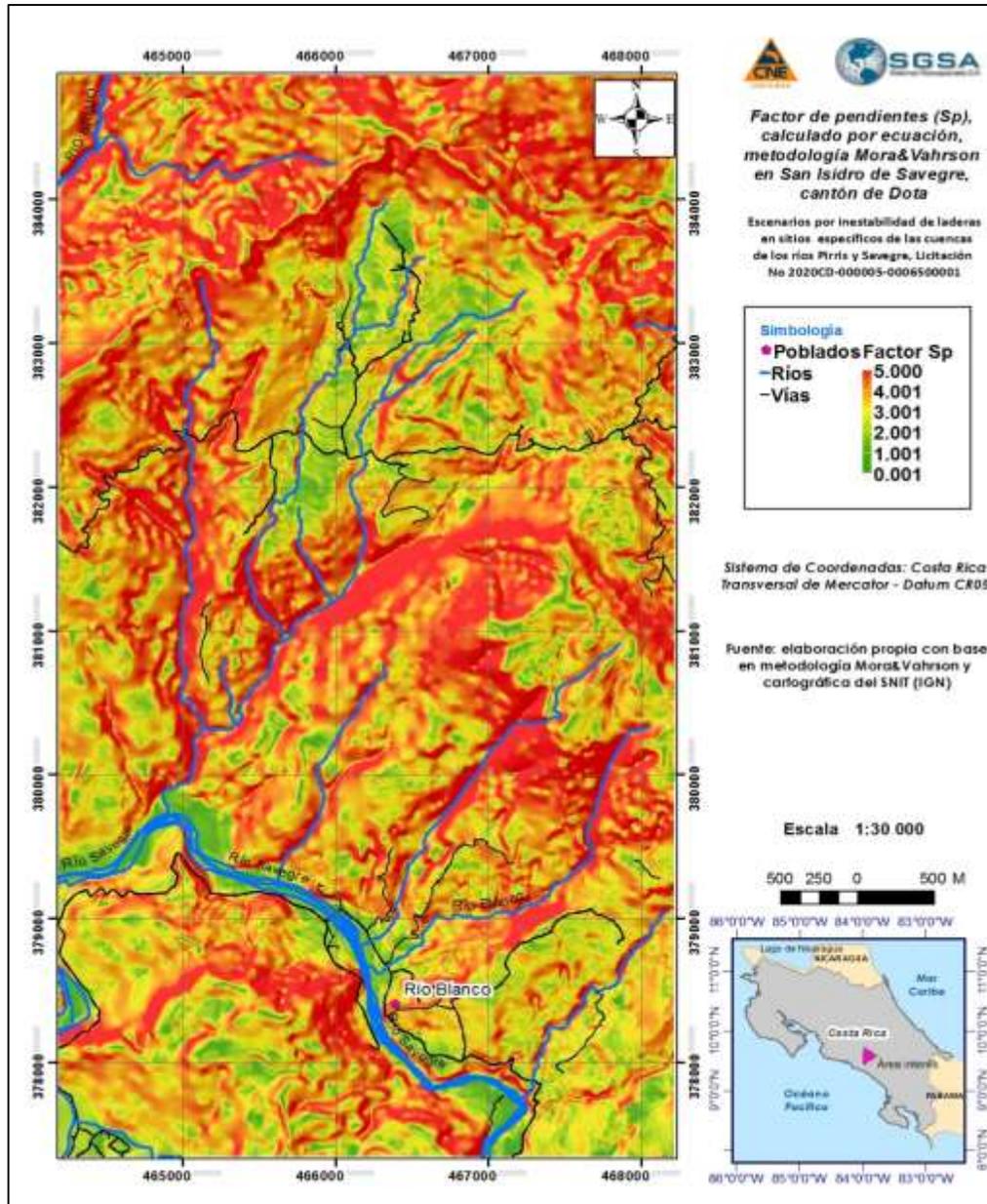


Figura A2-5. Factor Sp, calculado a través de la ecuación deducida

A2.1.2 Factor de susceptibilidad por relieve relativo (Sr)

A partir del modelo de numérico del terreno (pixel 2 metros, Figura A2-6, se ha producido el relieve relativo (m/Ha) que se muestra en la Figura A2-7. La deducción de la ecuación y los rangos se presenta en la Figura A2-8. Este mapa se puede reclasificar de acuerdo con el Cuadro A2-2, o bien aplicar la ecuación cuadrática para producir el Factor de susceptibilidad por Relieve Relativo (Sr) del método Mora & Vahrson; aplicado la ecuación, que se muestra en la Figura A2-7.

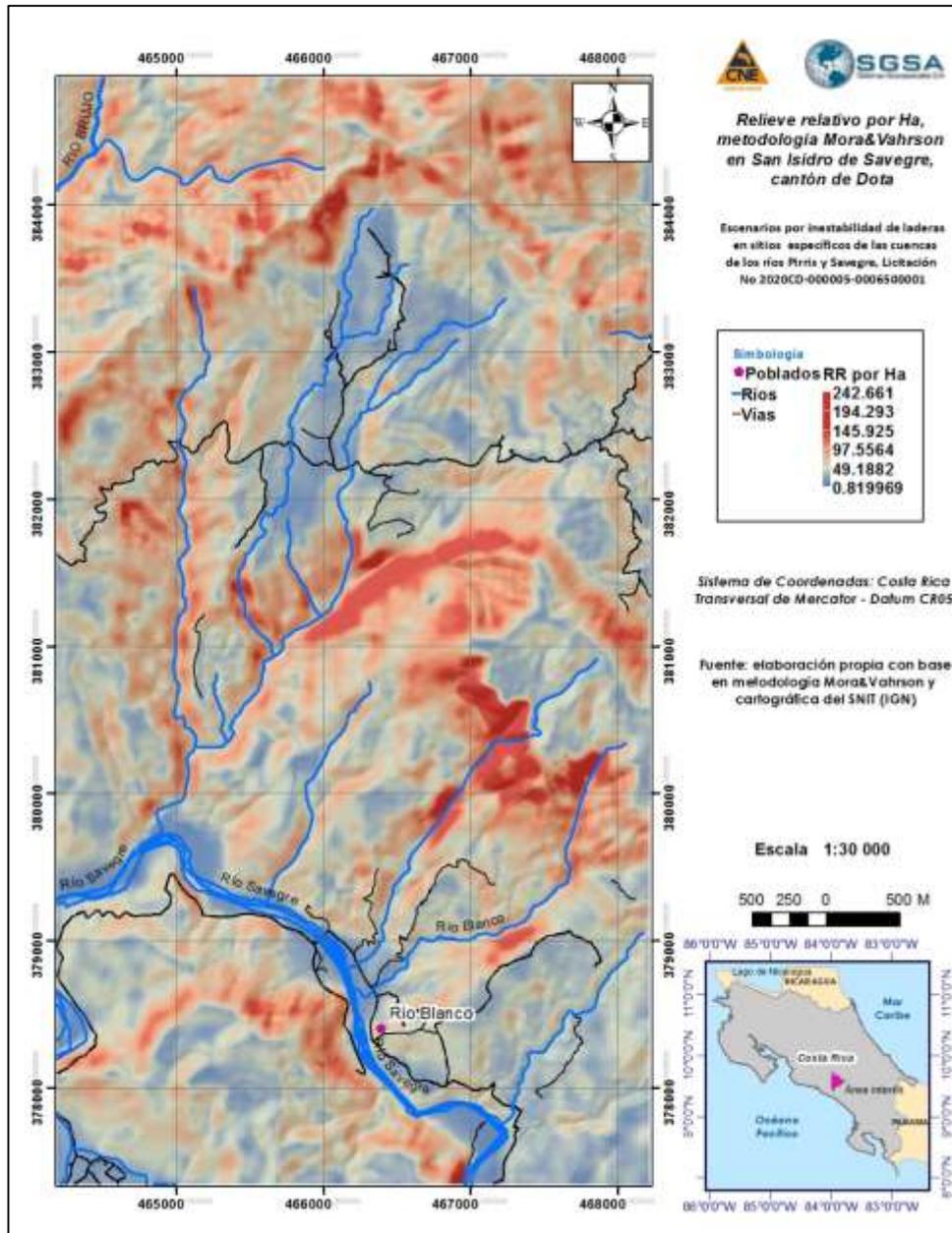


Figura A2-6. Relieve relativo del área Savegre

Fuente: Metodología Mora&Vahrson, a partir de MNT derivado por Hao de IGN-RN, 2017.

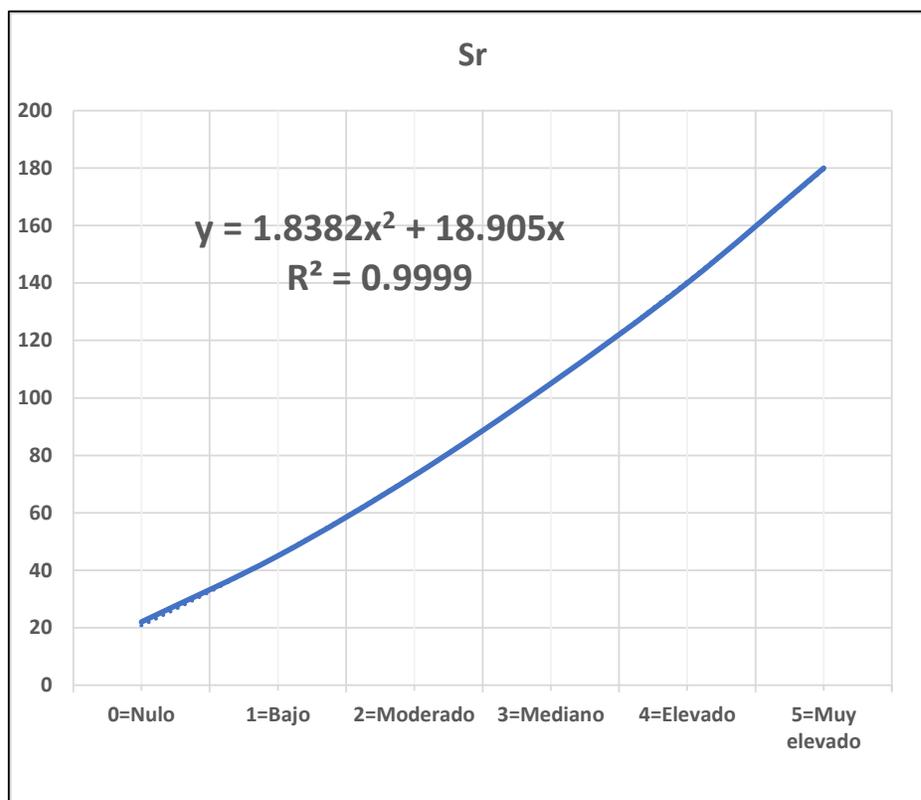


Figura A2- 7. Ecuación para reclasificar el relieve relativo al rango de 0 a 5

Cuadro A2- 2. Valores para obtener el factor Sr, a partir del relieve relativo (m /-Ha)

Calificación	Rr (m/ha)	Representa
0=Nulo	25	0-25
1=Bajo	45	20 - 45
2=Moderado	73	45 - 73
3=Mediano	105	73 - 105
4=Elevado	140	105 - 140
5=Muy elevada	180	> 140

El factor del relieve relativo se muestra en la Figura A2-8.

Para considerar el efecto combinado de S_p y S_r , dado que ambos factores presentan rangos estandarizados de 0 a 5, el análisis de máximos a nivel de pixel, entre las dos variables S_p y S_r , produce el máximo valor de cada factor, lo que representa una condición máxima por el relieve del terreno. El factor máximo (S_p, S_r), se muestran en la Figura A2-9. En el caso de San Isidro de Savegre e realizaron los 3 casos.

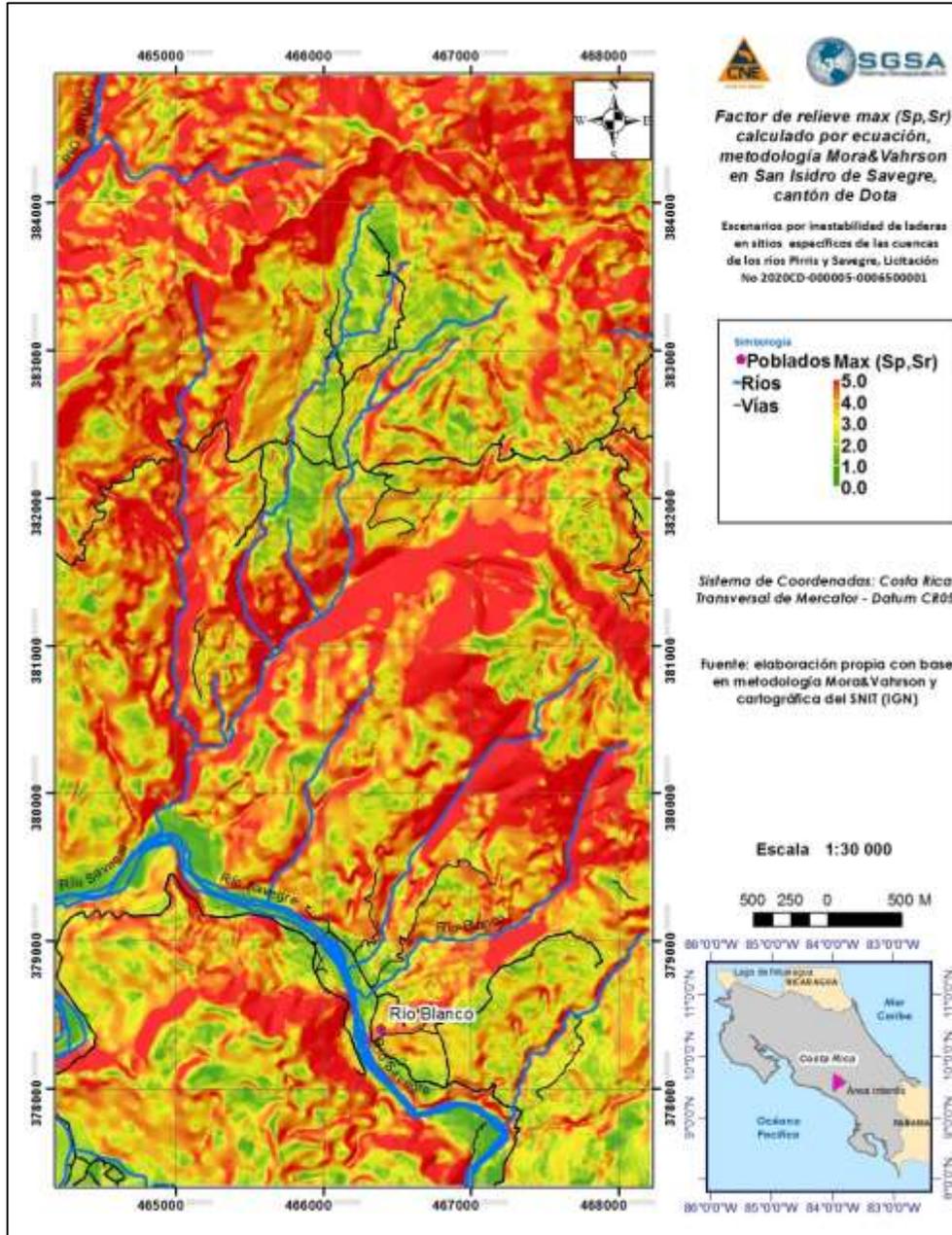


Figura A2-9. Factor de relieve relativo (S_p & S_r), método Mora&Vahrson – área de San Isidro de Savegre

Fuente: Metodología Mora&Vahrson, a partir de MNT derivado de IGN-RN, 2017

A2.1.3 Factor litológico (SI)

El Factor de Susceptibilidad Litológica (SI), del Método Mora & Vahrson se obtiene a partir de la reclasificación determinística (opinión de experto) de las características geotécnicas de las litologías presentes en el área de estudio. En el Cuadro A2-3 se incluyen las características y descripciones de las litologías y criterios con los que han sido asignados los valores del factor litológicos con las consideraciones para Peñas Blancas.

**Cuadro A2- 3. Clasificación del factor SI para San Isidro de Savegre
METODOLOGÍA MORA-VAHRSON (1994)**

MACROZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA DE LA INESTABILIDAD DE LADERAS

Debido a la dimensión de los afloramientos rocosos, usualmente restringida en tamaño, se toma en cuenta la capa superficial del terreno, en los 5 m superiores.

Símbolo y litología	Composición y condiciones físico-mecánica e hidrogeológicas	Descripción y espesor del suelo (residual y/o transportado) y de la biomasa	Factor SI y calificación
Q-al: Aluvión fluvial, Cuaternario	Cantos, gravas, arenas, limos; pobre a parcialmente consolidados y compactos; resistencia al corte, moderada a baja; nivel freático somero (<2 m), drenaje moderado a elevado. Posibilidad de licuefacción sísmica durante eventos intensos.	Suelos húmicos delgados (<1 m) y de desarrollo moderado.	<ul style="list-style-type: none"> • SI=4,50: Elevada susceptibilidad a la inestabilidad de laderas.
Q-dcol: Depósitos de deslizamientos y coluvios	Bloques, cantos, gravas, arenas, limos (arcillas cuando hay suelos residuales-regolitos) poco a parcialmente consolidados y remoldeados; resistencia al corte baja a muy baja y/o residual. Nivel freático somero a poco profundo (≤ 1 a 5 m), variable a relativamente profundo (10-20 m en áreas relativamente distales del depósito). Posibilidad de licuefacción sísmica durante eventos intensos.	Suelos húmicos delgados (<1 m) y de desarrollo moderado.	<ul style="list-style-type: none"> • SI=4,25: Alta (cortes y laderas ≤ 3 m) a elevada [SI=4,75] (cortes > 3 m) susceptibilidad a la inestabilidad de laderas.
Mcu-ar, areniscas y lutitas fosilíferas someras, Fm. Curré, Mioceno	Rocas medianamente blandas, frecuentemente friables, con materia orgánica; medianamente a muy meteorizadas y alteradas; estratificación masiva a decimétrica, con frecuentes canales o estratos discontinuos; fracturas-diaclasas poco densas. Rocas algo tectonizadas, desde poco a muy meteorizadas. Nivel freático medianamente profundo (≥ 12 m).	Suelos húmicos medianos (≥ 3 m), a residuales (limo-arenosos hasta arcillas) algunos de elevada compresibilidad-plasticidad (MH, CH), con regolitos de desarrollo moderado a elevado. Suelo y coluvios (arenas, gravas, cantos) suprayacentes en cantidad importante (> 5m). Terrenos deforestados. Desprendimientos de coluvios y biomasa de la ladera con frecuencia elevada (erosión, soliflucción, deslizamientos, aludes).	<ul style="list-style-type: none"> • SI=4,0: Alta susceptibilidad a la inestabilidad de laderas. • Sus suelos residuales y coluvios diferenciados: SI=4,5 suprayacentes (cuando >2 m).
Mte-br, brechas, conglomerados y areniscas oscuras, Fm. Terraba, parte superior, Mioceno	Rocas relativamente duras, masivas a estratificadas gruesas (decímetros a metros), medianamente tectonizadas, alteradas y meteorizadas. Discontinuidades frecuentes y medianamente persistentes (fisuras, diaclasas, estratificación) abiertas, lisas, con rellenos sin sello y con tendencia marcada a que sus buzamientos estén orientados a favor de la pendiente de la ladera (en particular hacia la vertiente del río Savegre). Bajas permeabilidades, y niveles freáticos altos a medianamente profundos.	Suelo residual (limo-arenosos y coluvios (arenas, gravas, cantos) suprayacentes en cantidad importante (> 5m). Terrenos forestados a deforestados. Desprendimientos de coluvios y biomasa de la ladera con frecuencia elevada (erosión, soliflucción, deslizamientos, aludes).	<ul style="list-style-type: none"> • SI=3,0: Moderada susceptibilidad a la inestabilidad de laderas. • Suelos compactos y coluvios, consolidados y semi-cementados (resistencia al corte no-drenada elevada): SI = 3,25.

Símbolo y litología	Composición y condiciones físico-mecánica e hidrogeológicas	Descripción y espesor del suelo (residual y/o transportado) y de la biomasa	Factor <i>SI</i> y calificación
			<ul style="list-style-type: none"> Suelos residuales y coluvios permeables, compactos, antiguos (resistencia al corte no-drenada mediana): SI = 3,50. Suelos residuales y coluvios poco compactos y mal drenados (Resistencia al corte no-drenada débil): SI = 3,75.
OMte-ar, areniscas, lutitas, brechas y conglomerados grises, Fm. Térraba, Oligoceno- Mioceno (alguna parte podría ser del Paleoceno)	Rocas turbidíticas (estratos centimétricos a decimétricos) con alternancia de lutitas, areniscas finas hasta gruesas y ocasionales brechas o conglomerados. Predominan las areniscas. Rocas medianamente tectonizadas, alteradas y meteorizadas. Discontinuidades frecuentes y persistentes (fisuras, diaclasas, estratificación) abiertas, rugosas, con rellenos, con y sin sello y con tendencia marcada a que sus buzamientos estén orientados a favor de la pendiente de la ladera (en particular hacia la vertiente del río Savegre). Bajas permeabilidades, y niveles freáticos altos.	Suelo residual (arenas, limos arcillas) y coluvios (bloques, arenas, gravas, cantos) suprayacentes en cantidad moderada (3-5 m). Vegetación moderada (semideforestada) a densa. Desprendimientos de coluvios y biomasa de la ladera con frecuencia elevada (erosión, soliflucción, deslizamientos, aludes).	<ul style="list-style-type: none"> SI=4,0: Alta susceptibilidad a la inestabilidad de laderas. Suelos compactos y coluvios, consolidados y semi-cementados (resistencia al corte no-drenada elevada): SI = 4,25. Suelos residuales y coluvios permeables, compactos, antiguos (resistencia al corte no-drenada mediana): SI = 4,50. Suelos residuales y coluvios poco compactos y mal drenados (resistencia al corte no-drenada débil): SI = 4,75.
Efc-ca, calizas someras, Fm. Fila de Cal, Eoceno Superior (algunos parches se consideran de la Fm. Punta Pelada, del Oligoceno Superior).	Calizas masivas a pobremente estratificadas, fracturadas en varios grados; desarrollo mediano a alto de carsismo. Drenaje alto, niveles freáticos profundos, debido a infiltración rápida por fracturamiento. Meteorización mediana a intensa.	Suelos húmicos medianos (≥ 1 m) y con regolitos de desarrollo moderado a elevado, de granulometría fina, predominantemente limos y arcillas de espesor ≥ 2 m. En ocasiones se aprecian desarrollos de suelos tipo caliche, con espesores < 1 m.	<ul style="list-style-type: none"> SI=2,0: Baja susceptibilidad a la inestabilidad de laderas. Sus suelos residuales diferenciados: SI=2,5 suprayacentes (cuando >2 m). Suelos residuales y coluvios poco compactos y mal drenados (resistencia al corte no-drenada débil): SI = 2,75.

Se incluyen las reclasificaciones y asignaciones del valor del parámetro SI, en la Figura A2-10, de acuerdo con la litología y el Cuadro A2-3.

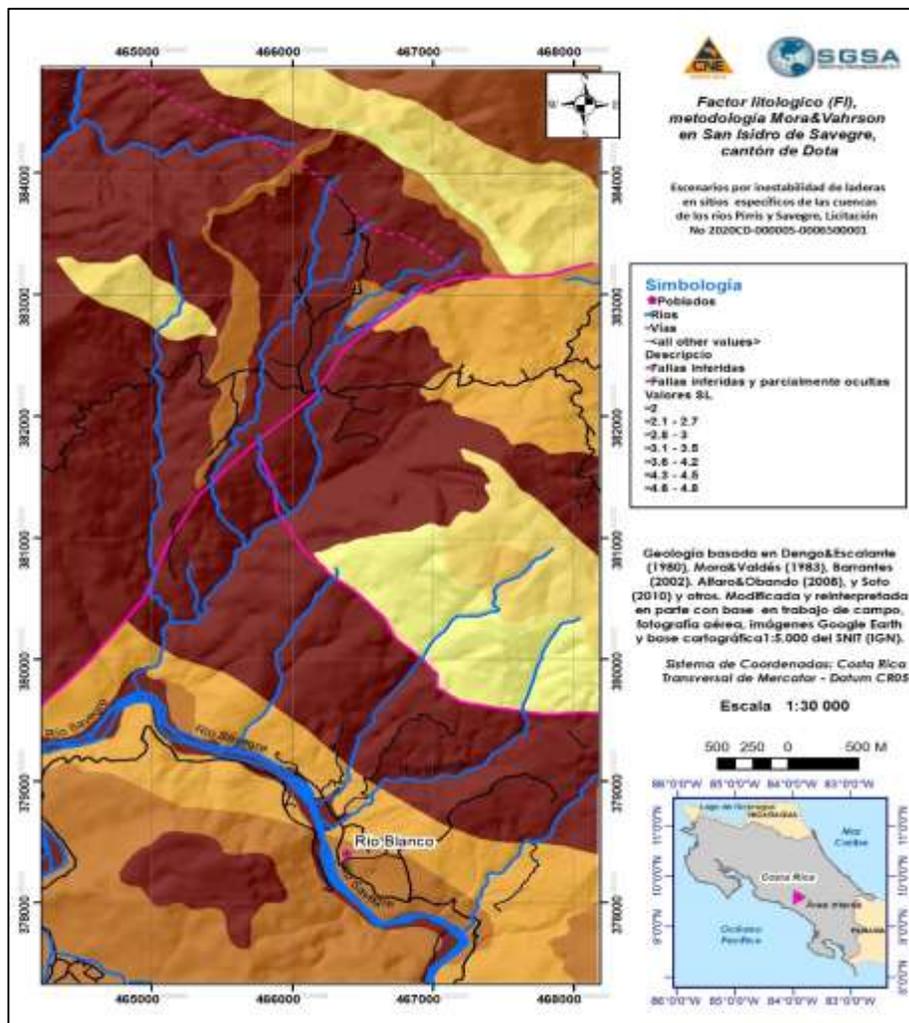


Figura A2-10. Factor litológico (SI) del área de San Isidro de Savegre
Fuente: Elaboración propia por G. Soto y S. Mora, 2020

Además de la litología, calificada de acuerdo con la unidad geológica respectiva, se contempló la influencia de las fallas tectónicas sobre la calidad geomecánica de las litologías. Por lo general, su presencia ocasiona fracturación y alteración hidrotermal, por lo que debilita sus estructuras y reduce su resistencia. En el Cuadro A2-4 se muestran las condiciones, actividades, valor asignado y buffer, para cada falla respectiva. En la Figura A2-11 se incluye el factor de susceptibilidad litológica empleado en el modelo.

Cuadro A2- 4. Influencia de las fallas tectónicas, con su valor asignado y área buffer respectiva

Condición	Actividad	Valor Asignado	Buffer de cada lado (Unidad: metros)
Falla inferida	Desconocida	0,25	100
Falla inferida oculta	Desconocida	0,25	50
Falla comprobada	Activa	0,50	200

Fuente: criterio del Dr. Sergio. Mora, 2017

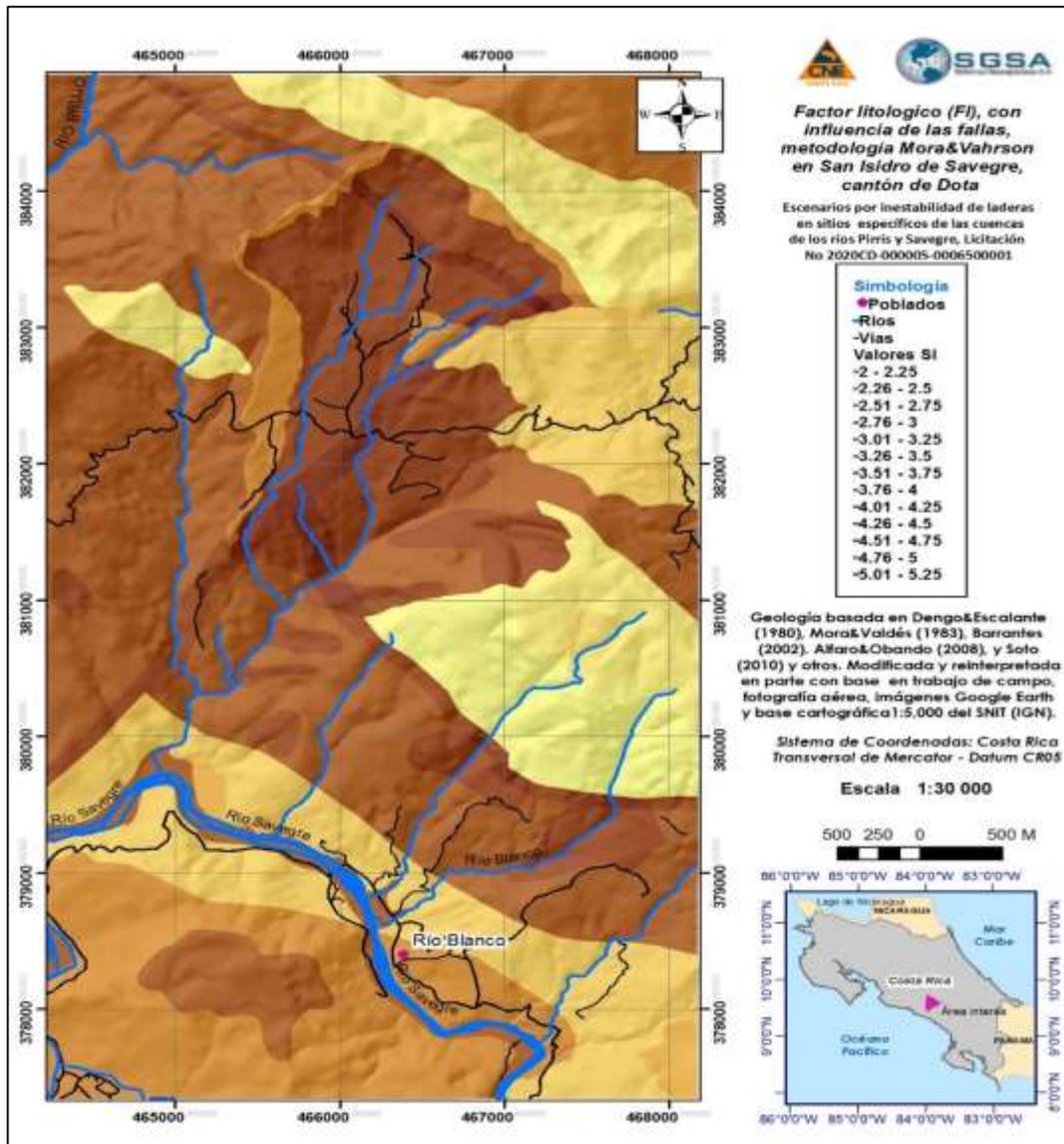


Figura A2-11. Factor litológico (SI), método Mora&Vahrson, área de San Isidro de Savegre y su incremento respectivo, definido por la influencia de la presencia de fallas tectónicas y de su efecto sobre la calidad geomecánica de los materiales geológicos.

Fuente: elaboración propia, con base en el mapa geológico y criterios en el Cuadro A2-4.

A2.1.4 Factor de humedad (SH)

El factor de humedad proviene de un balance hídrico, originalmente basado en la lluvia promedio menos la evaporación real. Cuando se incorpora un balance mensual de la recarga y un mapa con la estimación de la “precipitación que infiltra” (Figura A2-12), el proceso se simplifica, pues es precisamente el agua de la recarga la que da el valor de humedad del suelo. De esta manera y eventualmente, se genera la línea de base de las presiones intersticiales, a partir de las cuales las lluvias intensas harán luego que se alcance su valor crítico que inducirá hacia la reducción del factor de seguridad ($FS < 1,0$) y a la ruptura del equilibrio límite de la ladera, o sea, del umbral de la inestabilidad del terreno.

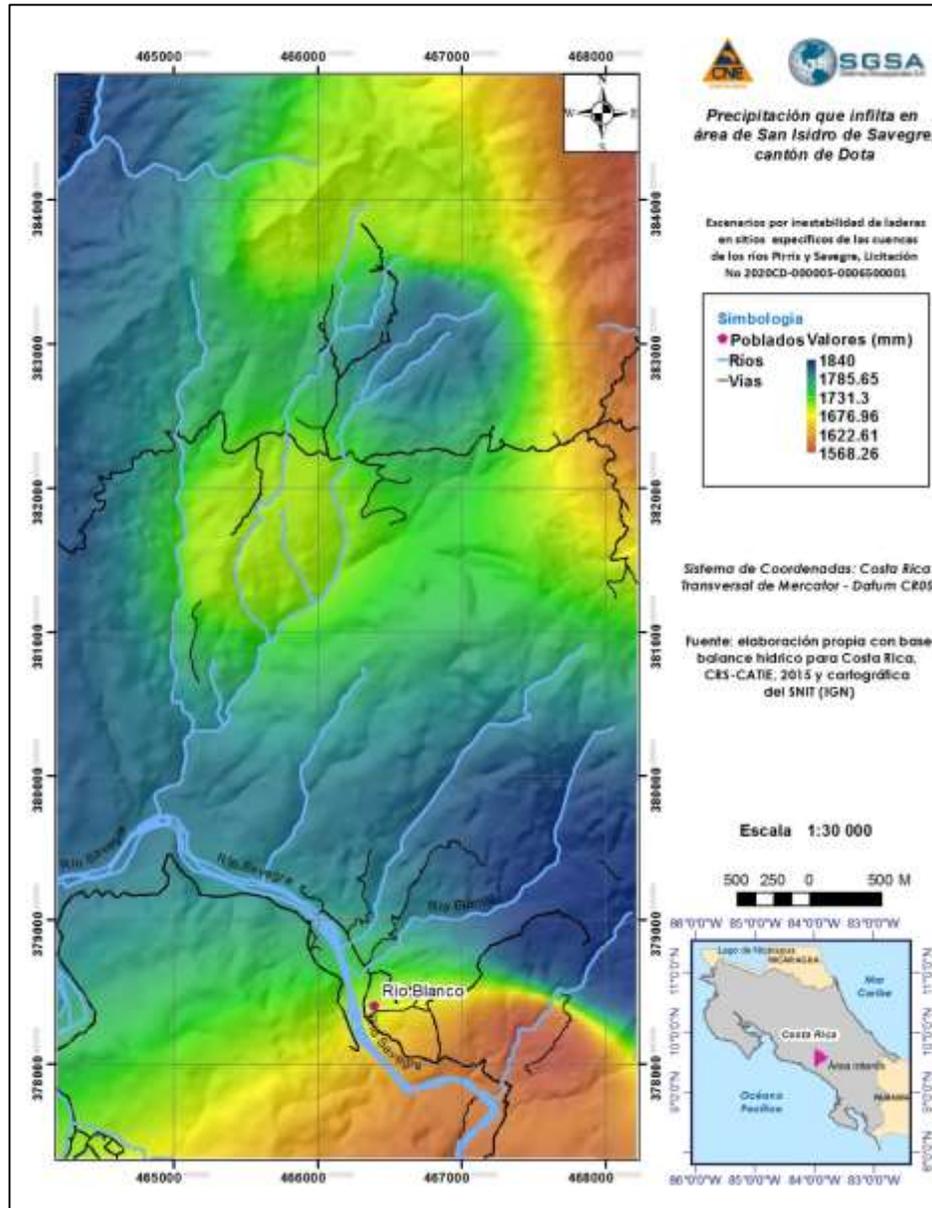


Figura A2-12. Precipitación “que infiltra” en el área de San Isidro de Savegre
Fuente: CATIE-CRS, balance hídrico, 2015

La media, para el archivo de lluvia que infiltra, es de 1.740,8 mm, con una desviación estándar de 68,4 mm, con un máximo de 1.840 y un mínimo de 1.568 mm. Los rangos para la reclasificación, utilizados para producir el factor de humedad (Sh), se muestran en el Cuadro A2-5.

Toda el área está cerca de un rango entre 4,4 o 1568 mm y 5,0 (mayor a 1800 mm). Por esto se ha aplicado un re-escalamiento que lleve los valores del factor de humedad entre 4.4 y 5. La aplicación de esta técnica se realiza para disminuir discontinuidades al usar valores enteros en el proceso metodológico Mora&Vahrson,

Cuadro A2- 5. Valores del factor de humedad en función de la precipitación que infiltra

Rango en mm	Valor Sh	Descripción
0 – 800	1	Muy bajo
800 – 1200	2	Bajo
1200 – 1400	3	Medio
1400 – 1800	4	Alto
Más de 1800	5	Muy alto

Fuente: elaboración con base en criterio de Saborío (2017 y 2020).

El mapa del Factor de Susceptibilidad por Humedad (Sh) del área de Copey- Santa María, se presenta en la Figura A2-13. Este mapa es un indicativo de la humedad intersticial prevalente del suelo y representa un balance hidrológico de suelos locales; en este caso, ha sido deducido a partir de un índice de la “precipitación que infiltra”.

Como puede apreciarse los valores del factor de humedad son altos en el área de análisis con una media de 4,43. Lo anterior deducido de un balance mensual, por lo que en condiciones extremas se podría usar un 5 para toda el área.

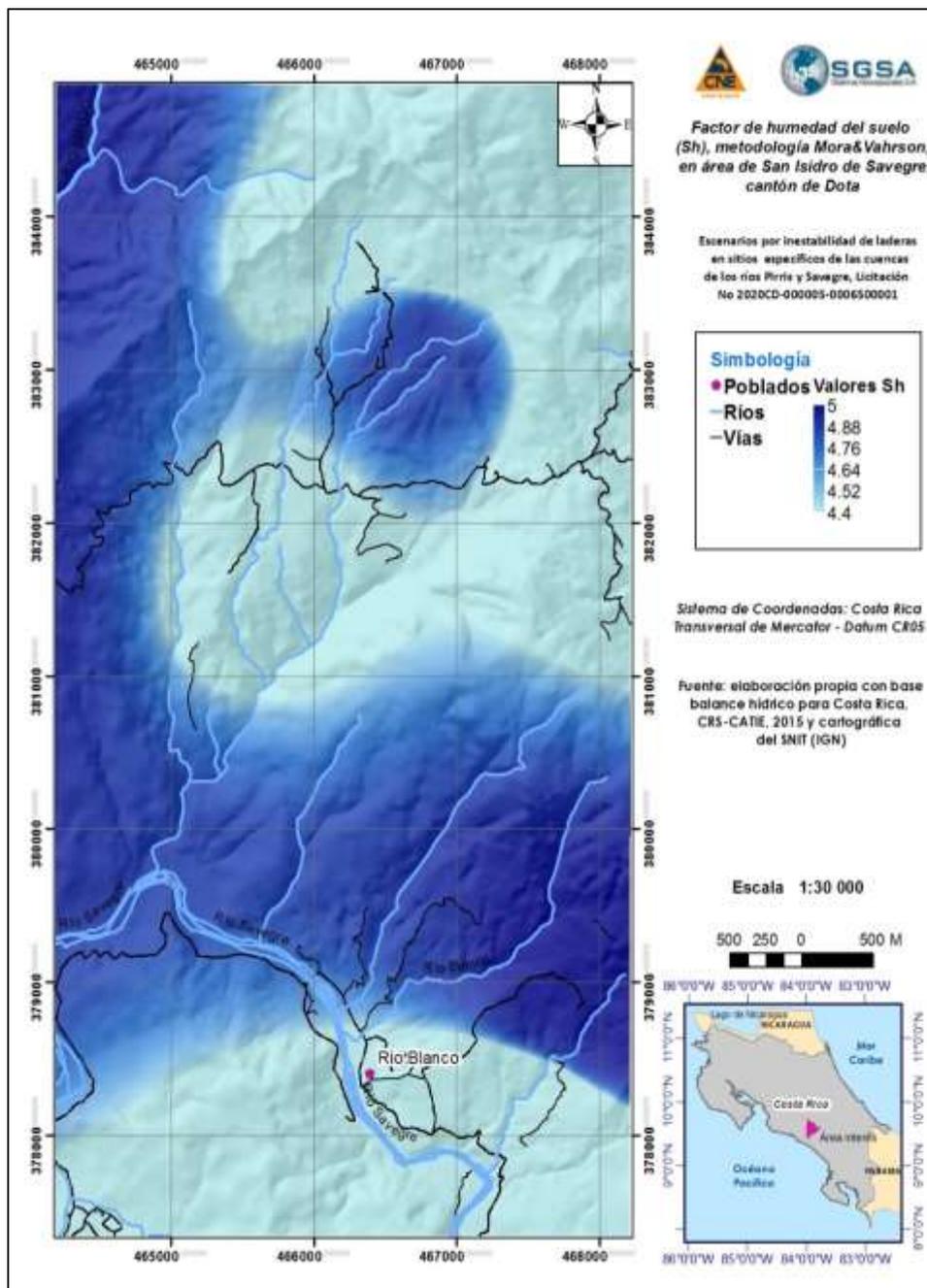


Figura A2-13. Factor de susceptibilidad derivada de la humedad prevalente (Sh), de acuerdo con el método Mora&Vahson; San Isidro de Savegre
Fuente: Elaboración propia con base a mapa de precipitación que infiltra, CRS-CATIE, 2014 y 2015

A2.1.5 Susceptibilidad a la inestabilidad de laderas

La combinación de los factores de susceptibilidad derivada del relieve relativo o las pendientes, la litología y humedad prevalente del terreno, permite la producción del mapa con las áreas con susceptibilidad intrínseca a la inestabilidad de laderas. En la Figura A2-14 se incluye la susceptibilidad para el factor Sp, Su media es de 63 puntos y posee una desviación estándar de 25 puntos, con un mínimo de 0 y máximo de 125 puntos.

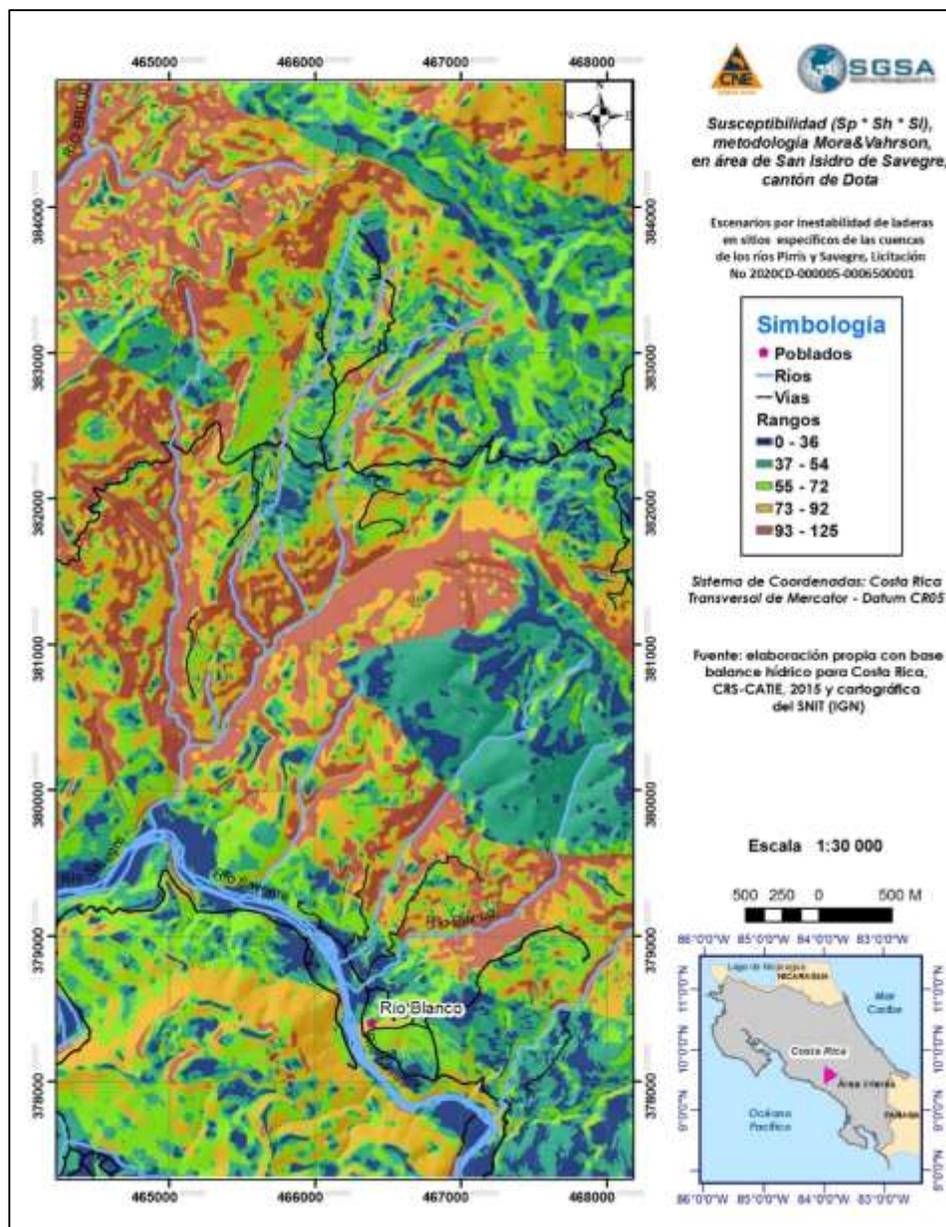


Figura A2-14. Susceptibilidad potencial a deslizamientos (Sp, Sh, Sl), en área de San Isidro de Savegre

Fuente: Elaboración propia, con base a la metodología Mora&Vahrson

A2.1.6 Factor de disparo por influencia de la acción de la sismicidad intensa (Ds)

Para analizar el potencial de disparo, a causa de la influencia de la intensidad sísmica, se utilizó el mapa de Aceleración Pico del Terreno, para un período de recurrencia de 500 años (Figura A2-15) del proyecto RESIS II, en este caso re-interpolado para el área de análisis en Peñas Blancas. También se aplicaron los valores de la aceleración, para eventos con período de recurrencia de 1.000 años y 2.500 años, según se muestran en las Figuras A2-16 y A2-17.

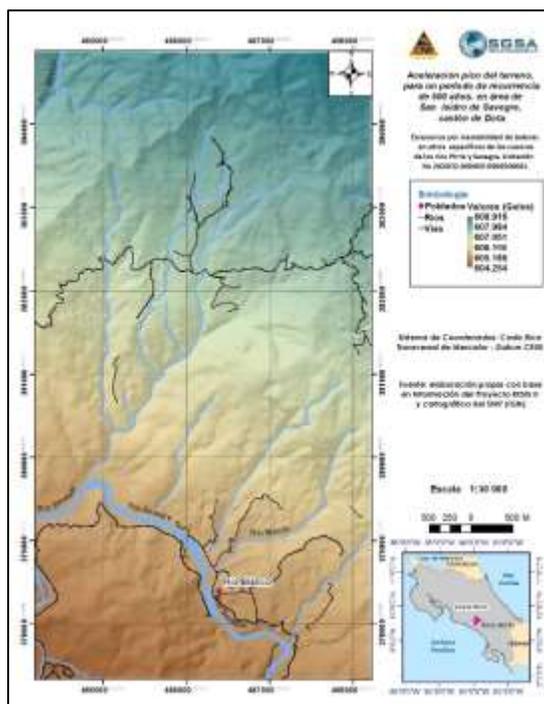


Figura A2-15. Aceleración pico del terreno en gales⁵ para un período de recurrencia 500 años. Elaboración propia, con base en RESIS II, en área de San Isidro de Savegre

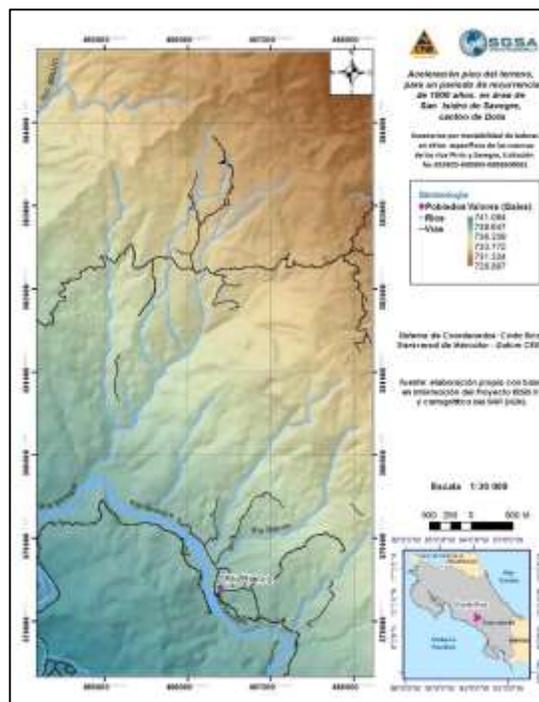


Figura A2-16. Aceleración pico del terreno en gales para un período de recurrencia 1000 años. Elaboración propia con base en RESIS II, en área de San Isidro de Savegre

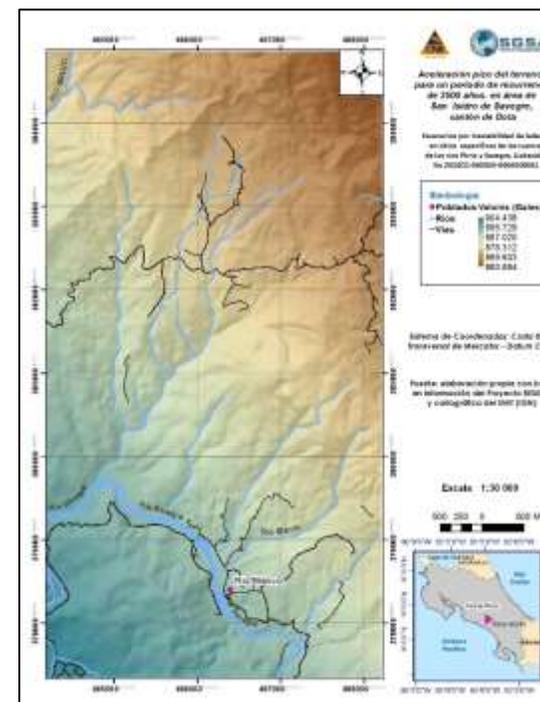


Figura A2-17. Aceleración pico del terreno en gales para un período de recurrencia 2500 años. Elaboración propia con base en RESIS II, en área de San Isidro de Savegre

⁵ 1 gal = 0,01 m/s². La aceleración gravitacional de la Tierra varía entre 976 y 983 gal.

El Cuadro A2-6 presenta la relación entre la Aceleración pico del terreno (PGA) y el factor de disparo por sismicidad (Ds), de la metodología Mora&Vahrson.

Cuadro A2- 6. Aceleración pico del terreno (PGA), valores del factor de influencia de la intensidad sísmica (Ds) y su calificación.

PGA (gales)	Calificación	Factor Ds
7	Marginal o nulo	1
19	Muy bajo	2
47	Bajo	3
105	Moderado	4
218	Mediano	5
415	Considerable	6
728	Importante	7
1175	Elevado	8
1746	Muy elevado	9
2388	Extremadamente elevado	10

Fuente: elaboración propia con base a la fórmula (5).

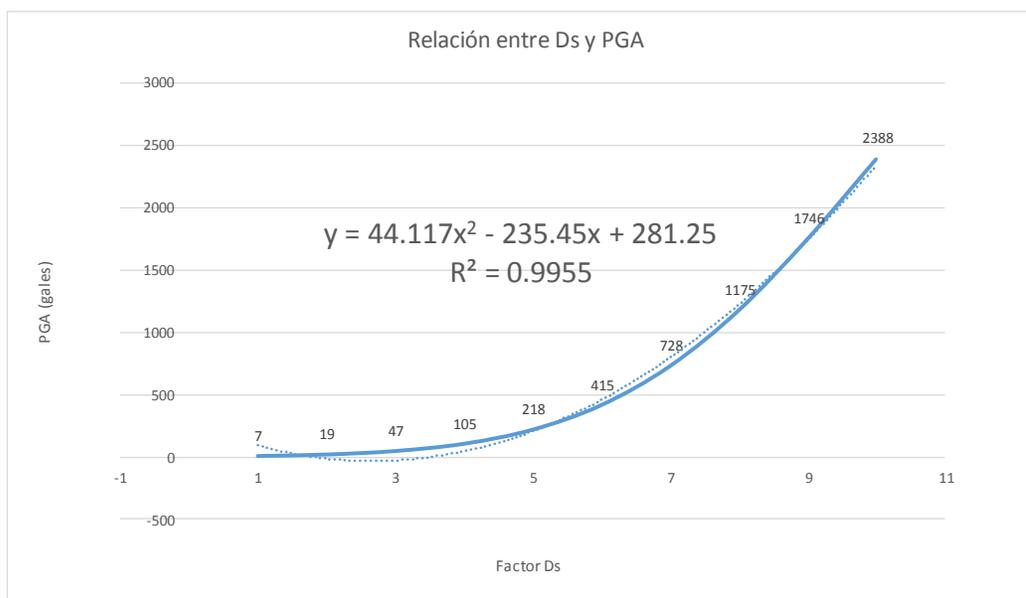


Figura A2-18. Función de aceleración pico del terreno en gales en función del disparo sísmico Ds.

A través de una sumatoria, se integran los mapas de del factor agregado de disparo, derivado de la influencia de la PGA y del potencial sísmico de las fallas, para así producir el mapa del factor de disparo por sismicidad Ds para Pr=500 años. (Figura A2-19). De igual forma se procede para los disparos por sismicidad Ds para Pr=1000 y 2500 años (Figuras A2-20, y A2-21).

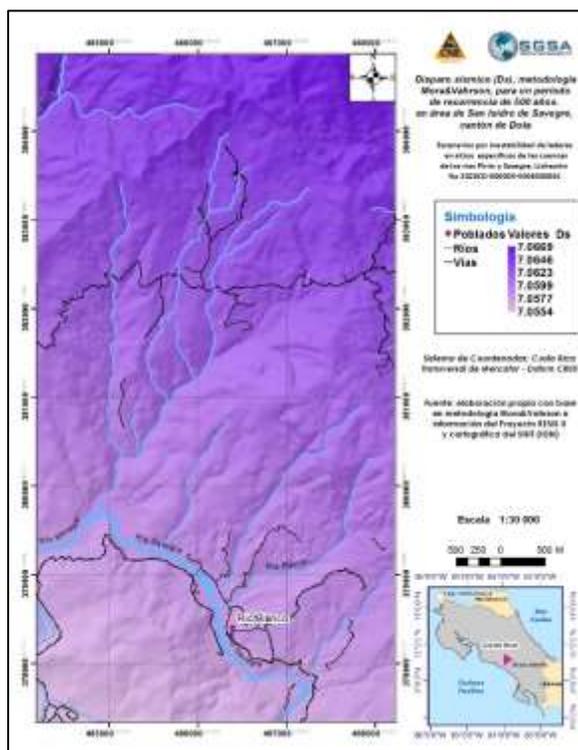


Figura A2-19. Factor de disparo por sismicidad (Ds), para Pr=500 años, método Mora&Vahrson., en área de San Isidro de Savegre

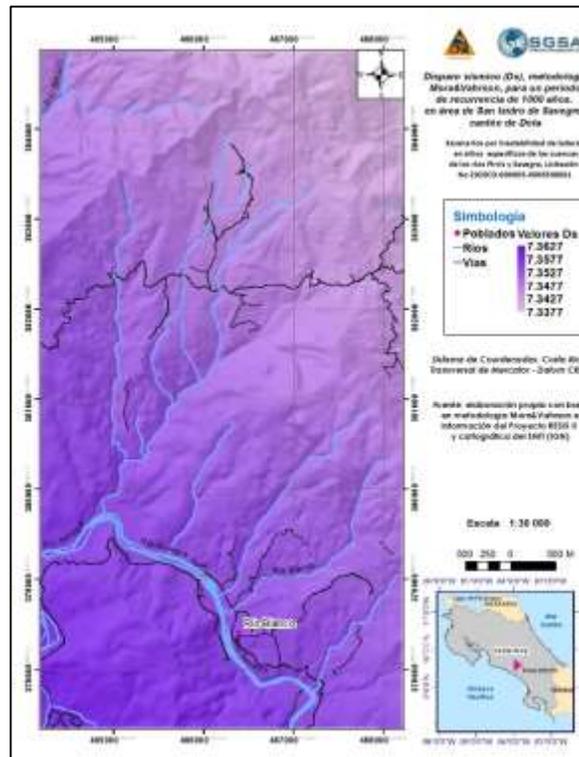


Figura A2-20. Factor de disparo por sismicidad (Ds), para Pr=1000 años, método Mora&Vahrson en área de San Isidro de Savegre

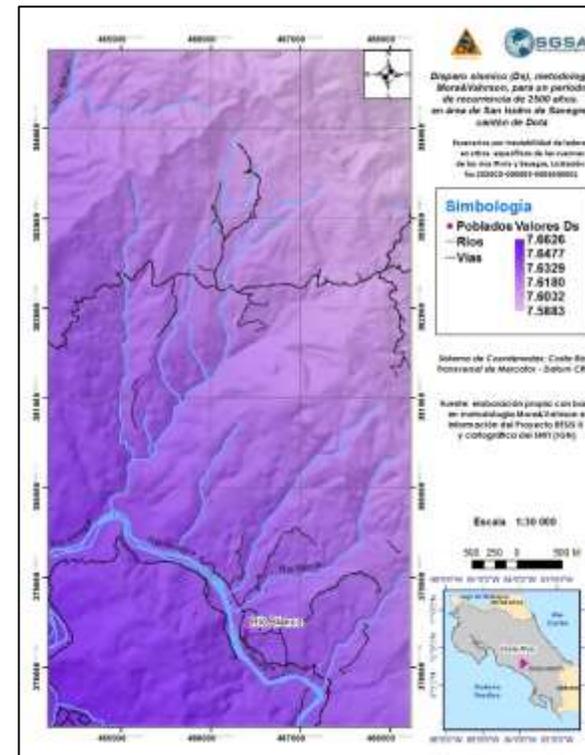


Figura A2-21. Factor de disparo por sismicidad (Ds), para Pr=2500 años, método Mora&Vahrson, en área de San Isidro de Savegre

A2.1.7 Factor de disparo derivado de la influencia de la intensidad de las lluvias (Dp)

El factor de disparo, por la influencia de la intensidad de las lluvias (Dp), se obtiene a partir de la clasificación de los eventos diarios de precipitación para 24 horas y un período de recurrencia de 100 años (UNED, 2017). La calificación y el factor Dp respectivo, pueden visualizarse en el Cuadro A2-7.

Cuadro A2- 7. Calificación de la influencia de la intensidad de la precipitación máxima de 24 horas, para Tr= 100 años

Precipitación máxima, para duración 24 horas y Tr = 100 años	Intensidad máxima, para duración 24 horas y Tr = 100 años (mm/h)	Calificación	Factor Dp
< 100 mm	0 - 4.17	Muy baja	1
100 – 200	4.17 - 8.33	Baja	2
200 – 300	8.33 – 12.5	Media	3
300 – 500	12,5 – 20.83	Elevada	4
> 600	>25	Muy elevada	5

Fuente: Metodología Mora&Vahrson, 2015.

La intensidad de la lluvia para 24 horas y PR=100 años se incluye en la Figura A2-22, con valores que van en aumento de Este a Oeste, este factor se obtiene con influencia de las estaciones La Lucha (al Oeste del área, Damas (SurOeste del área y Chirripó al Este del área, El factor de disparo derivado de la intensidad de las lluvias (Dp), se incluye en la Figura A2-23. Este factor presenta valores de 4 a 5, con un énfasis en el área media de la cuenca, siguiendo el patrón espacial de la lluvia promedio anual y de lo indicado en el capítulo de las Zonas de Vida de Holdridge. Esto se traduce en una muy elevada influencia del disparo por las lluvias intensas sobre la inestabilidad de laderas.

El obtener escenarios con menor intensidad de lluvia, para períodos de recurrencia de 25 o 50 años, no se recomienda, dado que lo indicado históricamente señala que el área se ha visto afectada por tormentas muy fuertes tipo ondas tropicales con varios días de duración. Un escenario máximo puede tenerse, considerando un valor de disparo por lluvia de 5.

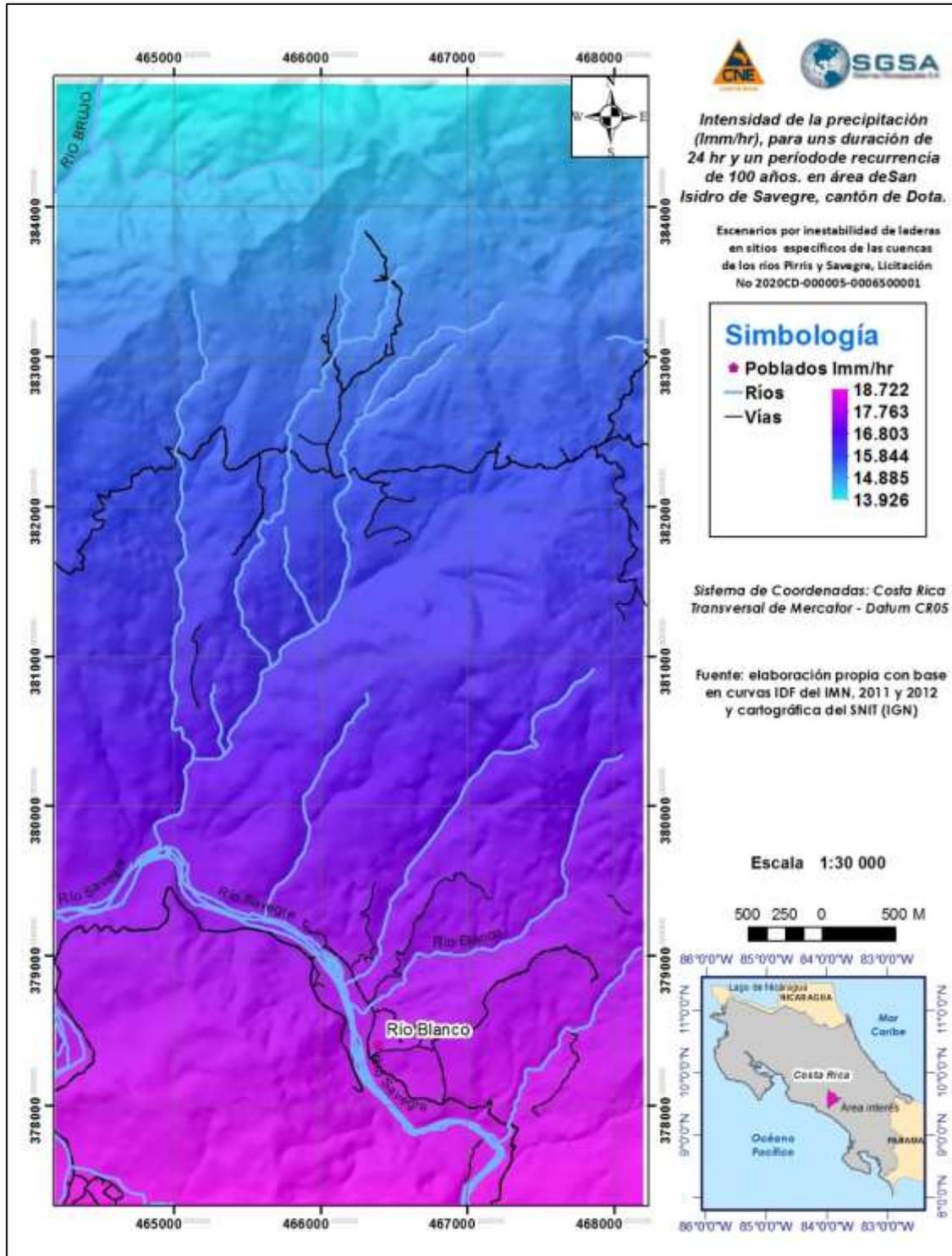


Figura A2-22. Intensidad de la lluvia de 24 horas, para T_r =de 100 años, en área de San Isidro de Savegre

Fuente: a partir de la intensidad de lluvia, IMN, 2011 y 2012.

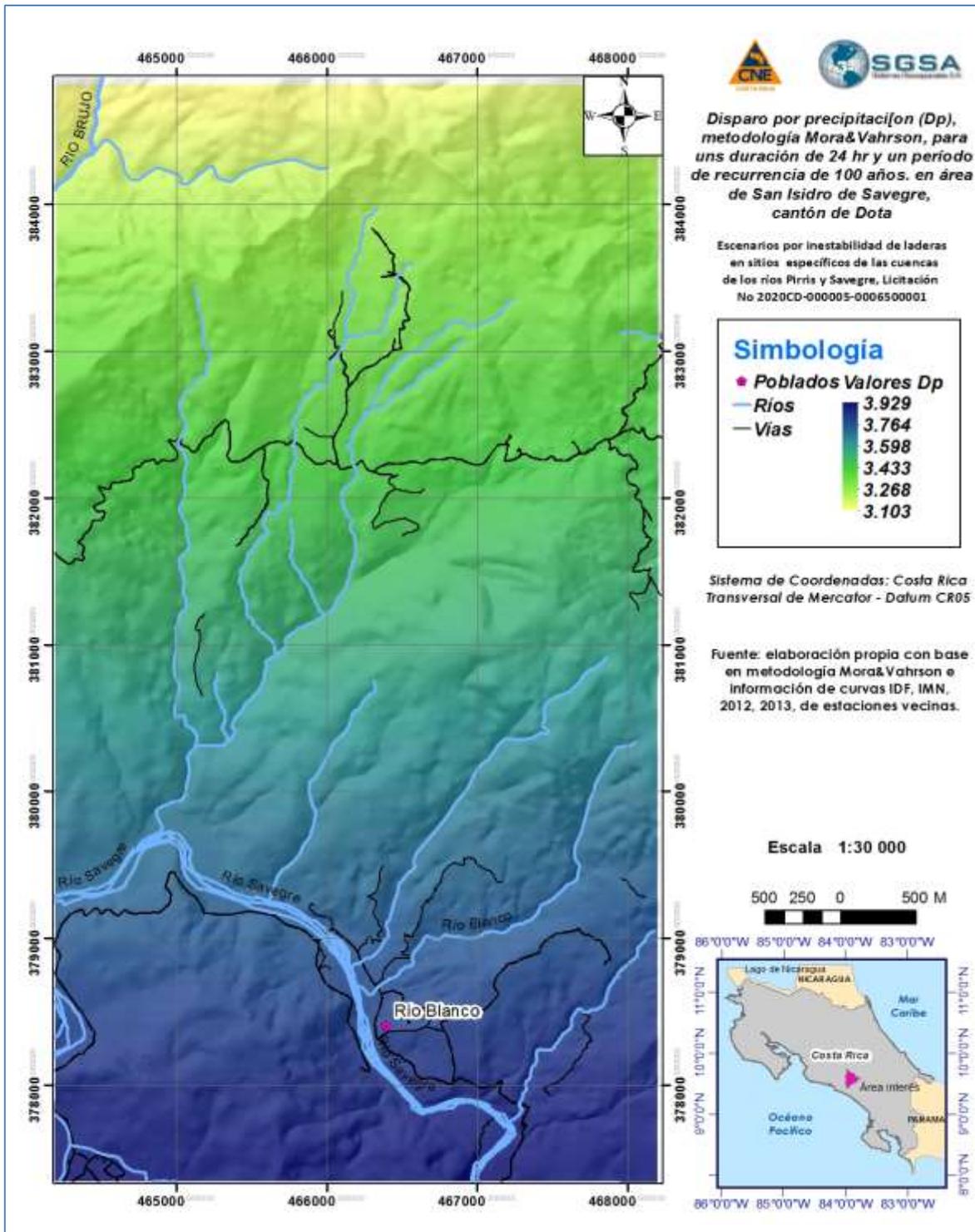


Figura A2-23. Factor de disparo derivado de intensidad de las lluvias (Dp); método Mora&Vahrson, en área de San Isidro de Savegre

Fuente: a partir de la intensidad de lluvia de 24 horas, para Tr=de 100 años, IMN, 2011 y 2012.

A2.1.8 Factores de disparo

El factor de disparo total se calcula como la suma de los factores derivados de la intensidad de la sismicidad y de las lluvias. Este factor se resume en la Figura A2-24 para Dp de 24 horas y Pr=100 años, y Ds para Pr=500 años, .y presenta un valor máximo de 11,9 puntos. El escenario corresponde, de esta manera, con la situación de la amenaza de la inestabilidad de laderas, con un evento sísmico intenso durante la estación lluviosa, luego de una lluvia de elevada intensidad.

En la Figura A2-25 se incluye el disparo para para Dp de 24 horas y Pr=100 años, y Ds para Pr=1000 años, .y presenta un valor máximo de 10,18 puntos, con una media de 9,56 que coincide con el sitio .de la Quebrada Escuadra. Si bien la influencia de la sismicidad se califica como importante, la intensidad de la lluvia hace que no se tengan valores altos para factor de disparo.

En la Figura A2-26 se incluye el disparo para para Dp de 24 horas y Pr=100 años, y Ds para Pr=2500 años, .y presenta un valor máximo de 11,9 puntos.

Como un caso máximo en la Figura A2-27 se incluye el disparo para para Dp = 5 y Ds para Pr=1000 años, .y presenta un valor máximo de 11,9 puntos.

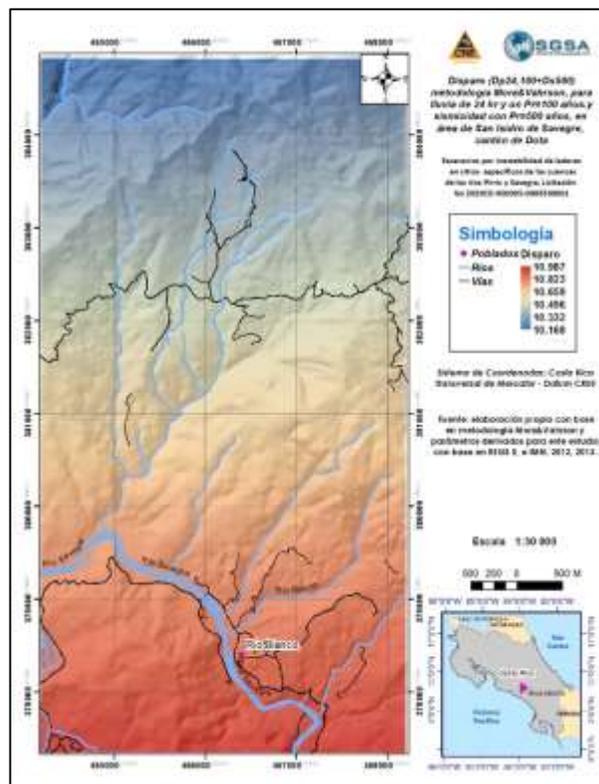


Figura A2-24. Factor de disparo (Dp100-24, Ds500), método Mora&Vahrson, en área de San Isidro de Savegre
Fuente: con base al modelo Mora&Vahrson

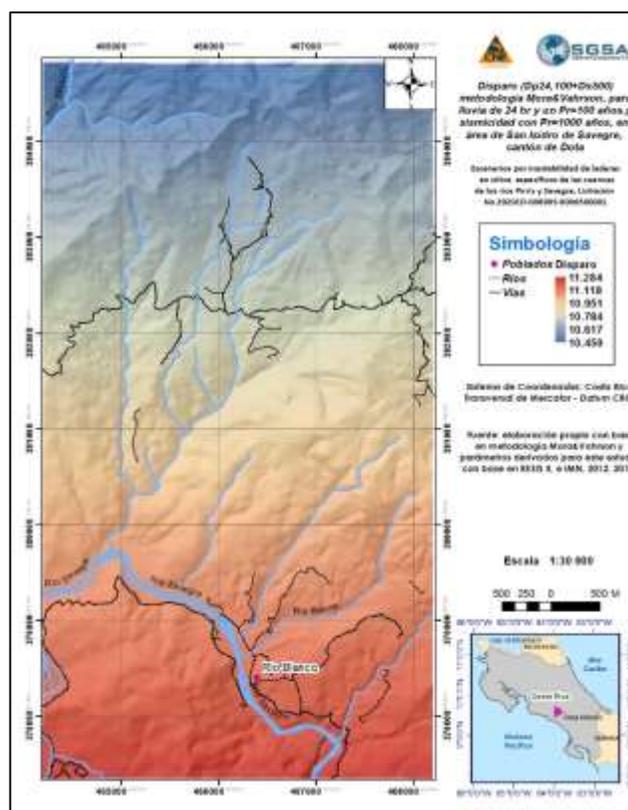


Figura A2-25. Factor de disparo (Dp100-24, Ds1000), método Mora&Vahrson, en área de San Isidro de Savegre
Fuente: con base al modelo Mora&Vahrson

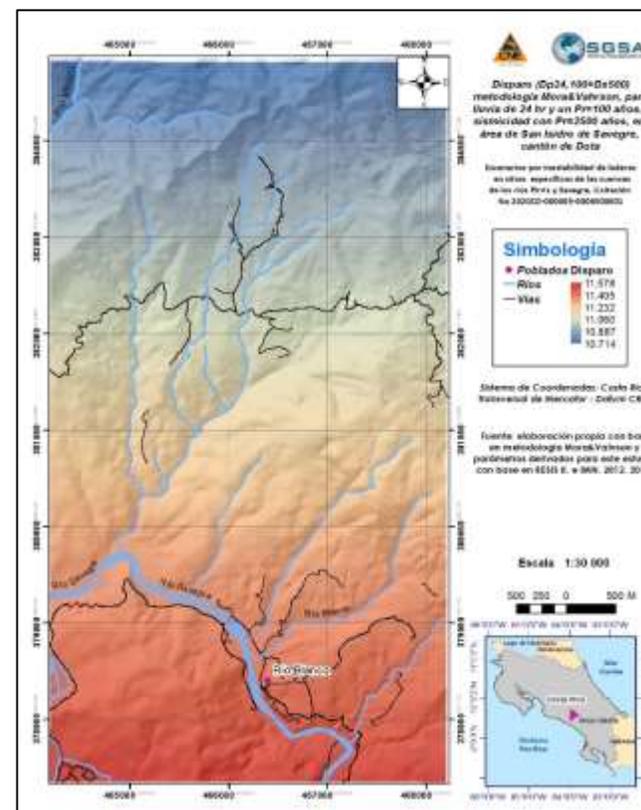


Figura A2-26. Factor de disparo (Dp100-24, Ds2500), método Mora&Vahrson, en área de San Isidro de Savegre
Fuente: con base al modelo Mora&Vahrson

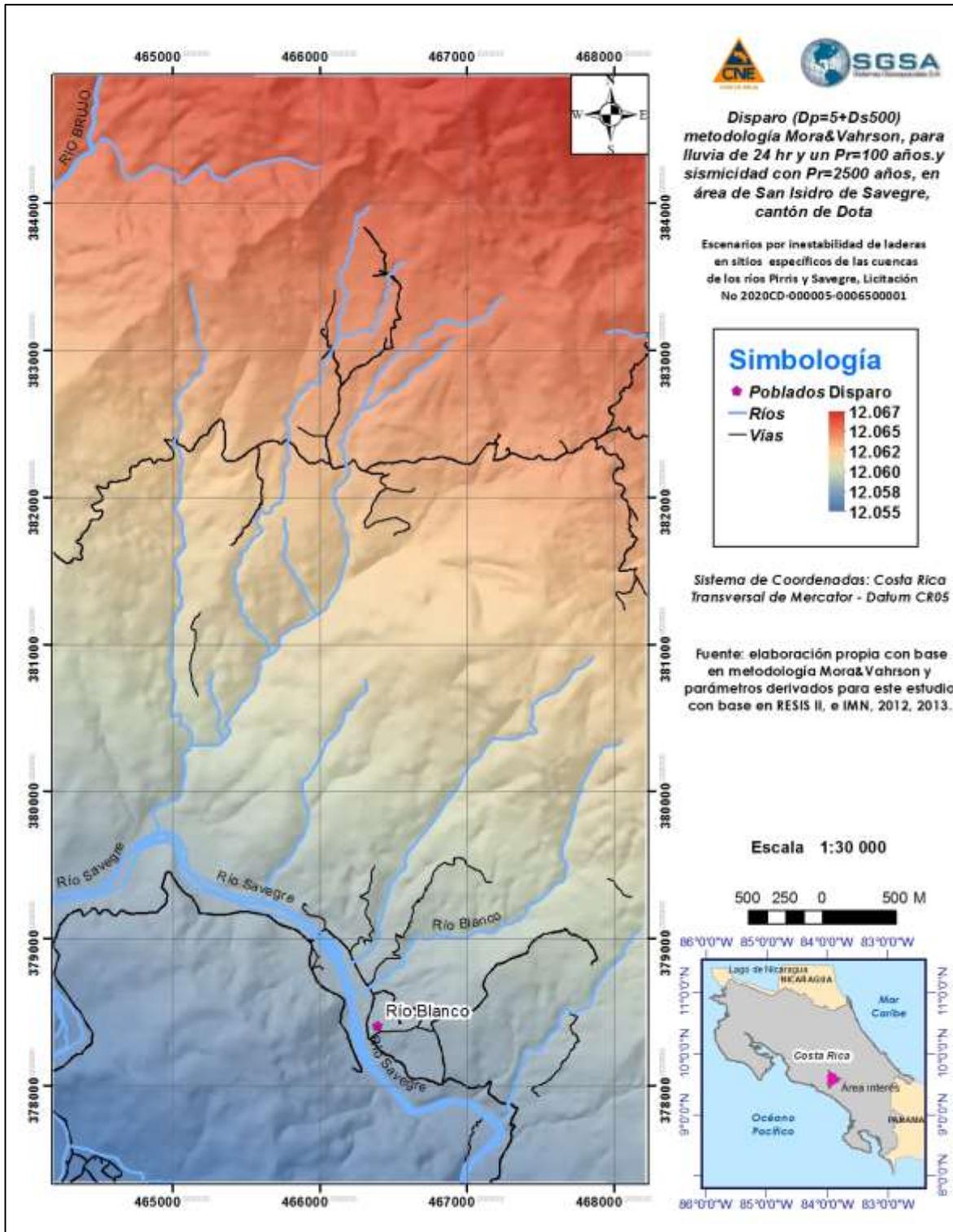


Figura A2-27. Factor de disparo ($D_p=5, 24, D_s500$), método Mora&Vahrson – área de en área de San Isidro de Savegre

Fuente: con base al modelo Mora&Vahrson

A2.1.9 Amenaza de la inestabilidad de laderas

La amenaza de la inestabilidad de laderas se obtiene a través de la combinación de las capas de susceptibilidad y disparo y de la reclasificación de sus valores respectivos, lo cual se muestra en Cuadro A2-8 y la Figura A2-28.

Cuadro A2- 8. Reclasificación de los valores de la amenaza de la inestabilidad de laderas.

Rangos	Valor	Descripción
0-25	I	Nula
25-125	II	Muy baja
125-300	III	Baja
300 – 550	IV	Media
500 -9000	V	Elevada
Mayor de 900	VI	Muy elevada

Fuente: Metodología Mora&Vahrson, modificada 2020.

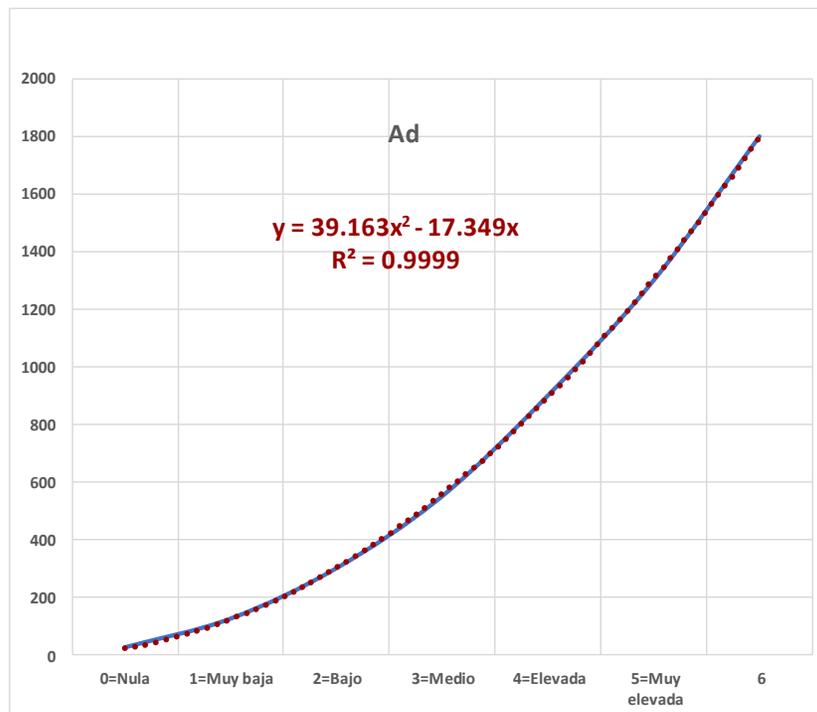


Figura A2-28. Ecuación para reclasificar la amenaza de la inestabilidad de laderas, según los valores obtenidos mediante la superposición de las capas realizada mediante el sistema de información geográfica.

Se utilizó el factor de pendientes S_p , para comparar con escenarios de disparo sísmico. En la Figura A2-29 se presenta la inestabilidad para un D_s de 500 años, y en la Figura A2-30 y A2-31, se presentan los escenarios para un D_s de 1000 y 2500 años, con D_P de 24 horas y $P_R = 100$ años.

El escenario escogido corresponde a D_s de 500, con D_P de 24 horas y $P_R = 100$ años, y S_p como factor explicado por las pendientes, siendo un escenario conservador y no tan severo para el área.

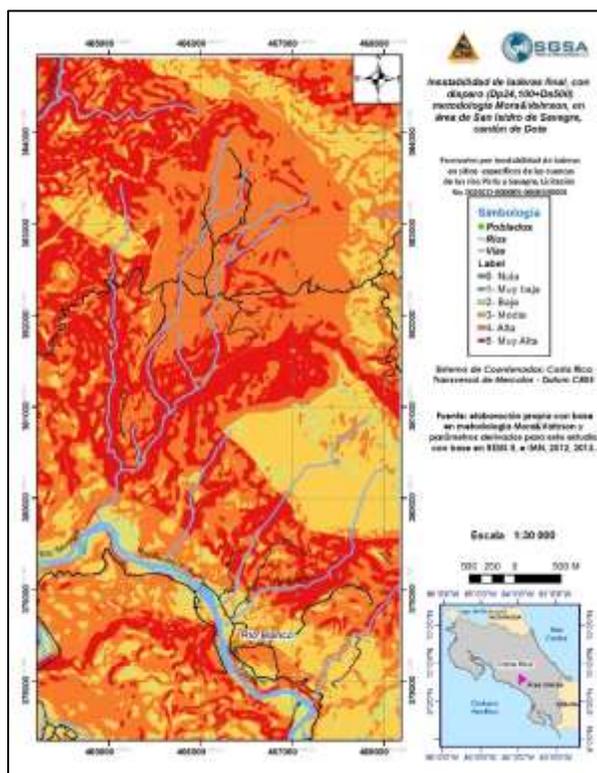


Figura A2-29. Amenaza de la inestabilidad de laderas, calculada con S_p y $D_s=500$ y $D_p24, 100$. Fuente: aplicación de la metodología Mora&Vahrson.

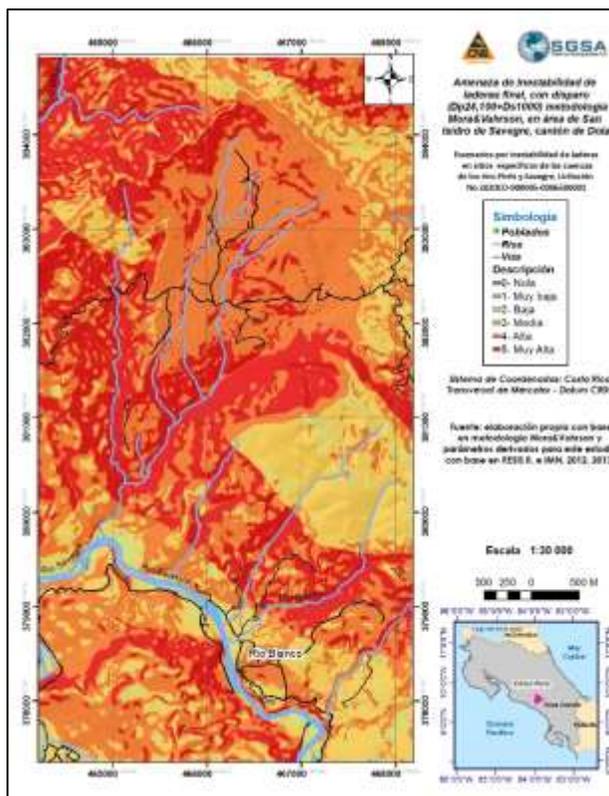


Figura A2-30. Amenaza de la inestabilidad de laderas, calculada, con S_r y $D_s=1000$ y $D_p24, 100$. Fuente: aplicación de la metodología Mora&Vahrson.

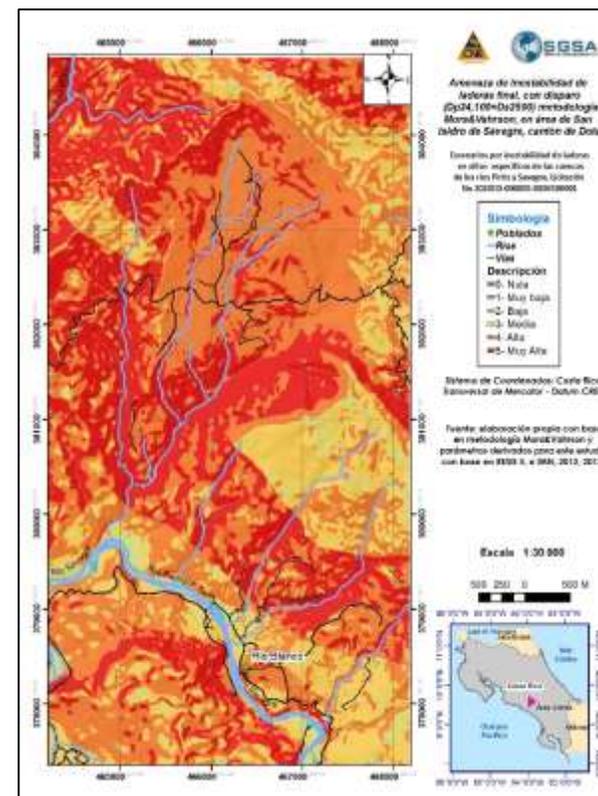


Figura A2-31. Amenaza de la inestabilidad de laderas, calculada, con S_p y $D_s=2500$ y $D_p24, 100$. Fuente: aplicación de la metodología Mora&Vahrson.

En la Figura A2-32, se incluyó un escenario extremo, con un disparo por lluvia máximo, y disparo sísmico con período de recurrencia de 500 años.

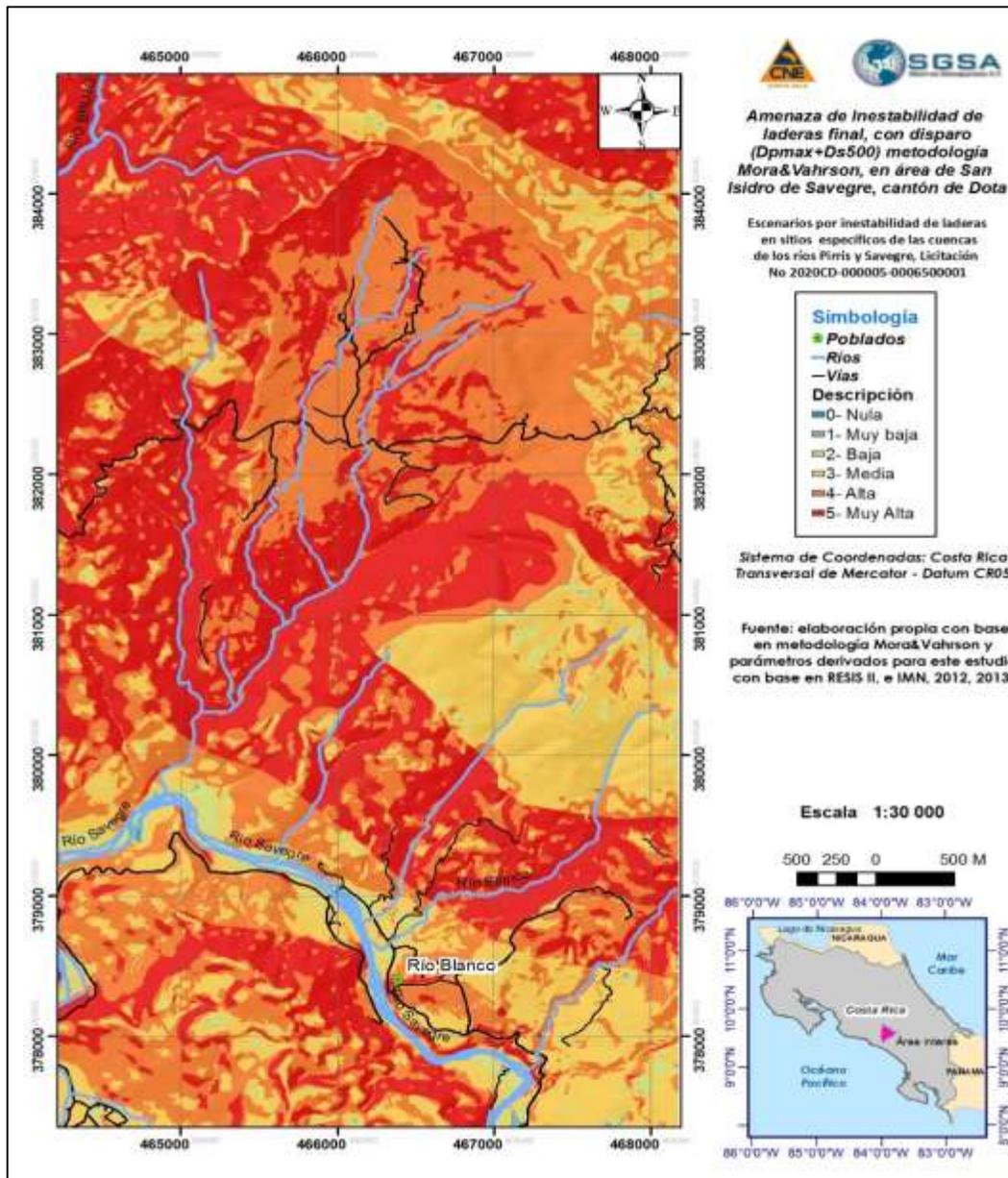


Figura A2-32. Amenaza de la inestabilidad de laderas, calculada, con S_p y $D_s=2500$ y D_p máximo
Fuente: aplicación de la metodología Mora&Vahrson

La zona analizada es altamente inestable, por lo que se escoge el escenario de DP24, 100 y DS500. Los otros escenarios indican una amenaza de inestabilidad de laderas mayor. Las únicas partes con inestabilidad de ladera media, es dado por la litología que presenta valores bajos.

Anexo 3 Modelaciones de las inundaciones por rompimiento del represamiento, para diferentes períodos de retorno

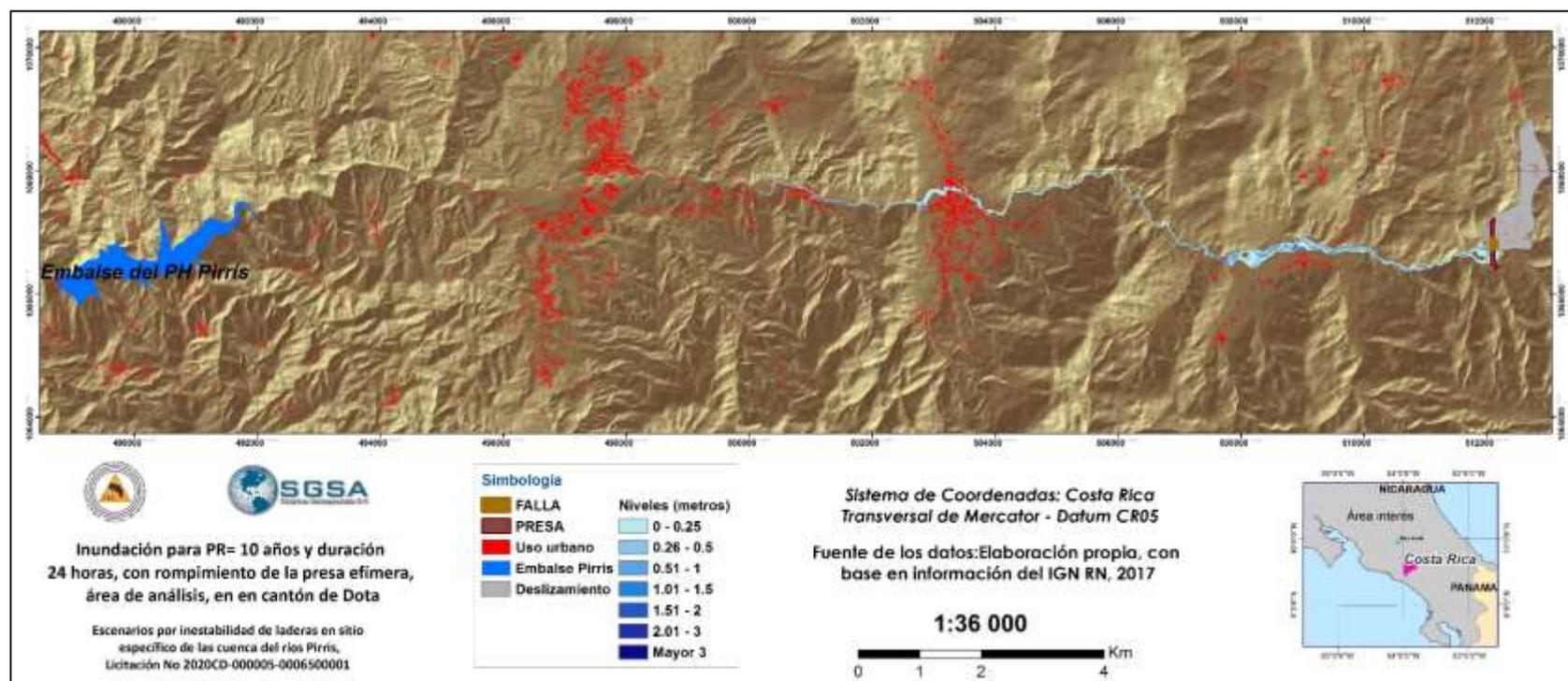


Figura A3-1. Inundaciones para PR 10 años, con rompimiento de presa efímera

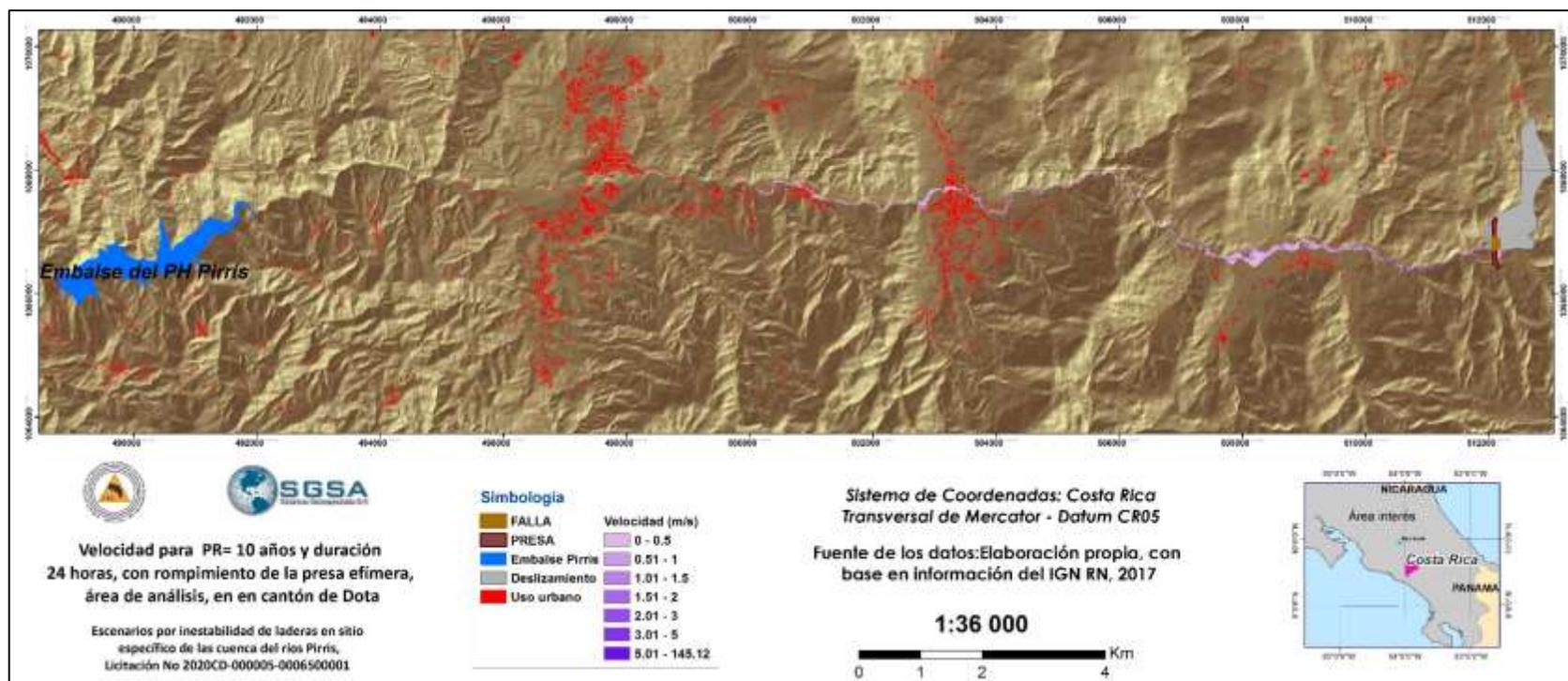


Figura A3-2. Velocidades del flujo para PR=10 años, con rompimiento de presa efímera

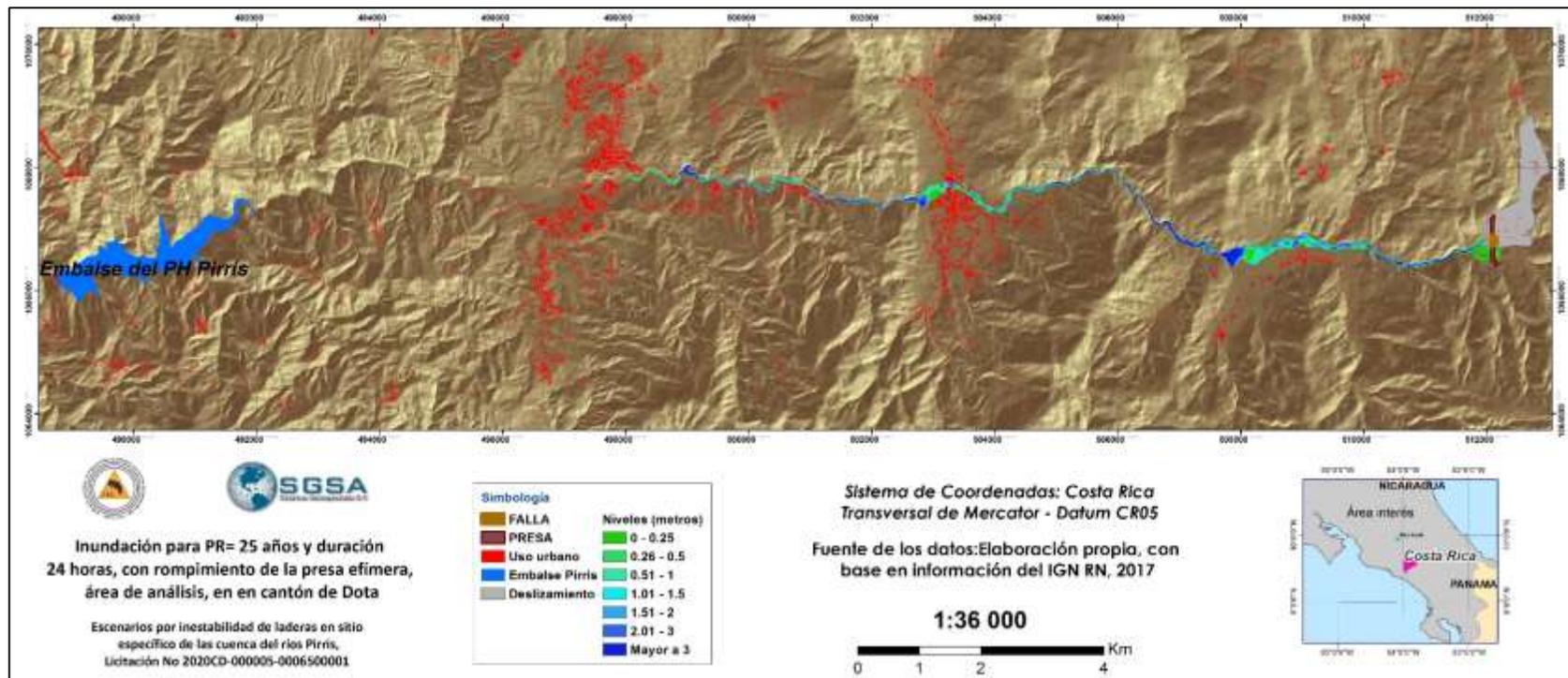


Figura A3-3. Inundaciones para PR= 25 años, con rompimiento de presa efímera

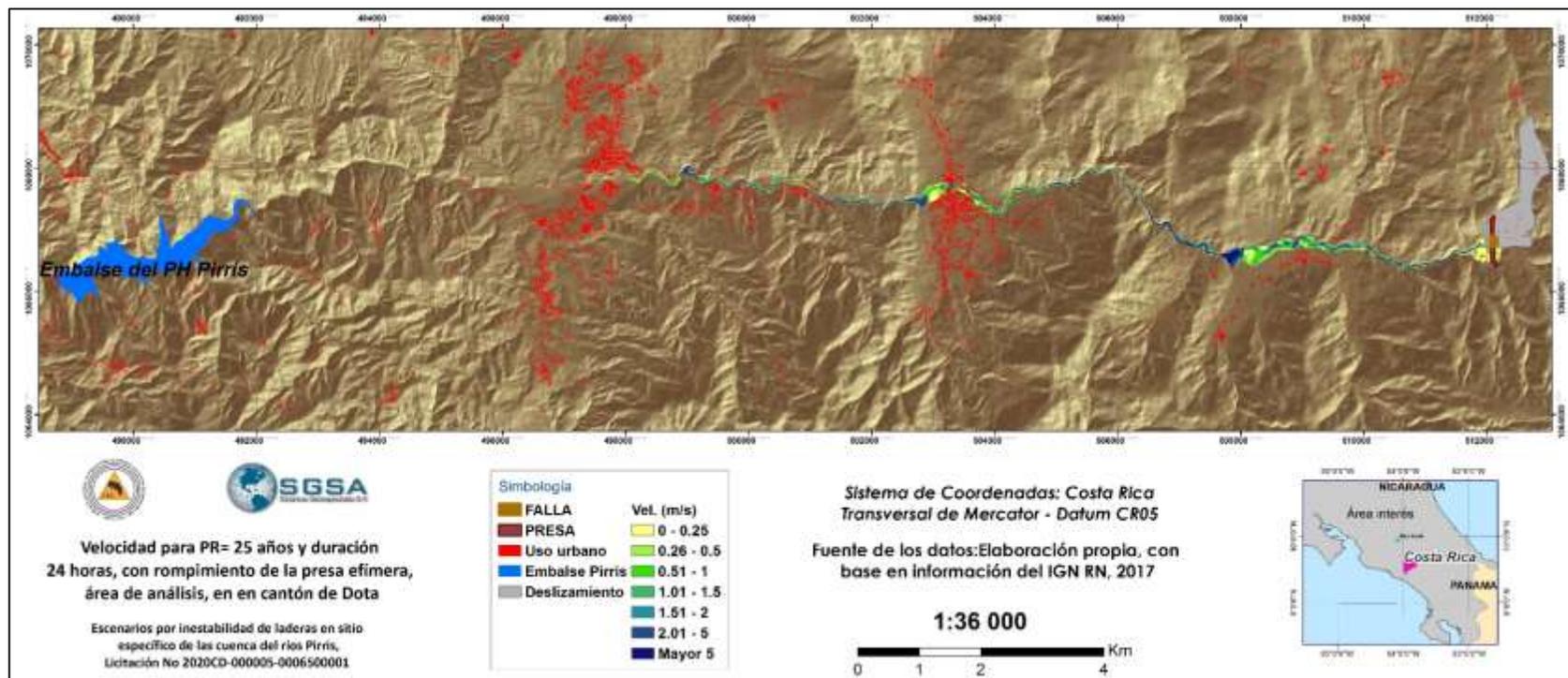


Figura A3-4. Velocidades del flujo para PR= 25 años, con rompimiento de presa efimera

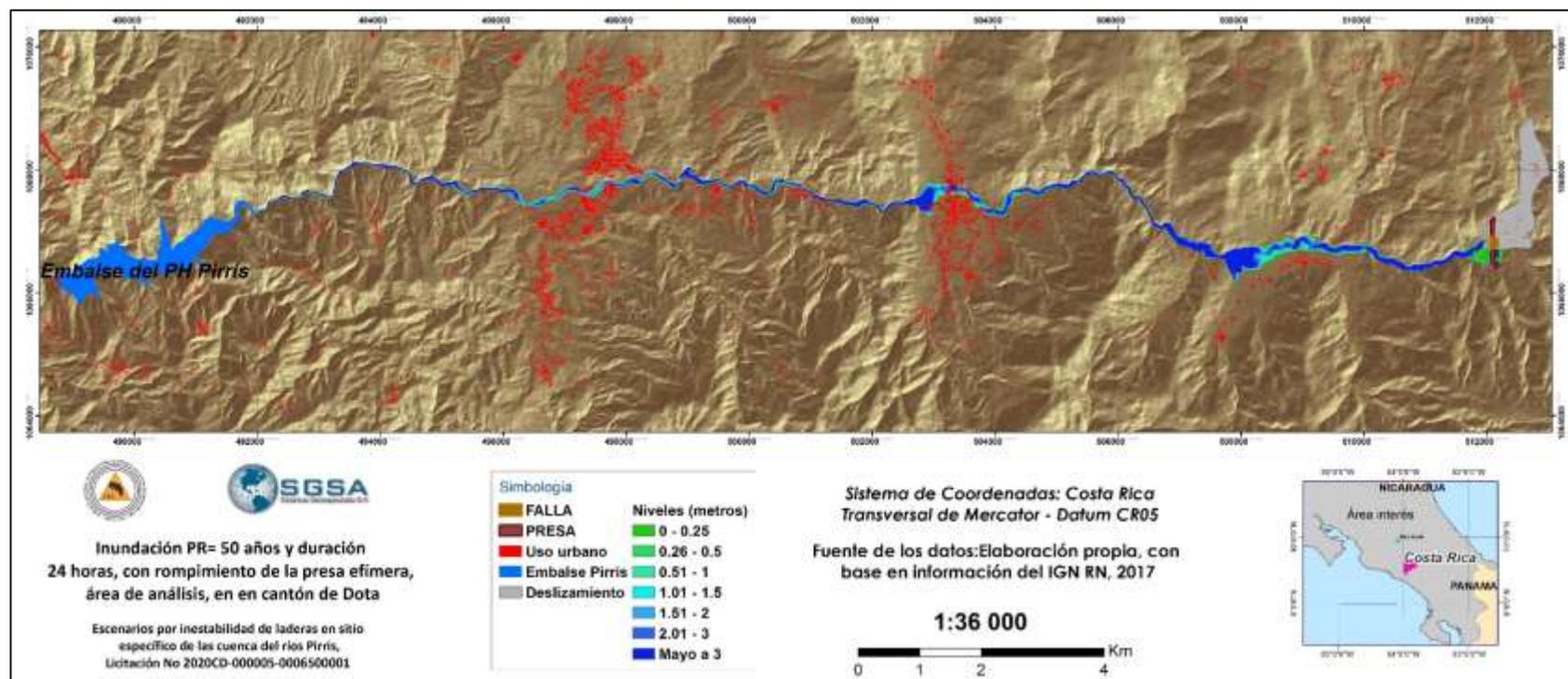


Figura A3-5. Inundaciones para PR= 50 años, con rompimiento de presa efimera

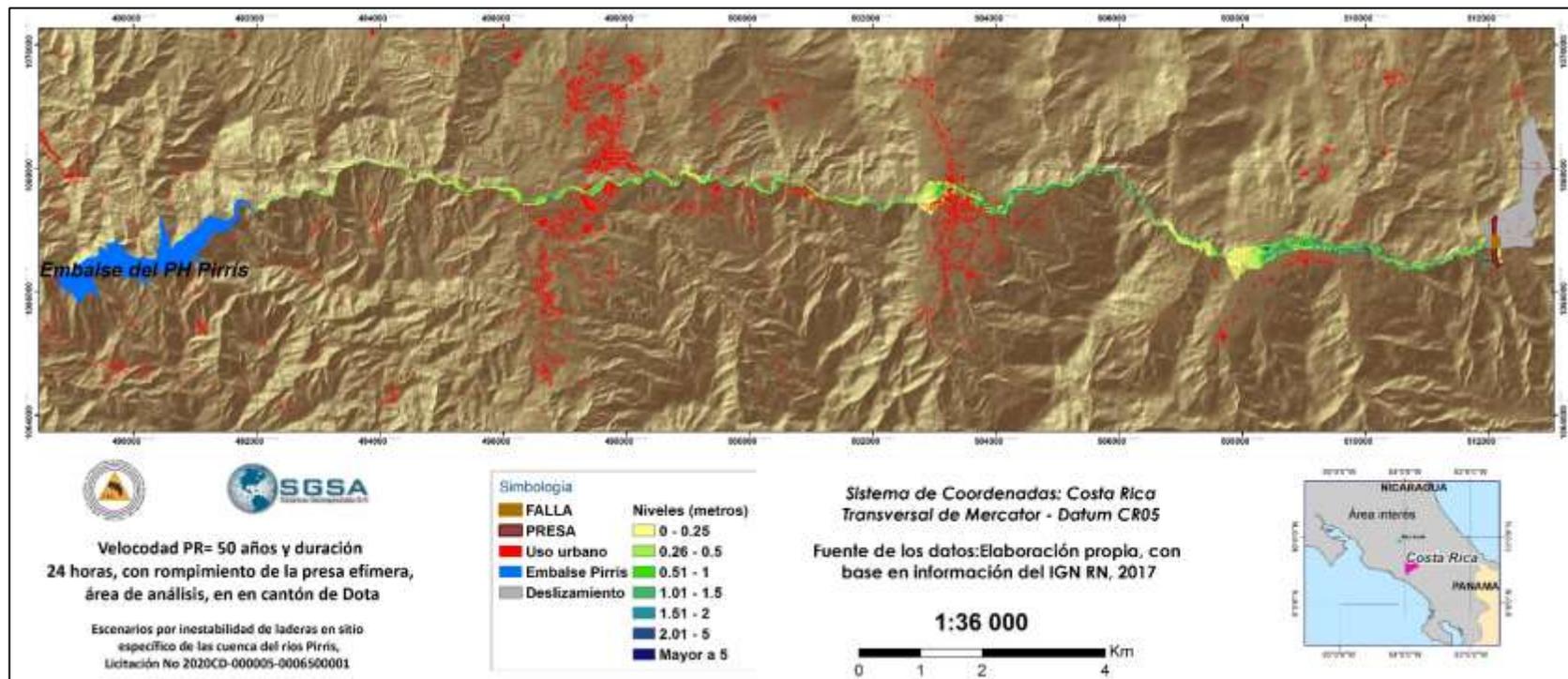


Figura A3-6. Velocidades del flujo para PR= 50 años, con rompimiento de presa efímera

Anexo 4 – Ficha para colecta de información

Nombre del sistema: Infraestructura en sitio de Queb. Escuadra – Copey y en San Isidro -Savegre

- Componente No. _____
- Nombre del propietario: _____
- Descripción: _____ Descriptor: _____
- Ubicación en coordenadas X y Y: _____, _____
- Elevación en m.s.n.m: _____
- Tipo constructivo _____
- Clasificación por Uso: a) vivienda, b) bodega, c) Otro: tanque o toma de agua, camino, especifique: _____
- Número de pisos o niveles: _____
- Sistema estructural principal:
 - Muros divisos: _____
 - Material de pisos en primer piso: _____
 - Material en pisos superiores : _____
 - Bases y/o zapatas: _____
- Tipo de cubierta o techumbre: _____
- Área construida (m²): _____
- Área del terreno (m²): _____
- Ocupación Max. Día: _____
- Ocupación Max. Noche _____
- Ocupación sábados, domingos y feriados, si es diferente a las anteriores: _____

Diagrama de ubicación:

Foto Nos:

Información de vulnerabilidad

- Se han presentado sismos () No o () (Califique intensidad: a) alta, b) media, c) baja. Hay evidencias de rajaduras en paredes.....
- Intensidad de los vientos: () elevada-vegetación orientada y doblada, () media-vegetación orientada, () baja, PREGUNTE POR EPOCA DEL AÑO, DE VIENTOS INTENSOS? -----
- ¿Daños a las estructuras por causa del viento?: _____
- Inundaciones, flujos de lodo, aludes torrenciales (cabezas de agua) en el cauce del río:
- Desbordamientos del río: () muy grandes, () medianos, () pequeños, ¿DÓNDE?-----
----- ¿Cuándo?: _____
- Hay evidencias de deslizamientos: () Muy grandes, () medianas, () pequeñas. ¿Observa grietas en pisos, paredes o muros inclinados, puertas o ventanas trabadas, desniveles en vivienda o pasillos; calles, aceras, tuberías?

- Se observa erosión: () eólica-viento, () hídrica, () gravitatoria: () Severa, () mediana, () leve

Anotaciones específicas:

1. _____
2. _____
3. _____

Anexo 5. Inventario de infraestructura en el sitio de Quebrada Escuadra, se entrega con la BD geo referenciado con mayor información.

Sitio	Componente	Punto	Propietario	Ocupante	Años Vivir	Descrip	OcupMDía	OcuMinDía	OcuS_F	Clasi_Uso	Num_pisos
Pirris	P1	505	Martín Hernandez	Martín Hernandez	43	Casa habitación	4	4	4	Vivienda	1
Pirris	P2	506	Bryan Hernandez	Ausente	13		3	3	3	Vivienda	1
Pirris	P3		David Díaz Angulo	Ausente	1		1	1	1	Vivienda, bodega en construccion	1
Pirris	P4	510	Ernesto Valverde Solis	Luis	1	Casa habitación	1	1	1	Vivienda	1
Pirris	P5	514	Jose Anibal Romano	NO		Bodega	0	0	0	Bodega	1
Pirris	P6	517	Jose Anibal Romano	NO	10	Bodega-Baldosa	0	0	0	Bodega	1
Pirris	P7	519	Manuel Carballo	NO	20		0	0	0	Vivienda	2
Pirris	P8	520	Manuel Carballo	NO		Cabaña a la par de la casa	0	0	0		
Pirris	P11	524	Adolfo Elizondo	NO	65	CASA	0	0	0	Vivienda	2
Pirris	P10	523	Jose Monge Mora	Jessica Rojas Jimenez	7	CASA	3	3	3	Vivienda	1
Pirris	P9		Juan Carlos Villalobos			Casa habitacion tipo chalet	0	0	0	Vivienda	2

Anexo 6. Listado de sitios infraestructura visitada en San Isidro de Savegre, se entrega con la BD geo referenciado con mayor información.

Sitio	Componente	Punto	Propietario	Ocupante	Años Vivir	Descrip	OcupMDia	OcuMinDia	OcuS_F	Clasi_Uso	Num_pisos
Savegre	SV1	551	German Jimenez	Clarisa Cerdas	35	Socalo color rosada	2	2	2	Vivienda	1
Savegre	SV2	553	Marcos Jimenez Cerdas	Ausente	18 meses	Casa color marron	2	2	2	Vivienda	1
Savegre	SV3	554	Ana Ligia	Ana Ligia Jimenez	10	socalo	3	3	3	Vivienda	1
Savegre	SV4	558	Alejandro Monge	Ausente			no	no	no		2
Savegre	SV5	559	Alejandro Monge	Ausente	-	-	no	no		Vivienda	2
Savegre	SV6	560	Francisco Marsh	Piloto		casa de madera pintada de verde y rojo(La cuida don	0	0	0		
Savegre	SV7	592	Jose Muñoz Alvarez	Jose Muñoz Alvarez	36	Casa de madera	2	2	2	Vivienda	1
Savegre	SV8	561	Alfonso Hernandez	Maria Perez Jimenez	10	casa de madera	3	3	3		1
Savegre	SV9	562	Alfonso Hernandez	Ausente					3	Vivienda	1
Savegre	SV10	563	Alfonso Uribe	Ausente		casa de madera y block celeste	0	0	0	Vivienda	1
Savegre	SV11	564	Lucrecia Leon		7		2	2	2	Vivienda	1
Savegre	SV12	565	Omar Artavia	Maria Isabel Gonzalez	14	casa de madera color naranja	4	4	4	Vivienda	1
Savegre	SV13	566	Santiago Parra Chacon	Santiago	53	casa de madera verde, alberga estudiantes cerca del templo	0	0	15	Vivienda	2
Savegre	SV14	567	Arcadio Rojas Morales	Ausente		casa en construccion	0	0	0	Vivienda	1
Savegre	SV15	568	Curia Puntarenas	Templo catolico		Templo de madera de 35 años con ligero desnivel en el costado					
Savegre	SV16	569				Casa del maestro	2	2	2		1
Savegre	SV17	570			4	Escuela de San Isidro Dota					
Savegre	SV18	571			3	Comedor escolar					1

Sitio	Componente	Punto	Propietario	Ocupante	Años Vivir	Descrip	OcupMDia	OcuMinDia	OcuS_F	Clasi_Usa	Num_pisos
Savegre	SV19	572	Agrosigna	Agrosigna	21	Asociacion Agropecuario San Isidro					1
Savegre	SV20	573	Luis Rostini		7	Casa de habitacion de madera en cerrito ultima hacia el Este	3	3	3	Vivienda	1
Savegre	SV21	574	Alberto Chinchilla		6	Casa madera	2	2	2	Vivienda	1
Savegre	SV22		Jorge Rojas	Dueño de Fercomer(Ausente)		casa de habitacion					
Savegre	SV23	576	Lorena Chinchilla	Guiselle Chinchilla	2	Casa de habitacion(Cabina usada como casa de	2	2	2	Vivienda	1
Savegre	SV24	577	Lorena Chinchilla			Cabina hospedaje turistico	3			cabina alquiler	
Savegre	SV25	578	Lorena Chinchilla			Cabinas onde Chinchilla	10			Hospedaje turistico	1
Savegre	SV25	579	Lorena Chinchilla	Onde chinchilla		cocina, sala de estar, comedor.	1	0	0		1
Savegre	SV26	580	Lorena Chinchilla	Sonia Carpio(Mama de Lorena)	10	Cabina, lugar de habitacion de a señora)	1	1		Vivienda	1
Savegre	SV27	581	Vilma Artavia	Vilma Artavia	7	casa de madera sobre rocas	3	3	3	Vivienda	2
Savegre	SV28	582	Walter Blanco	Walter vive en tarrazu		corral					
Savegre	SV29	583	Walter Blanco			casa en proceso de construccion no habitable				Vivienda	2
Savegre	SV30	584	Isabel Salas Artavia	Isabel Salas Artavia	6	caasa color naranja muy adentro del terreno.	4	4	4	Vivienda	1
Savegre	SV31	585	Pedro Salas Mora	Deshabitada	30	casa de habitacion				Vivienda	1
Savegre	SV32	586	Ingrid Jimenez	Peon	12	casa de habitacion color terracota	1	1	4	Vivienda	1
Savegre	SV33	587	Walter Blanco	Jose Aguirre(Peon)		casa de madera	1	1	1	Vivienda	1
Savegre	SV34	589	Susana Jimenez	ausente		casa de madera					1
Savegre	SV35	590	Rodrigo Salas			vive en Londres(corral)					
Savegre	SV36	591	William Bonilla		25	casa de habitacion.	3	3	3	Vivienda	1
Savegre	SV37		Nuria Delgado			deshabitada en mal estado.				Vivienda	1

Anexo 7- SOAAARCO

Desarrollo de un Sistema integrado de información para la observación, alerta, alarma, advertencia y respuesta temprana comunitaria (SOAAARCO) con enfoque comunitario en área Copey Santa María

FICHA PROYECTO		
Nombre del proyecto	PROYECTO: Diseño de Medidas de Mitigación de Riesgos Naturales a Nivel de Sub-cuenca Crítica	
Componente	Medidas de Mitigación No Estructurales	
Sub-componente	Sistemas Comunitarios de Vigilancia Continua a Inundaciones por deslizamiento en Quebrada Escuadra	
Ejecutor	Por Definir (Instituciones Involucradas: Ministerio de Salud, Comisión Nacional de Emergencia, Instituto Meteorológico, ICE, MINAE, MIDEPLAN, y sector privado)	
Objetivos	General	Específicos
	Reducir la vulnerabilidad a las inundaciones mediante la aplicación de medidas de mitigación no estructurales, como son los Sistemas de Alerta Temprana.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar la vulnerabilidad considerando participación comunitaria 2. Mejorar la percepción del riesgo. 3. Identificar las alternativas de mitigación 4. Diseñar e instalar sistemas comunitarios de alerta temprana a inundaciones. 5. Crear una red de radios de comunicación que permita se mantenga una un vínculo de apoyo entre las comunidades de la cuenca alta, media y baja. 6. Fortalecer el Comité Locales de Emergencia y el nivel de coordinación con las diferentes instituciones, la CNE y con las comunidades. 7. Organizar y Capacitar a los Comités Comunales de Emergencia. 8. Incrementar las habilidades comunitarias para responder a situaciones de desastres.
Posibles organismo Financiadores	BID, Banco Mundial, PNUD, ONGs en el área y la CNE y el ICE.	
Área de actuación	Cuenca alta, media y baja de los ríos Blanco y Pirrís	
Período de ejecución	Año y medio	
Mecanismos de ejecución	La Unidad Coordinadora del Programa contrata los servicios de una Asociación local para el desarrollo del Proyecto o lo desarrolla directamente la Municipalidad de Dota con fondos de la CNE	

<p>Resultados del proyecto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Un SOAAAR de baja tecnología diseñada, con componentes instalados, mantenidos y operados por voluntarios de las comunidades. • Operadores voluntarios capacitados para la instalación, operación mantenimiento de los instrumentos de monitoreo (pluviómetros y escalas de nivel de los ríos).y puntos de desplazamiento ubicados en terreno. • Operadores de los radios de comunicación capacitados en el uso y mantenimiento preventivo de radios. • Una estación telemétrica instalada y operando. • Personal a cargo de la estación telemétrica entrenado. • Comités de emergencias locales y comunales organizados. • Por lo menos dos talleres para el comité local y dos talleres para la capacitación de miembros de los comités comunales. • Manual para operación y mantenimiento de instrumento de medición, elaborados. • Un manual para operación y mantenimiento de radios de comunicación, elaborados. • Afiches y trifolios publicados y distribuidos. • Dos documentos técnicos contentivos de la siguiente información: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Resumen ejecutivo. ➤ Memoria del diseño e instalación del Sistema integrado de información para la observación, alerta, alarma, advertencia y respuesta anticipada (SOAAAR
<p>Costo del proyecto</p>	<p>TOTAL PROYECTO US\$ 68.500</p>

Perfil de Proyecto

- a. **Título del proyecto:** advertencia y respuesta temprana (SOAAAR) con enfoque comunitario en área Copey Santa, cuencas de los ríos Blanco y Pirrís.
- b. **Objetivo estratégico al que responde.** El objetivo general de este proyecto es reducir de vulnerabilidad de las comunidades afectadas por la posible inundación en la cuencas de los ríos Blanco y Pirrís, provocada por un posible taponamiento del cauce debido a un deslizamiento de tierra, en el sitio de la quebrada Escuadra, mediante la concepción, puesta en marcha y aplicación de un sistema comunitario de vigilancia continua, que brinde la oportunidad y capacidad a las comunidades asentadas en el área de inundación, para que puedan tomar las precauciones mínimas necesarias para enfrentar con una mejor preparación el posible evento futuro y prevenir las pérdidas de vidas humanas. Adicionalmente al objetivo general podemos mencionar como objetivos específicos los siguientes:
 1. Evaluar la vulnerabilidad considerando participación comunitaria
 2. Mejorar la percepción del riesgo.
 3. Identificar las alternativas de mitigación
 4. Diseñar e instalar sistema comunitario SOAAAR por inundación & deslizamiento.
 5. Crear una red de radios de comunicación que permita se mantenga un vínculo de apoyo entre las comunidades de la cuenca alta y media.

6. Fortalecer el Comité Local de Emergencia y el nivel de coordinación con las diferentes instituciones, la CNE y con las comunidades.
 7. Organizar y Capacitar al Comité Comunal de Emergencia.
 8. Incrementar las habilidades comunitarias para responder a situaciones de desastres.
- c. **Prioridad para la puesta en marcha.** A partir del primer año una vez que la estación telemétrica inicien su funcionamiento
- d. **Fuente de financiamiento.** CNE, instituciones interesada como el ICE y organismos internacionales
- e. **Antecedentes y justificación del proyecto.**

La república de Costa Rica se encuentra ubicada en zona tropical proclive a ser afectado por una variedad de fenómenos naturales. El país y en particular a la región de las cuencas de los ríos Blanco y Pirrís, se ve amenazada permanentemente a la ocurrencia de tormentas tropicales y huracanes; la alta sismicidad, el fenómeno del Niño que tiene un efecto marcado sobre las sequías que se presentan el país, etc.

Dada las condiciones de relieve, y de humedad prevalente, en una geología apta para, se cuenta con un potencial alto de susceptibilidad a la inestabilidad de las laderas, donde la sismicidad local y regional ha activado muchos de los deslizamientos considerados como activos, en particular el de la Quebrada Escuadra, en la confluencia del río Blanco y el río Pirrís. Aunado a deslizamiento estudiado hay que considera la frecuencia con que los ríos aumentan considerablemente su caudal en la época lluviosa, durante la cual se presentan las tormentas tropicales, huracanes, etc. que combinados con las características socioeconómicas y la situación de degradación de los recursos naturales prevalecientes, lo convierten en un región sumamente vulnerable. Los registros de la CNE establecen que esta región en promedio es afectada por dos eventos de importancia durante el año, sin que estos sean catalogados en la categoría de huracanes.

Por lo tanto, urge la formulación de programas y proyectos orientados a desarrollar las capacidades en la población para manejar y responder en forma adecuada y oportuna a los peligros naturales a los que permanentemente está expuesta.

La Sección de Sistema de Información para Emergencia de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgo y Atención de Emergencia (CNE), tiene registrado como eventos hidrometeorológicos más destructivos entre 1980 y 1999 los siguientes:

- El huracán Joan en octubre de 1988.
- El Huracán Cesar entre el 27 y 26 de julio de 1996.
- El Huracán Mitch ocurrido en octubre de 1998.
- El Huracán Floyd en 1999.
- La tormenta Alma en 2008

Hay un historial de tormentas producto de sistema de baja presión, que han sido especialmente destructivas en diferente valles, y montañas del área, sin olvidar la presencia de la sismicidad, lo que conlleva a la urgente necesidad de impulsar actividades de prevención, mitigación y preparación con una fuerte participación local.

f. Descripción del proyecto.

El SOAAAR debe ser diseñado respetando la cuenca hidrográfica como el ámbito necesario para su puesta en funcionamiento. Para la ejecución de este proyecto se selecciona las cuencas hidrográficas de los ríos Blanco y Pirrís, en su parte alta y media.

Justificación

Desde 1991 la CNE estableció una serie de puestos de vigilancia en la región, los cuales brindan información acerca de los cambios climático locales. Esta información es utilizada por la CNE para establecer tendencias climáticas relacionadas con los desastres. Si bien es cierto, no existe un sistema nacional de alerta temprana, se considera que ésta información ha sido útil para determinar incrementos de las vulnerabilidades locales y para comunicar advertencias e instrucciones durante una posible emergencia, declarada con base de los pronósticos regionales brindados por el Instituto Meteorológico Nacional.

Los registros de la CNE establecen que esta región en promedio es afectada por un evento de importancia durante el año, sin que estos sean catalogados en la categoría de huracanes. De acuerdo a la clasificación de la CNE, el área de los ríos Blanco y Pirrís está dentro la categoría con mayor frecuencia a eventos hidrometeorológicos, con una sismicidad importante y la ubicación de deslizamientos activos, que pueden incidir en los cauce, como el estudiado en la Quebrada Escuadra, con la consecuente exposición de un importante sector de la población Costarricense.

Considerando las características físicas de la cuenca (área de la cuenca, longitud y pendiente promedio del río), la frecuencia de las inundaciones, la cantidad personas en peligro en las comunidades afectadas, se ha establecido la urgente necesidad de instalar un Sistema de Alerta Temprana en esta cuenca.

Metodología

Los SOAAAR serán efectivos, si hay una adecuada coordinación de los diferentes componentes involucrados como ser:

- Diseño, instalación y operación del SOAAAR.
- Análisis participativo de la vulnerabilidad.
- Organización y capacitación para dar respuesta al SOAAAR.

Diseño, Instalación y Operación del SOAAAR

Los sistemas de alerta temprana constituyen un instrumento eficaz frente a situaciones, en donde no se pueda dar solución permanente a la problemática de inundaciones. Además, es el complemento ideal de un plan de emergencia en el cual se alerte a la población local, se organice la evacuación de las personas hacia sitios seguros y se administren las primeras distribuciones de provisiones.

La puesta en marcha de un sistema comunitario de vigilancia debe estar enmarcadas en un proceso comunal, partiendo del nivel comunitario, con la participación de líderes de la zona afecta (zona de respuesta), hasta alcanzar el nivel de cuenca como unidad de diseño, con la participación de las autoridades cantonales, del comité de emergencia local y de voluntarios representantes de comunidades y/o asentamientos de la cuenca alta y media (zona de monitoreo de condiciones climáticas de la cuenca).

Diseño del SOAAAR

En el diseño del SOAAAR, el pronóstico de inundaciones en los ríos se efectúa partir de dos indicadores: el volumen de lluvia y el nivel del río. Para utilizar el primer indicador es necesario recolectar los datos de precipitación de las estaciones existente, tales como las del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), e Instituto Meteorológico Nacional (IMN), etc. Para luego realizar el análisis hidrológico, el cual establece el comportamiento acumulado para una tormenta de 24 horas de duración, con un mínimo período de recurrencia que produzca inundaciones. Cuya condición crítica se presenta cuando la duración de la lluvia se iguala los tiempos de concentración del sitio vulnerable a inundación. Ahora bien en sitio se necesitará contar con una estación pluviométrica que refuerce la medición de la lluvia, de índole telemétrica, que transmita información al Comité local de emergencia. Esta estación deberá solicitarse con el asesoramiento del ICE, quien también contara con el acceso a los datos, en tiempo real.

La forma más conocida para derivar áreas inundables, consiste en un análisis hidráulico en los tramos críticos del río, los cuales se seleccionarán sobre la base de registros históricos y repetitivos recientes, sitios de respuesta, etc., en cada uno de los ríos en estudio. Se pretende de esta manera, evaluar niveles máximos que puede alcanzar el agua cuando se presenta una crecida con un período de recurrencia dado. Para el diseño del SOAAAR es necesario tomar el menor período de recurrencia en el cual se presentará una inundación, esto conlleva a calibrar las inundaciones de índole normal sin considerar el represamiento por el deslizamiento estudiado.

Para el diseño del SOAAAR, es necesario conocer el caudal que para un determinado período de recurrencia, pasará por una sección determinada en el cauce de un río (para el caso puntos de control o puntos de monitoreo y sitios de respuesta), y el tiempo que tardará ese caudal en llegar a cada uno de esos sitios, estaciones o secciones dentro del cauce del río y que son potencialmente causantes de inundaciones en zonas vulnerables, principalmente caseríos, aldeas, ciudades, escuelas, etc., en donde se encuentren concentraciones de personas en peligro de perder la vida y los bienes materiales.

Si el promedio de lluvia sobrepasa los límites establecidos, es posible que se produzca una inundación en el sitio en estudio, para el cual se está pronosticando y la certeza de la inundación se obtiene cuando la lectura de los niveles de los ríos, también sobrepasan los parámetros establecidos.

Para la elaboración de los pronósticos se tomarán en consideración los datos que se obtengan tanto de las estaciones manuales operados por los voluntarios, como la información brindada desde la estación telemétrica colocada en el sitio, con apoyo de las estaciones de las instituciones especializadas en estas labores IMN e ICE

Uso de modelos lluvia escorrentía en el diseño del SAT

Los modelos hidrológicos lluvia-escorrentía, permiten conocer la forma cómo responden las diferentes subcuencas, que integran la cuenca total, ante la ocurrencia de tormentas extremas; la cual es una pieza de información muy valiosa para el diseño del SOAAAR. Adicionalmente, dichos modelos permiten estimar los niveles de lluvias que producirán hidrogramas con caudales superiores a los umbrales, por encima de los cuales comienzan a producirse daños por inundaciones, en las diferentes localidades de la cuenca que son susceptibles a este tipo de eventos extremos.

El máximo (potencial o teórico) tiempo de alerta varía con la magnitud de la tormenta, la ubicación de su centro de máximas precipitaciones y la humedad antecedente almacenada en el suelo (al comienzo de la tormenta), que a su vez depende de las tormentas ocurridas en días anteriores. Este máximo tiempo de alerta se define como el intervalo de tiempo entre el inicio de la tormenta y el tiempo al cual el nivel de las aguas supera un determinado umbral, a partir del cual se producen los daños, en una determinada localidad. Por lo tanto, dicho tiempo también dependerá de la ubicación relativa de las zonas susceptibles a inundaciones periódicas.

El tiempo de alerta real será menor que el máximo teórico y dependerá de la estructura temporal del hietograma que caracteriza la tormenta y la respuesta de la cuenca a la ocurrencia del mismo. Dado su variabilidad, generalmente, en los sistemas de alerta se define lo que se conoce como valor esperado del tiempo de alerta, el cual se puede estimar utilizando el modelo hidrológico -hidráulico calibrado para la cuenca analizada. Este tipo de análisis permite verificar la operatividad de este tipo de SOAAAR.

Para llevar a cabo este análisis es necesario realizar las siguientes actividades:

- Utilizando la información de lluvias en las diferentes estaciones pluviométricas que conforman la red, se debe analizar la variación espacial de las tormentas extremas, a través de planos isoyéticos que permitan ubicar los centros de las mismas y su cobertura espacial. Este análisis, conjuntamente con el uso de los modelos hidrológicos, permitirá conocer la forma como responden las diferentes subcuencas ante la ocurrencia de este tipo de eventos.
- Teniendo la variación espacial de las tormentas se procede a ejecutar dicho modelo para diferentes escenarios de tormentas extremas, que incluyan aquellas asociadas a períodos de recurrencia de 5, 10, 25, 50 y 100 años. El resultado de este análisis corresponderá a la estimación de los caudales máximos, asociados a cada período de recurrencia, que ocurrirán en cada una de las localidades que sufren de inundaciones periódicas. Esto ya se ha efectuado pero al momento de sistematizar el SOAAAR se deberá calibrar.
- Utilizando modelos hidráulicos, se estiman los caudales que representan el umbral por encima del cual se producen los diferentes tipos de daños que ocasionarían los diferentes tipos de alerta, que algunos autores (Villagrán - UNICEF, sin fecha) denominan verde, amarilla, naranja y roja.
- Con esta información se puede estimar el valor esperado de los tiempos de alerta para cada una de las localidades que integran la zona.

Como se puede observar, en párrafos anteriores, lo que se propone es el uso de modelos lluvia escorrentía, para conocer la forma que responden las cuencas, ante la ocurrencia de tormentas extremas, a los fines de estimar los caudales umbrales, en cada localidad, a partir de los cuales, se supera el nivel de daños asociados a diferentes tipos de alerta; las características de la lluvia que lo produjo y el tiempo de alerta promedio que puede tener cada localización. Esta información conjuntamente con las posibles regresiones que se puedan establecer con las observaciones de lluvia y niveles de agua, permitirán definir las características operativas de dichos sistemas de alerta, adicionalmente se requiere la vigilancia continua en el sitio del deslizamiento mediante, el seguimiento de inclinómetros (al menos 4) y 2 piezómetros.

Dado que lo que se propone son sistemas de alerta comunitarios, simples y de bajo costo, no se incluye la posibilidad de utilizar estos modelos hidrológicos en tiempo real, para realizar pronósticos en línea, ya que para su operación se requiere de personal técnico de alto nivel, durante las veinticuatro horas del día, debido que en estas cuencas los tiempos de respuesta son cortos, en términos de horas.

Instalación del SOAAR.

Para medir la cantidad de lluvia que cae dentro de la cuenca, se instalarán en lugares abiertos de los patios de las casas de los operadores voluntarios, pluviógrafos electrónicos de fácil lectura que funcionan a base de baterías, respaldados mediante sencillos pluviómetros manuales. Estos serán distribuidos en toda la subcuenca y se instalarán respetando las normas de la Organización Meteorológica Mundial. Ambos aparatos deberán instalarse en paralelo, sobre una base de tubería HG de $\frac{1}{2}$ "de \varnothing y con altura libre mínima de 1.50 m., la cuales deberá colocarse completamente vertical y empotrada en concreto.

Por otro lado, se fijarán en el cauce de los ríos dos escalas hidrométricas, compuestas con por un sensor que a base de electrodos detecta los cambios de nivel del agua, esta información se transmite a través de un cable multipar hasta la unidad electrónica digital, colocada en la vivienda del operador (elaboradas en el ámbito local). La información obtenida podrá ser respaldada con los niveles que se observen en una escala pintada.

Los datos obtenidos son monitoreados y recolectados por operadores voluntarios, quienes a su vez transmiten la información a través de una red de radio comunicación, a las personas a cargo de elaborar los pronósticos de inundaciones con base en parámetros preestablecidos durante el diseño del SOOAR y que se irán calibrando a medida se presenten los eventos.

Es conveniente que los pronósticos se elaboren a nivel local. Si el pronóstico obtenido indica la probable ocurrencia de una inundación, el comité local de emergencia en coordinación con las autoridades cantonales y de la CNE, procederán a dar la voz de alerta verde, amarilla o roja según sea el caso, para que los comités comunales de emergencia de cada comunidad, respondan con efectividad y tomen las medidas previstas en sus planes de respuesta y/o de emergencia frente a un potencial peligro.

La red de radio comunicación estará programada en la frecuencia de operación de la CNE. Sin embargo, será necesaria la adquisición e instalación de una estación repetidora, cuyas características se apeguen a las exigencias de la CNE. Repetidora para operación en banda de 2 metros, 136 a 174 MHz, rango real de 136 a 150 MHz; salida de potencia de 100watts máxima, espacio entre canales de 12.5 y 25 KHZ. Selección por programación, operación del modo duplex, alimentación de fuente a 110 VAC con conversión 14 VDC, con conexiones de interfase para enlaces,

con operación remota vía enlace a 4 hilos, con cargador automático de carga y transferencia de batería, tiempo de cola programable.

Los radios de comunicación que se ubicaran en los sitios de monitoreo de precipitación y nivel del río en la cuenca alta, media y baja, en el sitio donde se harán los pronósticos y en las comunidades donde se dará respuesta a la alerta. Se adquirirán de acuerdo a las características establecidas por la CNE, de la manera siguientes; radios bases de 64 canales, con antena yaqui, fuente de poder o set de energía solar de 75 wats según sea el caso, con batería libre de mantenimiento y todos los accesorios de instalación. Por último, se adquirirán radios portátiles tipo walkie talkie, banda de 2 metros VHF, frecuencia de operación 136-154 MHZ, capacidad de canales no menor de 60, para ser utilizados por miembros del comité local de emergencia y autoridades cantónales. En el cuadro No. 1 se muestra la distribución y el equipo mínimo para implementar el sistema de alerta temprana en la cuenca hidrográfica seleccionada.

El sistema comunitario de alerta temprana, deberá ser respaldado con la instalación y operación en las cuencas, de tres estaciones telemétricas que brinden datos en tiempo real, en base a un circuito cerrado de transmisión de datos.

Estas estaciones serán compatibles y formaran parte del sistema automatizado de recolección de datos de lluvia y nivel del río, de la organización que la CNE designe.

El consultor deberá proveer e instalar los equipos automatizados para la lectura de datos de lluvia y nivel del río, para la trasmisión de datos, para el almacenamiento y procesamiento de los datos adquiridos con intervalos de 15 minutos; además los manuales de operación y el software para el análisis de los datos en tiempo real. También deberá brindar el entrenamiento al personal necesario, para operar y mantener las estaciones. La ubicación e instalación de estas estaciones se hará en coordinación con la CNE y con la institución que ellos designen para que quede a cargo de las mismas.

Distribución del Equipo en la SubCuenca de los Rio Blanco y Pirrís

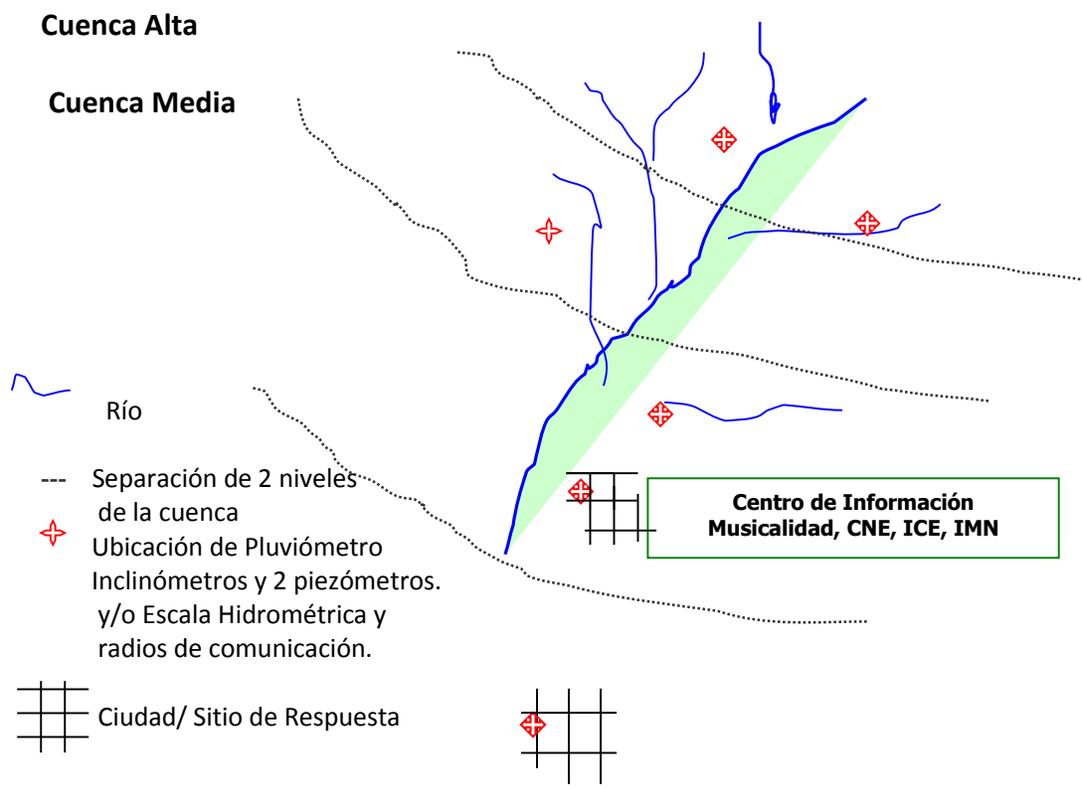
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Pluviógrafo	4 comunitarios
Pluviómetro	1 Estación Municipal-ICE
Escala de sensor	1
Escala pintada	2
Radios bases	1
Radios portátiles	4
Estaciones Telemétricas	1

Operación del SOAAAR

Los sistemas que se proponen son operados por voluntarios en el ámbito local, utilizando una serie de instrumentos sencillos de monitoreo de amenazas (pluviómetros y escalas) distribuidos en toda la cuenca hidrográfica, los operadores voluntarios toman los datos lluvia y nivel del río. Estos datos son enviados a través de una red de radiocomunicación a un centro de información (centro de información y/o operaciones o en su lugar una oficina cantonal-municipal), donde la recibe la persona(s) encargada de procesar la información y elaborar el pronóstico, esta persona puede ser miembro del comité local, de las organizaciones de socorro o empleado del cantón, según sea más conveniente.

Si el pronóstico indica que existe el peligro de una inundación el Comité Local de Emergencia en coordinación con la CNE, envía a través de la red de radios, la voz de alerta, para que los Comités Comunitarios de Emergencia pongan en práctica los planes de respuesta. Los SAT son sustentados por capacidades locales de organización, planificación y gestión, son una forma efectiva de evitar la pérdida de vidas durante las inundaciones. Un esquema de esto se muestra a continuación.

MODELO DEL SOAR



Análisis Participativo de Vulnerabilidad

Para establecer el SOAAAR se debe hacer la verificación de la amenaza, el análisis de la vulnerabilidad y determinación de los riesgos en el ámbito comunal. Considerando como unidad espacial la cuenca, se desarrollarán jornadas participativas con el propósito de que los miembros de los comités y líderes comunitarios, tengan claros los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. Durante este proceso, se verificará la amenaza, se analizará la vulnerabilidad y se incrementará la percepción del riesgo de los participantes. Esto facilitará la visión de medidas de mitigación y su funcionamiento, como parte integral de la gestión comunitaria y del desarrollo local. Estas jornadas apoyarán el proceso de elaboración de los mapas de amenazas y de selección de las zonas prioritarias para brindar la advertencia – alerta.

Organización y Capacitación

Para la incorporación de los sistemas de alerta en los planes de emergencias locales, es necesario un proceso de fortalecimiento organizativo, sensibilización y capacitación local y comunal. El componente de organización y capacitación, va dirigido hacia todos los grupos que integran el SAT.

En las cuencas, se desarrollarán un seminario taller dirigido a grupos de 30 operadores voluntarios y/o sus familiares, acerca del funcionamiento de los SOOAR, y de la instalación, operación y mantenimiento de los instrumentos de medición (pluviómetros, pluviógrafos y escalas hidrométricas, etc.). También se les brindará un taller para la cuenca, acerca de la operación y mantenimiento de los radios de comunicación, a los operadores voluntarios y a los miembros de los comités comunales encargados de la comunicación.

Se brindará capacitación mediante un seminario taller de 30 personas, a los miembros de los comités locales de emergencia (CLE) y a las personas encargadas de los pronósticos (estos que pueden ser miembros de los bomberos, autoridades cantónales, miembros de los CLE, etc.) acerca de la operativización del SOAAAR y elaboración de pronósticos, elaboración de planes locales de emergencia, ejecución y evaluación de simulaciones y simulacros, etc.

Para la capacitación de los comités comunales se harán al menos 4 talleres de capacitación de temas tales como, los roles y deberes de los miembros de los comités de emergencia, elaboración de mapas de amenazas e identificación de los recursos de la comunidad, operativización y seguimiento de los SOAAAR, preparación de los planes comunales de respuesta, primeros auxilios, procesos y técnicas de evacuación, manejo de albergues, ejecución y evaluación de simulacros, etc.

Cada taller estará dirigido para un promedio de 10 a 15 líderes comunitarios que formen parte de las comunidades afectadas por las inundaciones. Durante los talleres se asignarán tareas, para lograr el efecto multiplicador en las comunidades, durante este proceso el consultor, a través de promotores sociales con presencia permanente en la zona del proyecto, dará seguimiento a las actividades que realicen los comités. Todo este se hará con el propósito que el sistema quede funcionando en torno a las comunidades, esto permitirá que la población se apropie de los sistemas y se descentralicen el proceso de respuesta a las emergencias.

Actividades por Desarrollar

Se deberán llevar a cabo las actividades necesarias para realizar el diseño, instalación y operación de los sistemas de alerta, en coordinación con las instituciones nacionales y/o locales responsables del manejo de la información hidrometeorológica, atención de emergencias y los Gobiernos Locales.

Las actividades del proyecto incluyen los siguientes elementos principales:

1. Diseño e instalación en la cuenca alta del río Blanco-Pirris el SOAAAR de baja tecnología. Se realizarán las siguientes actividades:
 - Visitas de campo para identificación de operadores voluntarios.
 - Recopilación de la información y análisis de datos hidrometeorológicos.
 - Investigación de las características de eventos históricos y determinación de períodos de recurrencia.
 - Diseño del sistema de alerta, determinación de la ubicación de los instrumentos y análisis de parámetros de inundación.
 - Instalación del sistema comunitario de alerta temprana, lo cual incluye la instalación de los pluviómetros, escalas hidrográficas y radios de comunicación.
 - Instalación de dos estaciones telemétricas.
 - Capacitación para el manejo y operación de las estaciones telemétricas.
 - Elaboración de pronósticos de inundaciones, considerando lo siguiente:
 - Precipitación observada por la comunidad en los puntos de control.
 - Altura del nivel del agua observada por los operadores voluntarios en la sección de control.
 - Tiempo de Concentración entre puntos de control.
 - Información lluvia y nivel del agua en el río recaba y procesada por la institución a cargo de la estación telemétrica.
 - Plan para difusión e la alerta temprana.
2. Jornadas participativas para la verificación de la amenaza, el análisis de la vulnerabilidad y determinación de los riesgos en el ámbito comunal.
3. Elaboración y/o actualización de los mapas comunitarios de amenazas y recursos, de las comunidades afectas dentro del área de trabajo.
4. Previo al diagnóstico correspondiente, debe propiciarse la organización y/o reorganización del comité local y de comités comunitarios de emergencia.
5. Instruir a los miembros de los comités acerca de sus roles y responsabilidades durante la preparación, prevención y mitigación de las inundaciones. Fortalecerles para que puedan responder eficientemente durante una emergencia y respuesta a las inundaciones.
6. Capacitar al mayor número de personas de diferentes sectores de la comunidad, para que contribuyan de forma eficiente a operar los sistemas de alerta y manejar una situación de emergencia. Desarrollar temas tales como:
 - Funcionamiento general de los sistemas de alerta temprana.
 - Entrenamiento para instalación, operación y mantenimiento de los instrumentos de medición (pluviómetros y escalas de nivel de los ríos).
 - Operación y mantenimiento básico de radios de comunicación
 - Pronósticos de inundaciones y procedimientos de alertas.
 - Elaboración o actualización de los planes locales de emergencia.
 - Elaboración de planes de respuesta ante las alertas y procesos de evacuación.
 - Socialización del procedimiento de respuesta.
 - Primeros auxilios.
 - Procedimientos y técnicas de evacuación y rescate.
 - Manejo de albergues.
 - Ejecución y evaluación de simulacros.
7. Elaboración, publicación y distribución de afiches y trífolios que contribuyan a formar

conciencia en la población en la prevención, mitigación y preparación, ante las emergencias de esta naturaleza.

8. Redacción de informes de avances, documentos técnicos y manuales de operación: Documento con la memoria de cálculo del análisis hidrológico-hidráulico, diseño de los sistemas de alerta y determinación de los parámetros básicos para la elaboración de pronósticos.

- Manual sencillos, para el uso y mantenimiento sus instrumentos de medición incluyendo formularios de monitoreo.
- Manual de operación y mantenimiento básico de radios de comunicación.
- Planes de emergencia y de respuesta a las alertas.

Productos Esperados

De las actividades en la cuenca se esperan obtener los siguientes resultados y productos:

- Mapas de peligro de inundaciones y de recursos elaborados por cada una de las comunidades afectadas, esto ya se ha adelantado
- Un SOAAAR de baja tecnología diseñado, con componentes instalados, mantenidos y operados por voluntarios de las comunidades.
- Operadores voluntarios capacitados para la instalación, operación mantenimiento de los instrumentos de monitoreo (pluviómetros y escalas de nivel de los ríos).
- Operadores de los radios de comunicación capacitados en el uso y mantenimiento preventivo de radios.
- Dos estaciones telemétricas instaladas y operando.
- Personal a cargo de las estaciones telemétricas entrenadas.
- Comités de emergencias locales y comunales organizados.
- Por lo menos dos talleres para el comité local y ocho talleres para la capacitación de miembros de los comités comunales.
- Manual para operación y mantenimiento de instrumento de medición, elaborados.
- Un manual para operación y mantenimiento de radios de comunicación, elaborados.
- Afiches y trifolios publicados y distribuidos.
- Dos documentos técnicos contentivos de la siguiente información:
- Resumen ejecutivo.
- Memoria del diseño e instalación de sistemas de alerta de inundaciones.

g. Beneficiarios del proyecto. Este proyecto ha sido concebido para trabajar directamente con los Comités Locales y Comunales de Emergencia, con el fin de que las decisiones y acciones que ellos tomen durante una emergencia beneficien directamente a las personas que habitan las zonas de alto riesgo. Entre las comunidades habitualmente afectadas por las inundaciones.

h. Mecanismo de ejecución propuesto. El mecanismo de ejecución de este proyecto debe ser definido con la participación de la Municipalidad de Dota, a Comisión Nacional de Emergencia, el ICE, el Instituto Meteorológico, MINAE y MIDEPLAN.

i. Mecanismos de sostenibilidad. El programa financiará el costo de las estaciones. El mecanismo de sostenibilidad será diseñado durante la 1era etapa de ejecución del programa con la participación de las instituciones ejecutoras, los municipios y pobladores en las áreas críticas de inundación. Este mecanismo tendrá en cuenta los siguientes aspectos: 1) responsabilidad técnica, 2) responsabilidad de ejecución para garantizar el alcance de los objetivos del proyecto, 3) responsabilidad administrativa del sistema, 4) responsabilidad de financiamiento, 5) acuerdos interinstitucionales.

j. Costo del proyecto.

Costos del SOAAAR	Unidad	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio total \$
Aspecto				
1) Organización Comunitaria				340
Jornadas para la organización de Comités Comunitarios	Jornadas	6	50	300
Reorganización-conformación Comites Locales	Jornadas	1	40	40
2) Capacitación de Comites y operadores (8 personas + 2 Instructores)				5600
Capacitación acerca de roles y responsabilidades de los comités comunitarios (1 día)	Jornadas	1	400	400
Capacitación para los comités comunitarios acerca del funcionamiento del SOAAAR (1 día)	Jornadas	1	400	400
Capacitación para los comités comunitarios para la elaboración del plan de respuesta y procedimientos de evacuación acorde a la zonificación y al diseño del SOAAAR (1 día)	Jornadas	1	400	400
Capacitación para los comités comunitarios para la ejecución y evaluación de simulacros (2 días)	Jornadas	2	800	800
Capacitación para los comités comunitarios acerca de primeros auxilios (2 días)	Jornadas	2	800	800
Capacitación para los comités comunitarios acerca de manejo de albergues (2 días)	Jornadas	2	800	800
Jornadas para la actualización de los planes de emergencia local (2 días)	Jornadas	2	800	800
Capacitación para el Comité Local de Emergencias para Operativización y pronóstico del SOAAAR (1 día)	Jornadas	1	400	400
Capacitación para el Comité Local de Emergencias para operar escalas, pluviógrafos, pluviómetros, inclinómetros, piezómetros (2 días)	Jornadas	2	800	800
3) Zonificación y vulnerabilidad				1200
Comprensión de mapas de amenazas y de sitios vulnerables	Jornadas	1	400	400
Zonificación y trazado de sitios seguros en campo	Jornadas	2	800	800
4) Instrumentación e instalación del SOAAAR				23150
Escalas limimétricas pintadas con sensores electrónico incorporados	Unidades	3	250	750
Pluviógrafos electrónicos	Unidades	2	1200	2400
Pluviógrafos manuales	Unidades	4	200	800
Piezómetros electrónicos	Unidades	2	750	1500
Inclinómetros electrónicos	Unidades	2	650	1300
Radios base de comunicación con sus accesorios	Unidades	2	1000	2000
Radios portátiles	Unidades	4	500	2000
Set de energía solar	Unidades	2	1200	2400
Antena repetidora	Unidades	1	10000	10000

Costos del SOAAR	Unidad	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio total \$
Aspecto				
5) Seguimiento				2000
Jornadas seguimiento para la elaboración de planes de emergencia y respuesta	Jornadas	5	150	750
Jornadas seguimiento a los mapas del plan regulador - sitios seguros	Jornadas	5	150	750
Elaboración de nuevos mapas con información in situ	Unidades	5	100	500
6) Simulacros				500
Ejecución y simulacros para sitios específicos	Jornadas	1	500	500
7) Personal y apoyo para la seguimiento del proyecto				7400
Facilitadores locales	mes	10	500	5000
Asistente para la ubicación de los sitios de monitoreo	mes	2	600	1200
Transporte y manutención	mes	12	100	1200
8) Personal tecnico especializados				16200
Coordinador del proyecto	día/consutor	60	150	9000
Consultores técnicos especializados (2)	día/consutor	60	120	7200
9) Logistica y Apoyo				8960
Transporte	mes	6	800	4800
Combustible	mes	6	200	1200
Viáticos	días	40	50	2000
Equipo didáctico	mes	12	50	600
Oficina	mes	12	30	360
10) Publicaciones y documentos				3150
Informe de avance	Documento	3	50	150
Elaboración y reproducción de 2 manuales	Ejemplares	20	5	100
Elaboración y distribución de afiches y trifolios	Unidades	100	20	2000
Informe ejecutivo	Documento	4	100	400
Memoria del diseño del SOAAR	Documento	4	125	500
Costo total				68500

Anexo 8 – Procesos de inestabilidad de laderas

La geodinámica externa en regiones tropicales y subtropicales⁶

Clasificación de los procesos de la inestabilidad de laderas:
Basado en Mora (1986), Varnes (1954, 1978), Varnes y Cruden (1996) y Hungr, Leroueil & Picarelli (2013)

Tipo de movimiento	Roca y fragmentos grandes de roca	Mezcla de detritos rocosos, suelos, biomasa, hielo y nieve	Suelos finos
Caída			
Inclinación, volcamiento			
Deslizamientos traslacionales: planares, rotacionales, prismáticos, irregulares			
Separación y desplazamiento lateral			
Flujo			
Complejo, compuesto			
Represamiento de cauces fluviales			
Depósitos sedimentarios derivados de inestabilidad de laderas			
Inestabilidad de depósitos y apilamientos antropogénicos			

TR-1. Deslizamiento rotacional de masas de rocas

Para que se desarrolle una ruptura rotacional y cóncava hacia arriba, en un terreno rocoso, se requiere *sine qua non*, que el material constitutivo sea más o menos isotrópico, tanto por su origen primario como por la influencia de su estructura (orientación de las discontinuidades: fisuras, estratificación, foliación, etc.). Pero, además, su resistencia al corte debe ser relativamente débil (rocas blandas, meteorizadas -regolitos- o con alteración hidrotermal, etc.). La masa inestable debe estar sometida al peso de una sobrecarga importante del terreno. La morfología de estos deslizamientos se caracteriza por un escarpe superior (i.e. corona principal) muy prominente y conspicua y la presencia de uno o varios bloques deslizantes, inclinados hacia atrás. La distorsión y alteración de los bloques internos, durante el proceso de deslizamiento, puede ser relativamente pequeña.

Por lo general, la deformación y el movimiento son relativamente lentos, debido a que el proceso rotacional tiende a perder velocidad, de manera paulatina, en parte porque las fuerzas gravitacionales se reducen al aumentar el desplazamiento, porque en las rocas blandas -bajo esfuerzos cortantes intensos- la ruptura tiene la tendencia a producirse de manera dúctil (Hungr and Evans 2004a) y también porque la resistencia residual de las rocas puede alcanzar valores relativamente elevados, comparada con la de los suelos. Sin embargo, el deslizamiento rotacional de masas de rocas blandas, en terrenos bajo la presión de rocas sobreyacentes más pesadas, también puede ocasionar rupturas frágiles súbitas que inducen al desprendimiento, inclinación, caída y flujo rápidos. Es evidente que la composición del escenario geotécnico, cinemático y dinámico dependerá del contexto geológico local.

TR-2. Deslizamiento y traslación de masas y bloques rocosos sobre superficies planas

Los deslizamientos de bloques, losas y láminas de roca, sobre superficies planas, consisten en el desplazamiento de una masa rígida, con una deformación interna muy baja o nula, sobre una superficie de ruptura (discontinuidad) preexistente. Se pueden desarrollar en masas rocosas compuestas por estratos y lozas de rocas sedimentarias, bloques de rocas metamórficas foliadas, rocas volcánicas diaclasadas, o rocas intrusivas con fracturas por exfoliación causadas por el alivio

⁶ Mora, S. 2020. La geodinámica externa en regiones tropicales y subtropicales. En prensa. Editorial Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería (ASAGAI). 181pp.

de los esfuerzos de confinamiento. Pueden producirse en cualquier escala, desde tan solo algunos cuantos hasta varios millones de metros cúbicos. Algunos de los deslizamientos, más grandes y dañinos del mundo han sido de este tipo (Hungry et al., 2013).

El inicio de la ruptura puede manifestarse, inicialmente, mediante la generación de una fractura de tracción, vertical o sub-vertical, en la corona. Por lo general, el desplazamiento se realiza de manera rápida a muy rápida. El estado de esfuerzos de la masa deslizante es activo y la corona se desarrolla, inicialmente, mediante una fractura de tracción, por lo que el proceso no tiende hacia la auto-estabilización. Usualmente, los deslizamientos son rápidos, excepto en las rocas blandas o en los casos de rupturas sobre planos con buzamientos muy suaves. Raramente y solo en casos de rocas blandas, las rupturas se producen y propagan dentro de la masa de roca intacta. A menudo este tipo de deslizamientos se producen por causa de la socavación producida por la erosión hidráulica (i.e. fluvial o marina) o por la excavación y socavación antropogénica en las partes inferiores de las laderas.

TR-4. Deslizamiento y traslación compuestos, sobre superficies irregulares, de masas de rocas.

Cuando la masa de rocas se desplaza sobre dos o más planos de ruptura, con orientaciones e inclinaciones diferentes o sobre una superficie con orientaciones desiguales e irregulares, el movimiento solo es posible, cinemáticamente, si de manera simultánea se produce una distorsión interna importante de la estructura de los bloques en movimiento. El proceso de ruptura, generalmente complejo y difícil de describir puede incluir la inclinación, traslación y deformación de la masa deslizante y se puede producir, también, por la conjugación simultánea o secuencial de varios sistemas de discontinuidades (diaclasas, estratificación, foliación, fallas, alteración hidrotermal) orientadas de manera relativamente aleatoria y a veces, separadas por segmentos de roca, más o menos intactos. El movimiento puede ser súbito o episódico, rápido o lento, según sea el caso. En el sector de la corona se pueden desarrollar mini-estructuras de tipo “horst” y “graben”, lo que denota una componente, del vector de esfuerzos, que desemboca en un movimiento sub-horizontal, en la escala local y al nivel de la superficie de ruptura.

La corona superior es, por lo general, sub-vertical (Hungry et al., 2013). Los tipos más comunes de esta clase de deslizamiento rocoso compuesto poseen superficies de ruptura sub-horizontales o levemente inclinadas a lo largo de discontinuidades débiles, que pueden coincidir con algún estrato, a veces en los flancos de rocas plegadas. La forma de la superficie de ruptura vista en perfil puede componerse de dos o más líneas curvas cóncavas (i.e. su pendiente disminuye con la profundidad, comúnmente asociadas con estados de esfuerzos extensionales). La superficie de ruptura se manifiesta con forma curva y cóncava hacia arriba y su buzamiento disminuye con la profundidad, aunque por lo general, no son semicirculares. Si se considera que la resistencia al corte, en la superficie de ruptura, posee valores de fricción menores de 10° para que se produzca este tipo de deslizamientos, en escalas mayores se requiere que la masa se deforme durante el movimiento, aunque la roca sea relativamente resistente, por lo que al realizar un análisis de sensibilidad y retro-cálculos de este tipo de procesos, debe tomarse en cuenta la resistencia interna correspondiente.

TM-5. Deslizamiento rotacional de masas de bloques rocosos, suelos, biomasa

Por lo general y frecuentemente, este tipo de deslizamientos sucede en terrenos formados por suelos transportados (p. ej. coluvios, aluviones, morrenas), parcialmente saturados, compuestos por materiales de composición granulométrica variada y relativamente heterogénea: arenas, limos y arcillas, con proporciones relativamente menores de grava y cantos. En las cumbres periglaciáricas, también se pueden mezclar con hielo y nieve. Los materiales se componen, en muchas

ocasiones, de aluviones, coluvios, biomasa, suelos residuales y transportados (incluidos los piroclastos).

El proceso se inicia, usualmente, mediante el desarrollo de grietas de tracción en la parte superior de la ladera, no lejos de la cresta. Las rupturas son semejantes a las que se producen en terrenos compuestos por suelos predominantemente finos, cuando los momentos movilizados superan la resistencia al corte. El agua juega un papel desestabilizador, pues incrementa las presiones intersticiales y favorece los empujes activos. Es ocasiones, se puede observar la pérdida transitoria de la cohesión en los limos durante los episodios de humedecimiento extremo y actividad sísmica intensa. El espesor de la masa deslizante puede alcanzar uno o varios metros y las características del proceso de deslizamiento dependen de la profundidad y geometría de la superficie de ruptura y del nivel freático. Los volúmenes de las masas deslizantes tienen, por lo general, dimensiones desde algunos miles hasta centenas de miles de metros cúbicos) y cuando se agregan situaciones similares en áreas aledañas, sus dimensiones pueden sumarse y, por lo tanto, los efectos agregados pueden volverse muy dañinos.

Se han observado numerosos casos, de este tipo, cuando se deslizan masas de materiales predominantemente granulares a lo largo de superficies curvas o compuestas, a veces semi-planares, lisas, cóncavas hacia arriba y en posición favorable con respecto a las discontinuidades del terreno (i.e. relictos de las estructuras y discontinuidades originales), sobre todo cuando las discontinuidades son someras y se encuentran sobre sustratos estables o metaestables con mayor resistencia al corte que la masa deslizante.

TM-6. Deslizamientos traslacionales sobre superficies de ruptura planares y/o rotacionales, en terrenos con masas rocosas, paleosuelos intercalados y suelos superficiales.

Por lo general, la composición de los terrenos, en estos casos, es heterogénea en la escala general y usualmente contiene masas de rocas (p. ej. secuencias de coladas de lavas intercaladas de tobas, ignimbritas, piroclastos, estratos de rocas sedimentarias clásticas o carbonáticas) intercaladas con paleosuelos arcillo-limosos y limo-arcillosos, con fracciones variables de grava y arena. Frecuentemente, en los horizontes más permeables, se desarrollan acuíferos colgados o incluso otros relativamente más grandes, los cuales reposan sobre acuitardos o acuícludos sometidos a presiones intersticiales considerables.

La superficie de ruptura predominante coincide, muchas veces, con direcciones preferenciales de debilidad preexistentes en el terreno, como por ejemplo alguna discontinuidad, capa u horizonte relativamente más débil que el resto de la masa. El deslizamiento, propiamente dicho, se pueden desarrollar a lo largo de una o varias de esas discontinuidades, cuya conjugación puede generar bloques con formas geométricas complejas e irregulares y en donde pueden alternar superficies de deslizamiento con segmentos planos y cóncavos hacia arriba, por lo que el desplazamiento de la masa se produce, generalmente, a partir de la desagregación de sus componentes. El escarpe superior principal, en la corona, por lo general tiene una pendiente cercana a la vertical. Además, durante el desplazamiento subsiguiente las deformaciones y fracturas, que se producen dentro de la masa frontal deslizante, pueden desarrollar microformas típicas con fallamientos normales, depresiones y promontorios (i.e. *grabben*, *horst*), lagunas y áreas múltiples de cizallamiento, en donde los materiales son sometidos a un proceso de intenso de remoldeo.

Algunos deslizamientos traslacionales, con superficie de ruptura mixtas, desplazamientos planares y rotacionales, en terrenos compuestos por capas mixtas de rocas, paleosuelos intercalados y suelos superficiales húmicos y coluviales.

TS9. Deslizamiento rotacional de suelos predominantemente finos (arenas, arcillas y limos) y biomasa

Usualmente, estos deslizamientos se producen en terrenos formados por materiales predominantemente cohesivos, más o menos homogéneos, de manera relativa y según la escala. Su composición granulométrica es mayoritariamente arcillosa, limosa, limo-arcillosa, arcillo-limosa y con alguna proporción menor de arenas y gravas finas. La superficie de ruptura es usualmente cóncava hacia arriba y puede tener una geometría aproximadamente semi-circular, semi-elíptica o semi-espiral. En muchos casos, la masa que se desplaza puede no deformarse ni alterarse considerablemente en su interior y forma bloques más o menos consistentes del terreno original, aunque luego se desintegren, sobre todo cuando los contenidos de humedad se aproximan al límite líquido del material y si persisten el desplazamiento y deformación a lo largo de distancias considerables.

Por lo general, estos deslizamientos poseen un escarpe superior, con pendiente sub-vertical y prominente, inicialmente generado por una grieta de tracción en la parte superior del terreno. El deslizamiento se propaga por la generación sucesiva de más grietas de tracción dentro del terreno, ladera-arriba. El bloque deslizante superior puede deslizarse y rotar, de manera que su superficie queda con una inclinación inversa. Lo mismo puede suceder con el bloque frontal. Su velocidad puede variar entre lenta y rápida, de acuerdo con los contenidos de humedad, las propiedades de la masa en movimiento y la pendiente de la superficie de ruptura. En el caso de las arcillas sensibles y los suelos colapsables, la velocidad puede llegar a ser extremadamente rápida.

La Figura 95a presenta un esquema ilustrativo, simplificado y tipificado, de este tipo clásico de deslizamientos traslacionales-rotacionales, con su superficie de ruptura cóncava hacia arriba (semi-circular, semi-elipsoidal, semi-espiral logarítmica, o mixta), en laderas compuestas por terrenos de suelos finos y relativamente homogéneos. Aunque este tipo de deslizamientos es el que se observa representado, de manera idealizada y con mayor frecuencia en los libros de texto, paradójicamente no es el más frecuente en la naturaleza.

FM-3. Alud torrencial, mezclas variables de bloques rocosos y suelos, con proporciones elevadas de agua y cantidades menores de biomasa, hielo y nieve.

La velocidad de traslación de la masa inestable, cuando aún se encuentra en o cerca de su emplazamiento original, varía mucho y dentro de rangos extremos: puede ser extremadamente lenta hasta extremadamente rápida. La Tabla 1 clasifica, por categorías y rangos de valores, las velocidades que han sido observadas como características. Sin embargo, debe advertirse que, una vez que la masa pierde su adhesión original y comienza a desplazarse ladera-abajo, su velocidad dependerá de varias condiciones y parámetros específicos, como por ejemplo la granulometría, pendiente topográfica, morfología de la ladera, resistencia al corte residual de la masa en movimiento y proporción agua/sólido, entre otros aspectos. Es así como el potencial destructivo de la masa en movimiento dependerá de la forma cómo transfiere su energía potencial en *momentum* (i.e. masa x velocidad) y energía cinética. Es evidente que, de acuerdo con sus dimensiones (p. ej. volumen, densidad, composición granulométrica), entre más rápido se desplaza la masa, mayor será su energía y por ende, su potencial destructivo.

Tabla 1. Criterios y calificación de la velocidad y desplazamiento de la masa inestable; modificado de Cruden and Varnes (1996)

Categoría	Calificación	Velocidad paramétrica	Potencial destructivo	Respuesta factible
VII	Extremadamente rápida	> 10 m/segundo	Extremo	Evacuación
VI	Muy rápida	10 m/minuto	Muy elevado	Evacuación
V	Rápida	10 m/hora	Elevado	Evacuación
IV	Moderada	10 m/mes	Considerable	Contención de emergencia
III	Lenta	10 m/año	Significativo	Contención y mantenimiento
II	Muy lenta	100 mm/año	Leve	Soporte y mantenimiento
I	Extremadamente lenta	< 10 mm/año	Muy leve	Mantenimiento

La Figura 68 muestra dos propuestas simplificadas para la clasificación de algunos de los procesos de la geodinámica externa, en función de los rangos generales de su composición, energía, proporción de sólidos con respecto al agua, comportamiento reológico y velocidad característica de desplazamiento. La Figura 68a muestra, en particular, la clasificación de algunos de los tipos de flujos, aludes y deslizamientos, en función de su composición, proporción de sólidos vs. agua, el comportamiento reológico y su velocidad de desplazamiento. Las áreas “vacías” indican la ausencia de procesos observados y descritos en la literatura consultada y, al menos, hasta la fecha. La Figura 68b propone una relación gráfica (i.e. nomograma) para comparar, esquemáticamente, el comportamiento de las masas en desplazamiento en función de su contenido relativo de agua vs. sólidos, la velocidad del desplazamiento de la masa y la composición y tipo de los materiales en cuestión.

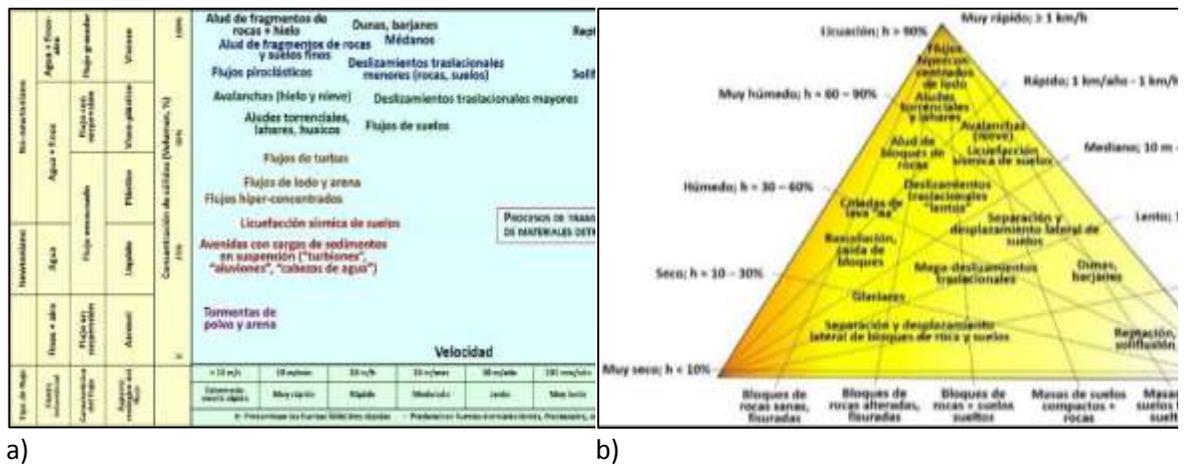


Figura 68. Caracterización del proceso dinámico de algunos de la inestabilidad de laderas en función de su composición, consistencia, energía y velocidad. 68a): Clasificación de algunos de los tipos de flujos, aludes y deslizamientos en función de su composición, proporción de sólidos vs. agua, comportamiento reológico y su velocidad de desplazamiento. 68b): Relación gráfica entre el contenido relativo de agua vs. sólidos, velocidad del desplazamiento de la masa y composición y tipo de materiales.

R-1. Represamiento temporal de cauces fluviales por mezclas de materiales rocosos, suelos y biomasa.

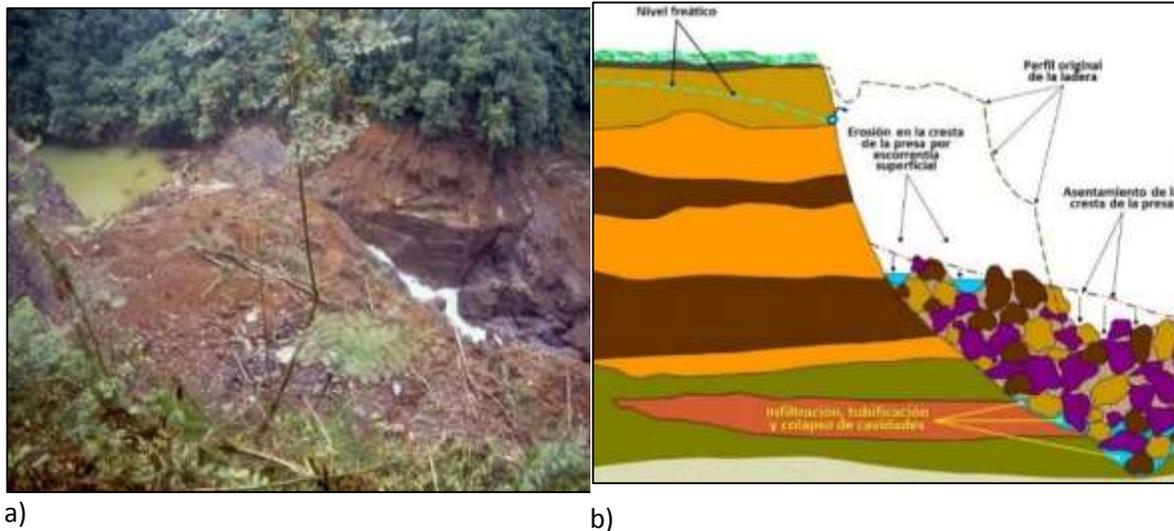
El represamiento de cauces fluviales, generado por movimientos de masas de terrenos inestables, desde las laderas, es un proceso relativamente frecuente. Es obvia la importancia de conocer los detalles de sus causas y consecuencias, sobre todo para fundamentar los procesos de la gestión del riesgo correspondientes, en particular cuando se generan bloqueos y embalses con dimensiones importantes. En la literatura internacional, que describe algunos de los casos más importantes, se pueden identificar eventos que han llegado a superar los tamaños de las presas y embalses artificiales. Entre los casos más frecuentes de los procesos de la geodinámica externa, que represan los ríos, pueden mencionarse las caídas de rocas, deslizamientos, aludes torrenciales, flujos de detritos disparados por lluvias, fusión súbita de glaciares y nieve. La mayoría de las represas son efímeras, es decir, poseen vidas cortas. En su mayoría, su longevidad es de 1 a 10 días, aunque hay casos en que han persistido durante algunos meses y hasta varios años. Las presas, de este género, usualmente fallan por el desbordamiento sobre su cresta, a veces generado por oleadas formadas por deslizamientos sucesivos que caen directamente en el embalse y por tubificación (i.e. erosión interna y colapso).

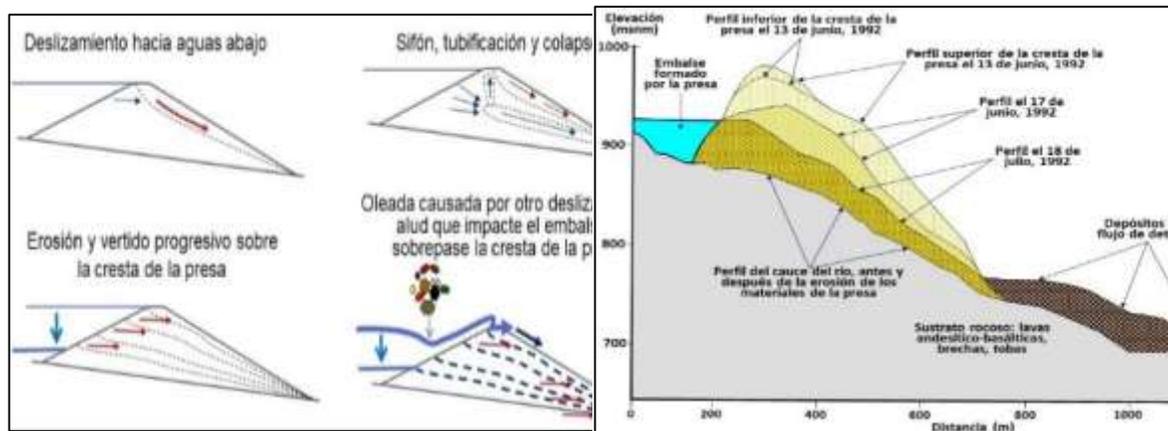
Debido a que el represamiento natural no cuenta con una estructura discernible, no es posible analizarlo sin incurrir en incertidumbres elevadas acerca de sus condiciones internas, hidráulicas y geotécnicas. Por ello, es muy difícil predecir su comportamiento, las formas, velocidad y procesos que conllevan su ruptura, composición y granulometría de los materiales, ruptura de la represa y liberación del agua del embalse.

La primera medida de mitigación, para casos como estos, consiste en la excavación de un vertedor, el cual permite iniciar el drenaje del embalse efímero, de manera ordenada y progresiva. Esto facilita el control del nivel del agua almacenada y la reducción consecuente de una oleada eventual hacia aguas abajo, en caso de ruptura súbita. En cuanto a los daños que pueden causar las oleadas y aludes

consecuentes que se generan luego de la ruptura súbita de las presas efímeras, deben agregarse la inundación de áreas pobladas, cultivos, líneas vitales y el daño a la producción de bienes y servicios en el área del embalse. En algunos casos, el vaciado rápido del embalse efímero ocasiona la generación de más deslizamientos y procesos erosivos intensos en las laderas adenañas (Schuster, 1986; Evans et al. 2011).

El aspecto de la presa, en el cauce del río Toro, tal y como se observaba el 15 de julio de 1992, luego de una primera ruptura, sucedió tanto por la socavación al pie como por vertido en su parte superior (fotografía de la Figura 131a). Seguidamente, en la Figura 131b aparece un esquema que muestra el deterioro progresivo de la presa, cuando comenzaron a acelerarse los procesos de infiltración por su interior y por el vertido sobre su borde superior. Por otra parte, en la Figura 131c aparecen los esquemas de los escenarios principales, considerados durante el análisis de la ruptura de la presa y durante el período previo al desenlace: i. Deslizamiento de una parte del cuerpo de aguas debajo de la presa; ii. Erosión interna, tubificación, sifonamiento y colapso dentro del cuerpo de la presa; iii. Erosión progresiva, por vertido, sobre el borde superior de la presa; iv. Oleaje intenso y vertido destructivo causado por el arribo súbito y violento de un deslizamiento nuevo hacia el embalse. En realidad, lo sucedido fue una conjugación de los escenarios i, ii y iii. En la Figura 131e) se observa el aspecto del cañón del río Toro el 6 de agosto de 1992, cuando ya quedaba relativamente poco material en la presa. Finalmente, en la Figura 131f) se presenta la forma cómo se había producido la agradación del cauce del río Toro, cerca de ocho metros desde el fondo original, frente al desfogue de la central hidroeléctrica Toro 2, el 9 de agosto de 1992.





c)

d)



e)



f)

Figura 131a. Aspecto de la presa, en el cauce del río Toro, el 15 de julio de 1992, luego de la primera ruptura, tanto al pie como por vertido en su parte superior. 131b) Esquema que muestra el deterioro progresivo de la presa se aceleró la infiltración por su interior y vertido sobre su borde superior. 131c) Escenarios de la ruptura de la presa considerados durante el período previo al desenlace: i. Deslizamiento de parte del cuerpo hacia aguas debajo de la presa; ii. Erosión interna, tubificación, sifonamiento y colapso del cuerpo de la presa; iii. Erosión progresiva por vertido sobre el borde superior de la presa; iv. Oleaje intenso causado por el arribo súbito y violento de un deslizamiento nuevo en el embalse. Lo sucedido fue una conjugación de los escenarios i, ii y iii. 131e) Aspecto del cañón del río Toro, 6 de agosto de 1992, cuando ya quedaba poco material en la presa. 131f) Agradación del cauce del río Toro ($\pm 8m$), frente al desfogue de la central hidroeléctrica Toro 2; 9 de agosto de 1992.

FM-3. Alud torrencial, mezclas variables de bloques rocosos y suelos, con proporciones elevadas de agua y cantidades menores de biomasa, hielo y nieve.

FM-5. Flujo hiper-concentrado y licuado, con bloques rocosos, gravas, arenas y suelos finos.

Este tipo de procesos de la geodinámica externa se produce, usualmente, asociado a eventos de lluvias y sismos intensos, por lo tanto, de manera simultánea con otras manifestaciones de la inestabilidad de laderas e inundaciones. Pueden suceder durante un solo evento discreto o mediante una sucesión rápida de numerosos eventos aledaños, con escalas grandes y pequeñas. Se trata del flujo no-confinado, rápido a extremadamente rápido, en condición no-newtoniana, de mezclas saturadas y licuadas de detritos rocosos, suelos residuales y transportados y en ocasiones, acumulaciones y botaderos artificiales de escombros, biomasa, bloques rocosos finos y gruesos, biomasa, hielo y nieve. Las vías del tránsito suelen ser cauces o superficies abiertas de pendiente elevada ($\geq 10^\circ$), en terrenos montañosos escarpados. El término “alud torrencial” será utilizado para describir lo que, hasta la fecha, ha sido denominado como “flujo de detritos” o “avalancha de detritos” (*debris Flow* en inglés, *murgang* en alemán, *coulée de débris* en francés, *dōseki-ryu* en japonés, *selevoii potok* en ruso). Tan pronto como se inicia el movimiento del material, desde la fuente (deslizamientos, caída de bloques rocosos, erosión intensa de suelos, etc.), la masa adquiere rápidamente y de manera transitoria, una condición no-drenada, pues se incrementa la presión intersticial y, por lo tanto, a veces alcanza a licuarse (Sassa 1985). Por lo general, los aludes torrenciales transportan volúmenes grandes de materiales sólidos ($\pm 60\%$) mezclados, de manera homogénea, con el agua ($\pm 40\%$). Por su elevada capacidad abrasiva y elevada tasa de energía cinética, son capaces de erosionar, socavar e incorporar, por acreción, volúmenes importantes de materiales sólidos, biomasa y agua adicional de los lechos, márgenes (p. ej. deslizamientos y coluvios laterales), terrazas aluviales y fondos-valle.

El flujo de los materiales movilizados por los deslizamientos de este tipo, por sus dimensiones, tirantes elevados, extensión, alcance (a veces hasta 10 km o más), impacto y capacidad de transportar bloques de grandes dimensiones (varios metros de diámetro), se caracteriza por volúmenes (i.e. disgregados desde la fuente) relativamente elevados. A esto se le agrega el volumen del material incorporado, por acreción, durante el tránsito (a veces mayor que el de la fuente original).

Por su densidad y viscosidad cinemática, la pendiente, geometría y superficies por la que transita (Hungry et al., 2005) y según la ocasión, los cauces de tránsito pueden agrandarse o profundizarse. Al alcanzar terrenos con menor pendiente, en los piedemontes y valles, la energía cinética se reduce rápidamente y los materiales se esparcen y depositan, usualmente con formas típicas de abanico coluvio-aluvial o conoide de deyección. Los ángulos de reposo de esos depósitos oscilan entre 5° y 20° . En algunos casos, la depositación frontal de los materiales gruesos forma paredes, terrazas, elevaciones y represamientos efímeros en los cauces (Pierson 1986), los cuales pueden romperse luego de un tiempo relativamente corto o sostenerse durante períodos más largos. En los abanicos, terrazas de piedemonte y conoides de deyección, la diferencia entre los depósitos de los aludes torrenciales y los depósitos aluviales clásicos es a veces difícil de establecer. Con frecuencia, en los depósitos torrenciales se observa la presencia de bloques muy grandes aislados, diques laterales y frontales con materiales gruesos, hileras de bloques, impactos y abrasión entre bloques y perfiles transversales en “V”. Los caudales equivalentes de los aludes torrenciales pueden superar los de las avenidas grandes más frecuentes en los mismos cauces fluviales por los que transitan (Hungry, 2000). Por ello y por las trayectorias y periodicidad de los aludes, no siempre son predictibles, aparte de que se desbordan fácilmente de las rutas esperadas, lo cual complica los análisis de la amenaza que implican.

En la literatura técnica se encuentra, también de manera frecuente, el término “avenidas (flujos) de lodo”. Las descripciones clásicas de este tipo de procesos indican que se trata de aludes torrenciales con predominancia de fracciones finas y plásticas. Estos flujos son rápidos a extremadamente rápidos y poseen proporciones mayores de agua, en relación con la fracción sólida. Típicamente, la naturaleza de los materiales depende de la composición original de sus fuentes, es decir, de sus características granulométricas, mineralógicas, sedimentológicas, estructurales y petrográficas. Sus dimensiones dependen de las dimensiones de las cuencas, cantidad de agua involucrada, tipo y tamaño de los procesos de inestabilidad de laderas que los generan y la geometría de los cauces por donde transitan. En ocasiones, cuando las cuencas son relativamente pequeñas y con gradientes topográficos abruptos, se les llaman “avenidas de lodo instantáneas” (“*mud flash floods*”), dada la rapidez de su génesis y tránsito. El impacto de estas avenidas, sobre la infraestructura civil, puede ser muy elevado.

En algunos de estos casos, sobre todo cuando poseen proporciones mayores de limo e índices de plasticidad elevados, los materiales poseen la capacidad de mantenerse con contenidos relativamente importantes de humedad y por mayor tiempo, por lo que su movilidad es, también, mayor (Bull 1964). En casos extremos, cuando los cauces transitan sobre gradientes topográficos elevados, su energía cinética favorece el transporte de sedimentos en suspensión y arrastre de fondo. Los depósitos distales de las avenidas de lodo pueden desarrollarse a distancias considerables hacia aguas abajo, mientras el gradiente topográfico de los cauces se mantenga con más de 5°.

Una vez que el alud torrencial o lahar penetran en el piedemonte y luego en las llanuras aluviales, el flujo comienza a perder velocidad, es decir energía cinética y comienzan a segregarse y decantarse los fragmentos más grandes y pesados del material transportado. De persistir el flujo, poco a poco comienzan a predominar las fracciones granulométricas cada vez más finas; en su orden de decantación: los bloques, luego los cantos, gravas, arenas y, por último, los limos. Los materiales se depositan en terrazas, cordones y abanicos aluviales extensos y eventualmente, en los deltas, litorales y áreas marino-costeras.