



ECOSISTEMAS TERRESTRES CONECTIVIDAD

TABLA DE CONTENIDO

5	CARACTERIZACION DEL AREA DE INFLUENCIA	1
5.2	MEDIO BIOTICO	1
5.2.2	Ecosistemas terrestres	1
	A. Conectividad funcional	1

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.2.2.1. Impactos y subcategorías del impacto específico ANLA 2023.....	3
Tabla 5.2.2.2. Homologación de impactos de la licencia con la estandarización ANLA 2023.	4
Tabla 5.2.2.3. Parámetros ecológicos de la especie <i>Leopardus pardalis</i>	10
Tabla 5.2.2.4. Parámetros ecológicos de la especie <i>Saguinus leucopus</i>	12
Tabla 5.2.2.5. Radio equivalente calculado para las especies E1 y E2.	17
Tabla 5.2.2.6. Calificación de la variable biótica NDVI para las especies E1 y E2 ..	38
Tabla 5.2.2.7. Elementos viales del proyecto (OSP, 1CPL y 2CPM).....	41
Tabla 5.2.2.8. Calificación de la variable abiótica vías	42
Tabla 5.2.2.9. Elemento construcciones del proyecto (OSP, 1CPL y 2CPM).....	45
Tabla 5.2.2.10. Calificación de la variable abiótica construcciones	46
Tabla 5.2.2.11. Calificación de la variable abiótica pendientes	49
Tabla 5.2.2.12. Elementos que conforman la variable actividad minera (OSP, 1CPL y 2CPM)	51
Tabla 5.2.2.13. Niveles de ruido y fuentes de ruido de las actividades del proyecto Gramalote.....	52
Tabla 5.2.2.14. Calificación variable actividad minera.....	53
Tabla 5.2.2.15. Ponderación para cálculo de matriz de resistencia total	55
Tabla 5.2.2.16. Datos de desplazamiento diario disponibles para la especie E1 y E271	
Tabla 5.2.2.17. Cálculos de corredores de costo para la E1) <i>Leopardus pardalis</i> ...	72
Tabla 5.2.2.18. Cálculos de corredores de costo para la E2 <i>Oedipomidas leucopus</i> 72	
Tabla 5.2.2.19. Comparación resultados cuantitativos de la red de conectividad local para la E1 <i>Leopardus pardalis</i>	221
Tabla 5.2.2.20. Comparación resultados cuantitativos de la red de conectividad local para la E2 <i>Oedipomidas leucopus</i>	221
Tabla 5.2.2.21. Comparación resultados de los índices PC, IIC, EC para la especie E1 <i>Leopardus pardalis</i>	223
Tabla 5.2.2.22. Comparación resultados de los índices PC, IIC, EC para la especie E2 <i>Oedipomidas leucopus</i>	223
Tabla 5.2.2.23. Comparación resultados cuantitativos de la red de conectividad para la E1 y E2 en el área de influencia de conctividad.	236

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.2.2.1. Radio equivalente calculado para las especies E1 <i>Leopardus pardalis</i> y E2 <i>Oedipomidas leucopus</i> partiendo del proyecto como hábitat.	18
Figura 5.2.2.2. Áreas de importancia ecológica del (RUNAP) y (REAA) circundantes al proyecto.	19
Figura 5.2.2.3. Área de estudio de conectividad regional.	20
Figura 5.2.2.4. Imagen de satélite para la matriz de resistencia.	22
Figura 5.2.2.5. Imagen sentinel 2A para la matriz de resistencia.	23
Figura 5.2.2.6. Coberturas de la tierra clasificadas para la matriz de resistencia. ...	24
Figura 5.2.2.7. Cartografía base, para la matriz de resistencia.	25
Figura 5.2.2.8. Pendientes, para la matriz de resistencia.	26
Figura 5.2.2.9. Obras y actividades del proyecto licenciado (1CPL), para la matriz de resistencia.	27
Figura 5.2.2.10. Obras y actividades del proyecto modificación (2CPM), para la matriz de resistencia.	28
Figura 5.2.2.11. Gama de colores de acuerdo con los valores para la matriz de resistencia.	29
Figura 5.2.2.12. Esquema de calificación del NDVI para clase de cobertura.	31
Figura 5.2.2.13. Esquema de definición de umbrales para calificación de la clase segmentada del NDVI, detalle.	32
Figura 5.2.2.14. Esquema de rangos de interpolación para calificación de la clase segmentada del NDVI, detalle.	33
Figura 5.2.2.15. Esquema de procedimiento para la obtención del ráster de calificación de la variable NDVI.	34
Figura 5.2.2.16. Representación esquemática del NDVI segmentado por tipo de cobertura.	35
Figura 5.2.2.17. Calificación de los valores del NDVI.	36
Figura 5.2.2.18. Función de atenuación para la calificación de variables abióticas.	40
Figura 5.2.2.19. Traslapo y magnitud de los impactos generados por las vías de comunicación terrestre.	42
Figura 5.2.2.20. Representación esquemática de la variable vías.	44
Figura 5.2.2.21. Niveles de ruido y fuentes de ruido en los cuales se presentan respuestas biológicas de los diferentes grupos taxonómicos.	46
Figura 5.2.2.22. Representación esquemática de la variable construcciones.	48
Figura 5.2.2.23. Representación esquemática de la variable pendientes.	50

Figura 5.2.2.24. Niveles de ruido y fuentes de ruido en los cuales se presentan respuestas biológicas de los diferentes grupos taxonómicos.	52
Figura 5.2.2.25. Representación esquemática de la variable actividades mineras..	54
Figura 5.2.2.26. Representación esquemática de la matriz de resistencia en el escenario sin proyecto	56
Figura 5.2.2.27. Representación esquemática de la matriz de resistencia en el escenario con proyecto licenciado 1CPL.	57
Figura 5.2.2.28. Representación esquemática de la matriz de resistencia en el escenario con proyecto modificación de licencia 2CPM.	58
Figura 5.2.2.29. Coberturas de la tierra del proyecto Gramalote MEIA.	60
Figura 5.2.2.30. Nodos focales para la modelación regional y local	61
Figura 5.2.2.31. Nodos y coberturas naturales y seminaturales para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional.....	62
Figura 5.2.2.32. Nodos y coberturas naturales y seminaturales para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional.....	63
Figura 5.2.2.33. Red de conectividad realista para el análisis origen destino de conversión de unidades.	71
Figura 5.2.2.34. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional.	75
Figura 5.2.2.35. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional.	76
Figura 5.2.2.36. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional.....	77
Figura 5.2.2.37. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional.....	78
Figura 5.2.2.38. Calificación de la variable abiótica vías para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional.	79
Figura 5.2.2.39. Calificación de la variable abiótica vías para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional.	80
Figura 5.2.2.40. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional.....	81
Figura 5.2.2.41. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional.....	82
Figura 5.2.2.42. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional.....	83
Figura 5.2.2.43. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional.....	84

Figura 5.2.2.44. Matriz de resistencia abiótica para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional.....	85
Figura 5.2.2.45. Matriz de resistencia abiótica para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional.....	86
Figura 5.2.2.46. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional.	87
Figura 5.2.2.47. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional.	88
Figura 5.2.2.48. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional 1CPL.	89
Figura 5.2.2.49. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional 1CPL.....	90
Figura 5.2.2.50. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional 2CPM.	91
Figura 5.2.2.51. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional 2CPM.....	92
Figura 5.2.2.52. Red de conectividad de nodos y enlaces teóricos en grafos, para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional OSP.	93
Figura 5.2.2.53. Red de conectividad de nodos y enlaces teóricos en grafos, para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional OSP.	94
Figura 5.2.2.54. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional OSP.	95
Figura 5.2.2.55. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional OSP.	96
Figura 5.2.2.56. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional OSP.	97
Figura 5.2.2.57. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional OSP.	98
Figura 5.2.2.58. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional OSP.	99
Figura 5.2.2.59. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional OSP.....	100
Figura 5.2.2.60. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional OSP.	101
Figura 5.2.2.61. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional 1CPL.	102
Figura 5.2.2.62. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escala regional 2CPM.	103

Figura 5.2.2.63. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional 0SP.	104
Figura 5.2.2.64. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional 1CPL.	105
Figura 5.2.2.65. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escala regional 2CPM.	106
Figura 5.2.2.66. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> y las áreas de especial importancia ecológica escala regional.....	107
Figura 5.2.2.67. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> y las áreas de especial importancia ecológica escala regional.....	108
Figura 5.2.2.68. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> y las áreas de especial importancia ecológica escala regional.....	109
Figura 5.2.2.69. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> y las áreas de especial importancia ecológica escala regional.	110
Figura 5.2.2.70. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> y las áreas de especial importancia ecológica escala regional.....	111
Figura 5.2.2.71. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> y las áreas de especial importancia ecológica escala regional.....	112
Figura 5.2.2.72. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> y las áreas de especial importancia ecológica escenario 0SP escala regional.....	113
Figura 5.2.2.73. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> y las áreas de especial importancia ecológica escenario 1CPL escala regional.	114
Figura 5.2.2.74. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> y las áreas de especial importancia ecológica escenario 2CPM escala regional.	115
Figura 5.2.2.75. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> y las áreas de especial importancia ecológica escenario 0SP escala regional.....	116
Figura 5.2.2.76. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> y las áreas de especial importancia ecológica escenario 1CPL escala regional.	117

Figura 5.2.2.77. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> y las áreas de especial importancia ecológica escenario 2CPM escala regional.	118
Figura 5.2.2.78. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 1CPL-OSP en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.	120
Figura 5.2.2.79. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 1CPL-OSP en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.	121
Figura 5.2.2.80. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 2CPM-OSP en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.	122
Figura 5.2.2.81. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 2CPM-OSP en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.	123
Figura 5.2.2.82. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 1CPL-OSP en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> y las áreas de especial importancia ecológica analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.	124
Figura 5.2.2.83. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 1CPL-OSP en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> y las áreas de especial importancia ecológica analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.	125
Figura 5.2.2.84. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 2CPM-OSP en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> y las áreas de especial importancia ecológica analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.	126
Figura 5.2.2.85. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 2CPM-OSP en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> y las áreas de especial importancia ecológica analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.	127
Figura 5.2.2.86. Área de estudio de conectividad local.	128
Figura 5.2.2.87. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (OSP) escala local.	129
Figura 5.2.2.88. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (OSP) escala local.	130
Figura 5.2.2.89. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (OSP) escala local.	131
Figura 5.2.2.90. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (OSP) escala local.	132

Figura 5.2.2.91. Calificación de la variable abiótica vías para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (OSP) escala local.....	133
Figura 5.2.2.92. Calificación de la variable abiótica vías para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (OSP) escala local.....	134
Figura 5.2.2.93. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (OSP) escala local.....	135
Figura 5.2.2.94. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (OSP) escala local.	136
Figura 5.2.2.95. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (OSP) escala local.....	137
Figura 5.2.2.96. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (OSP) escala local.	138
Figura 5.2.2.97. Suma de la calificación de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera de la variable abiótica para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escenario sin proyecto (OSP) escala local.....	139
Figura 5.2.2.98. Suma de la calificación de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera de la variable abiótica para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escenario sin proyecto (OSP) escala local.	140
Figura 5.2.2.99. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (OSP) escala local.....	141
Figura 5.2.2.100. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (OSP) escala local.....	142
Figura 5.2.2.101. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.....	143
Figura 5.2.2.102. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.....	144
Figura 5.2.2.103. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.	145
Figura 5.2.2.104. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.	146
Figura 5.2.2.105. Calificación de la variable abiótica vías para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.....	147
Figura 5.2.2.106. Calificación de la variable abiótica vías para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto licenciado (1CPL).	148
Figura 5.2.2.107. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.	149
Figura 5.2.2.108. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.....	150

Figura 5.2.2.109. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.....	151
Figura 5.2.2.110. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.....	152
Figura 5.2.2.111. Suma de la calificación de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera de la variable abiótica para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escenario con proyecto licenciado (1CPL) escala local.....	153
Figura 5.2.2.112. Suma de la calificación de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera de la variable abiótica para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escenario con proyecto licenciado (1CPL) escala local.....	154
Figura 5.2.2.113. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.....	155
Figura 5.2.2.114. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.....	156
Figura 5.2.2.115. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	157
Figura 5.2.2.116. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	158
Figura 5.2.2.117. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	159
Figura 5.2.2.118. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	160
Figura 5.2.2.119. Calificación de la variable abiótica vías para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	161
Figura 5.2.2.120. Calificación de la variable abiótica vías para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	162
Figura 5.2.2.121. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	163
Figura 5.2.2.122. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	164
Figura 5.2.2.123. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	165
Figura 5.2.2.124. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	166
Figura 5.2.2.125. Suma de la calificación de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera de la variable abiótica para la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escenario con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	167
Figura 5.2.2.126. Suma de la calificación de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera de la variable abiótica para la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escenario con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	168

Figura 5.2.2.127. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	169
Figura 5.2.2.128. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.	170
Figura 5.2.2.129. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	171
Figura 5.2.2.130. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local).	172
Figura 5.2.2.131. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	173
Figura 5.2.2.132. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	174
Figura 5.2.2.133. Componentes de la red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	175
Figura 5.2.2.134. Componentes de la red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	176
Figura 5.2.2.135. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.	177
Figura 5.2.2.136. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.	178
Figura 5.2.2.137. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.	179
Figura 5.2.2.138. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto licenciado (1CPL) escala local.	180
Figura 5.2.2.139. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.	181
Figura 5.2.2.140. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.	182
Figura 5.2.2.141. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.	183
Figura 5.2.2.142. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> con proyecto MEIA (2CPM) escala local.	184
Figura 5.2.2.143. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	185
Figura 5.2.2.144. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	186

Figura 5.2.2.145. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	187
Figura 5.2.2.146. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	188
Figura 5.2.2.147. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad intra (dPCintra) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	189
Figura 5.2.2.148. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad intra (dPCintra) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	190
Figura 5.2.2.149. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad intra (dPCintra) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	191
Figura 5.2.2.150. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad intra (dPCintra) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	192
Figura 5.2.2.151. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad flux (dPCflux) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	193
Figura 5.2.2.152. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad flux (dPCflux) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	194
Figura 5.2.2.153. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad flux (dPCflux) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	195
Figura 5.2.2.154. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad flux (dPCflux) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	196
Figura 5.2.2.155. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad connector (dPCconnector) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	197
Figura 5.2.2.156. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad connector (dPCconnector) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	198
Figura 5.2.2.157. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad connector (dPCconnector) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	199
Figura 5.2.2.158. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad connector (dPCconnector) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	200

Figura 5.2.2.159. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	201
Figura 5.2.2.160. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	202
Figura 5.2.2.161. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	203
Figura 5.2.2.162. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	204
Figura 5.2.2.163. Índice de correlación de conectividad (CCor) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	205
Figura 5.2.2.164. Índice de correlación de conectividad (CCor) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	206
Figura 5.2.2.165. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	207
Figura 5.2.2.166. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.....	208
Figura 5.2.2.167. Conectividad equivalente (EC) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	209
Figura 5.2.2.168. Conectividad equivalente (EC) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	210
Figura 5.2.2.169. Conectividad equivalente (EC) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) escala local.	211
Figura 5.2.2.170. Conectividad equivalente (EC) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) escala local.	212
Figura 5.2.2.171. Corredores de menor costo para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escenario sin proyecto (0SP) escala local.	213
Figura 5.2.2.172. Corredores de menor costo para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escenario sin proyecto (0SP) escala local.	214
Figura 5.2.2.173. Corredores de menor costo para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escenario con proyecto MEIA (2CPM) escala local.	215
Figura 5.2.2.174. Corredores de menor costo para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escenario con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	216
Figura 5.2.2.175. Zonas críticas para la conectividad para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escenario sin proyecto (0SP) escala local.	217
Figura 5.2.2.176. Zonas críticas para la conectividad para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escenario sin proyecto (0SP) escala local.....	218
Figura 5.2.2.177. Zonas críticas para la conectividad para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> escenario con proyecto MEIA (2CPM) escala local.	219

Figura 5.2.2.178. Zonas críticas para la conectividad para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> escenario con proyecto MEIA (2CPM) escala local.....	219
Figura 5.2.2.179. Métricas globales del IIC, PC y EC para las especies E1 <i>Leopardus pardalis</i> y E2 <i>Oedipomidas leucopus</i> , en los escenarios 0SP, 1CPL y 2CPM	224
Figura 5.2.2.180. Área de influencia de conectividad funcional para la para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i>	226
Figura 5.2.2.181. Área de influencia de conectividad funcional para la para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i>	227
Figura 5.2.2.182. Área de influencia de conectividad funcional del proyecto.	228
Figura 5.2.2.183. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) <i>Leopardus pardalis</i> sin proyecto (0SP) en el área de influencia de conectividad	230
Figura 5.2.2.184. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> sin proyecto (0SP) en el área de influencia de conectividad.	231
Figura 5.2.2.185. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie E1 <i>Leopardus pardalis</i> del área de influencia de conectividad funcional.	232
Figura 5.2.2.186. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> del área de influencia de conectividad funcional.	233
Figura 5.2.2.187. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> del área de influencia de conectividad funcional.	234
Figura 5.2.2.188. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> del área de influencia de conectividad funcional.	235
Figura 5.2.2.189. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> en el área de influencia de conectividad funcional.	238
Figura 5.2.2.190. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> en el área de influencia de conectividad funcional.	239
Figura 5.2.2.191. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> en el área de influencia de conectividad funcional.	240
Figura 5.2.2.192. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> en el área de influencia de conectividad funcional.	241
Figura 5.2.2.193. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> en el área de influencia de conectividad funcional.	242

Figura 5.2.2.194. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> en el área de influencia de conectividad funcional.	243
Figura 5.2.2.195. Corredores de menor costo para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> en el área de influencia de conectividad funcional.	244
Figura 5.2.2.196. Corredores de menor costo para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> en el área de influencia de conectividad funcional.	245
Figura 5.2.2.197. Zonas críticas para la conectividad para la especie (E1) <i>Leopardus pardalis</i> en el área de influencia de conectividad funcional.	246
Figura 5.2.2.198. Zonas críticas para la conectividad para la especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i> en el área de influencia de conectividad funcional.	247

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 5.2.2.1. Individuo de <i>Leopardus pardalis</i> registrado con cámaras trampa durante el muestreo del MEIA, 2025.....	10
Fotografía 5.2.2.2. <i>Oedipomidas leucopus</i> , registrado durante la caracterización de fauna de para el trámite de Modificación de licencia ambiental MEIA,2018	12

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 5.2.2.1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	30
Ecuación 5.2.2.2. Formula de Probabilidad de Conectividad (PC).	65
Ecuación 5.2.2.3. Fórmula del delta de probabilidad de conectividad	66
Ecuación 5.2.2.4. Fórmula fracciones del delta de probabilidad de conectividad	66
Ecuación 5.2.2.5. Ecuación del Índice Integral de Conectividad (IIC).....	67
Ecuación 5.2.2.6. Ecuación del delta del índice Integral de Conectividad (IIC)	68
Ecuación 5.2.2.7. Ecuación del Índice de correlación de conectividad (CCor)	68
Ecuación 5.2.2.8. Ecuación del Índice Conectividad Equivalente (EC)	69

MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO DE MINERÍA DE ORO A CIELO ABIERTO GRAMALOTE.

ATENCION A REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN ADICIONAL ACTA 30 DE 30 DE JUNIO DE 2026

5 CARACTERIZACION DEL AREA DE INFLUENCIA

5.2 MEDIO BIOTICO

5.2.2 Ecosistemas terrestres

A. Conectividad funcional

En la ecología del paisaje, la conectividad ecológica es el libre movimiento de especies y el flujo de los procesos naturales que sostienen la vida en la tierra (Hilty J., 2021). El concepto de "conectividad" del paisaje fue definido por (Merriam G., 1984), quien lo definió como el "grado en que los elementos del paisaje evitan el aislamiento absoluto y permiten a los organismos moverse entre parches". Posteriormente fue un concepto adoptado y definido por Taylor y colaboradores (Taylor P. D., 1993) como "el grado en que el paisaje impide o facilita el movimiento entre parches con recursos.

En términos generales, podemos identificar dos componentes principales de la conectividad: el componente estructural (o físico) y el componente funcional (o de comportamiento). En cuanto al componente estructural este se refiere a la disposición espacial de diferentes tipos de hábitat u otros elementos en el paisaje. Por otro lado, el componente funcional se enfoca en la respuesta comportamental de individuos, especies o procesos ecológicos a la estructura física del paisaje (Crooks K., 2006). La conectividad estructural a menudo se compara con la agregación espacial del hábitat y se mide analizando la estructura del paisaje sin ninguna referencia obligatoria al movimiento de organismos o procesos a través del paisaje mientras que la conectividad funcional requiere no solo información espacial sobre hábitats o elementos del paisaje, sino también al menos alguna percepción sobre el movimiento de organismos o procesos a través del paisaje (Crooks K., 2006; Hilty J., 2021).

Para las especies, la conectividad funcional es el movimiento de las poblaciones, individuos, genes, gametos y propágulos entre poblaciones, comunidades y ecosistemas, así como de la materia no viva, de una ubicación a otra (Hilty J., 2021). Los movimientos y migraciones de animales pueden proporcionar información de conectividad funcional entre áreas que están separadas en el espacio geográfico mediante el transporte de biomasa, genes y organismos menos móviles. Esta conectividad tiene implicaciones ecológicas más amplias

para la estructura poblacional de las especies y también puede proporcionar oportunidades de dispersión para organismos sésiles o con muy baja movilidad como plantas al mover polen y semillas (Van Toor M.L., 2018).

El presente análisis de conectividad funcional evalúa los efectos potenciales que pueda tener el proyecto minero y sus actividades asociadas a la conectividad funcional del territorio en diferentes escenarios analíticos. Se evaluó la disponibilidad actual de hábitat para las especies en el área de estudio y cómo es su movimiento potencial entre estos hábitats, teniendo en cuenta los elementos que pueden facilitar o restringir su movimiento y el costo de estos desplazamientos entre parches de hábitat. Para este análisis se definió y delimitó un área de estudio amplia teniendo en cuenta aspectos ecológicos de las especies -como el home-range- y elementos de importancia para la conectividad como parches de hábitat y áreas de especial importancia ecológica, con el fin de obtener resultados representativos sobre los posibles patrones de movilidad de las especies de fauna en el paisaje. En este ejercicio, se modelaron especies de fauna de alta y mediana movilidad con el fin de que se pudiera evidenciar alguna alteración potencial en su movimiento por el proyecto y que a su vez puedan representar especies con patrones de movilidad similares e incluso a especies de baja movilidad. Estas especies fueron elegidas teniendo en cuenta criterios ecológicos como “especies indicadoras o sombrilla” y su estado de conservación como la categoría de amenaza o endemismo.

Los resultados del análisis se utilizaron en la definición del área de influencia de conectividad funcional, como parte de la espacialización de los impactos a la conectividad, relacionados con los componentes del medio biótico como ecosistemas y cobertura.

Se aclara que, para la conectividad funcional, el paisaje es abordado desde el contexto de ecología del paisaje y no del paisaje fisiográfico.

La información geográfica utilizada en el presente estudio de conectividad, así como los resultados y salidas cartográficas se incluyen en el anexo cartográfico de conectividad (Anexo del MEIA: ANEXOS_CARACTERIZACION_CONECTIVIDAD).

a. Objetivos del estudio de conectividad funcional

- Evaluar la conectividad funcional del paisaje actual del área del proyecto Gramalote en un escala regional y local y en los escenarios sin proyecto (0SP), con proyecto licenciado (1CPL) y con proyecto para la modificación de licencia (2CPM).
- Identificar los elementos del paisaje de importancia para la conectividad que faciliten o restrinjan el movimiento de las especies de la biodiversidad en el paisaje actual en el proyecto Gramalote.
- Cuantificar, delimitar y espacializar los impactos a la conectividad funcional en el paisaje actual que puede traer el proyecto Gramalote, sus obras y actividades.

i. Metodología

Los términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental – EIA TdR-013 (ANLA, 2016) y la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales (MADS, 2018) no relacionan una metodología específica para los análisis de conectividad ecológica funcional por lo que se planteó una metodología que permitiera evaluar la conectividad del territorio en una escala regional y local y en los escenarios sin proyecto (0SP), con proyecto licenciado (1CPL) y con proyecto para la modificación de

licencia (2CPM) e identificar el área de manifestación de los impactos ambientales significativos a la conectividad para la definición y delimitación del área de influencia del componente conectividad funcional y la caracterización de la misma. La metodología empleada para este análisis se describe a continuación:

b. Efectos potenciales por el proyecto, obra o actividad a la conectividad

La minería como cualquier otro proyecto, obra o actividad tiene impactos asociados. Es de conocimiento global que la minería y sus actividades asociadas tienen impactos en la biodiversidad a múltiples escalas espaciales (local, paisaje, regional) mediante procesos directos (es decir, la extracción de minerales) e indirectos (a través de industrias que apoyan las operaciones mineras) (Sonter L.J., 2018). Esta actividad tiene asociados varios impactos, siendo la pérdida y fragmentación del hábitat uno de los de mayor relevancia, pues la minería al igual que otras actividades antrópicas inevitablemente requiere remoción de la vegetación (Wickham J., 2013; Sonter L.J., 2018; Bandyopadhyay S., 2019; Timsina, 2022; Shanmukha N.T., 2024). Las obras y actividades asociadas a la minería aportan directa e indirectamente a la pérdida, fragmentación y degradación del hábitat y esto a su vez puede afectar corredores naturales en los hábitats de la fauna silvestre, reduciendo la conectividad de estos hábitats (Su X.K., 2015; Zhuo Y., 2022) llevando a algunas especies a evitar las zonas mineras (Su X.K., 2015; Cristescu B., 2016).

A nivel nacional la metodología para evaluar los impactos asociados a los diferentes proyectos, obras o actividades, entre ellos la minería se encuentra en el documento de Estandarización y Jerarquización de Impactos Ambientales de Proyectos Licenciados por ANLA de diciembre de 2023 (ANLA, 2023). Para el medio biótico se identifican impactos para componentes como cobertura, ecosistemas (terrestres y acuáticos), flora, fauna e hidro biota. En este documento de estandarización se identifican dos impactos asociados a la conectividad ecológica: el primer impacto asociado al componente de ecosistemas (terrestres) denominado Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres, definido como *“Cambio en los ecosistemas y hábitats terrestres como consecuencia de un POA que generan: i) Cambios en disponibilidad de hábitats terrestres; ii) Alteración de procesos ecológicos (alimento, refugio, zonas de reproducción, corredores de movimiento, interacciones ecológicas, etc.), entre otros”* y el segundo impacto asociado al componente cobertura denominado Alteración de la estructura ecológica del paisaje, definido como *“Cambio en la extensión (área), forma (geometría) y distribución de las coberturas vegetales y función (según Corine Land Cover 2.3.2, 2.4, 3 y 4.1.3) como consecuencia de un POA que generan: i) Disminución de coberturas, ii) efectos de borde, iii) fragmentación de coberturas, iv) disminución de la conectividad estructural y funcional, entre otros”*. Estos impactos incluyen unas subcategorías de impacto específico, presentadas en el Anexo 7 del documento de Estandarización (ANLA, 2023) que aplican para todo tipo de proyectos. Las siguientes subcategorías se muestran a continuación (ver la Tabla 5.2.2.1):

Tabla 5.2.2.1. Impactos y subcategorías del impacto específico ANLA 2023.

Impacto	Subcategorías del impacto
Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la dinámica de sucesión ecológica de la comunidad o ensambles de fauna terrestre • Cambio en la disponibilidad y condiciones del hábitat • Cambio en la estructura vertical u horizontal de la flora

Impacto	Subcategorías del impacto
	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio en la integridad y salud ecológica de ecosistemas terrestres • Cambio en la red trófica terrestre • Cambio en las trayectorias en cuanto a estructura y composición de las comunidades vegetales • Cambios en ciclos biogeoquímicos y energéticos • Cambios en la actividad fotosintética • Cambios en la biomasa vegetal • Cambios en la producción primaria • Cambios en las interacciones ecológicas terrestres (Mutualismo, Competencia, Depredación, Parasitismo, Comensalismo, Amensalismo, entre otras) • Cambios en los nichos ecológicos terrestres
Alteración de la estructura ecológica del paisaje	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la composición o diversidad de parches y clases de la cobertura vegetal • Cambio en conectividad funcional • Cambio en el número de coberturas vegetales • Cambio en la conectividad estructural • Cambio en la distribución de los parches de la cobertura vegetal • Cambio en la extensión (área) de la cobertura vegetal • Cambio en la forma (geometría) de la cobertura vegetal • Fragmentación de ecosistemas terrestres • Fragmentación de la cobertura vegetal • Fragmentación del hábitat para fauna terrestre • Incremento o disminución del efecto barrera para especies silvestres terrestres • Incremento o disminución del efecto de borde para especies silvestres terrestres

Fuente: Integral S.A., 2025

La identificación de los impactos asociados a la conectividad es fundamental para los demás capítulos. Para la licencia ambiental (Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015 y la Resolución 0309 del 29 de marzo de 2016) los impactos evaluados se relacionaban con la *Fragmentación de hábitat* y la *Modificación de la cobertura vegetal*, pero ninguno a la conectividad ecológica ya que no se realizaron estudios de conectividad funcional durante la licencia. Para la presente modificación de licencia, se presenta la homologación para la trazabilidad de los impactos autorizados en la licencia ambiental con la estandarización de impactos de ANLA presentados en la Tabla 5.2.2.2.

Tabla 5.2.2.2. Homologación de impactos de la licencia con la estandarización ANLA 2023.

Medio	Componente	Impactos autorizados licencia ambiental	Impactos definidos por ANLA
Biótico	Ecosistemas	Fragmentación de hábitat	Alteración de la estructura ecológica del paisaje
		Modificación de la cobertura vegetal	Alteración a ecosistemas y hábitats terrestres

Fuente: Integral S.A., 2025

c. Especies objeto de estudio

Para evaluar la conectividad funcional de un corredor biológico o un área, es importante establecer para cual organismo o grupo de organismos resulta prioritario determinarla y cómo, la conectividad funcional, va a depender de las características de cada especie (Alonso F. Ana M., 2017). Es recurrente que se utilicen especies indicadoras o sombrilla para identificar áreas de conectividad para un conjunto de especies (Hilty J., 2021).

Las especies paraguas se caracterizan por sus requisitos específicos de hábitat como “especies que dependen de hábitats o recursos sucesionales, raros o impredecibles”; por sus requisitos de área como “especies con grandes requisitos de área, que, si se les proporciona suficiente área de hábitat protegido, atraerán a muchas otras especies bajo su protección”; y por el número de especies con las que se superponen (Wilcox, 1984; Roberge J., 2004; Caro T. M., 2010; Barlow C.P., 2020). Sin embargo, hay áreas del territorio que no registran especies sombrilla por lo que se puede optar por otras especies ya sean indicadoras, clave o bandera (Caro T. M., 2010; Carlisle J. D., 2018). Otra opción son las especies focales, que son aquellas cuyos requisitos de persistencia (p. ej., área y conectividad) encapsulan los de muchas otras especies y contribuyen a los procesos ecológicos de forma única (Lambeck R. J., 1997; Bani, 2002) siendo los vertebrados forestales, como los carnívoros de tamaño mediano, especies focales ideales (Bani, 2002). La utilización de las denominadas especies focales se puede implementar para la creación de redes de conectividad o modelamiento de hábitat, de manera que sirvan como especie o especies paraguas, cuyo estudio pueda abarcar los requerimientos ecológicos de una gran variedad de organismos (Alonso F. Ana M., 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó una revisión de la información primaria de fauna tanto de la caracterización de la línea base de la licencia ambiental (EIA Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015 y la Resolución 0309 del 29 de marzo de 2016) (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2015), como la caracterización de fauna de la línea base de la Modificación de licencia ambiental (MEIA Resolución 00782 del 08 de mayo de 2019) (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2018) y la línea base de fauna más reciente para la nueva modificación de licencia ambiental (MEIA), con el fin de verificar si dentro de las especies registradas se reportan especies sombrilla, sin embargo, no se han reportado especies de este tipo para el área. Por lo tanto, se buscaron otras especies de alta importancia ecológica que se pudieran considerar como especies focales y que presentaran información ecológica disponible que permitieran analizar los efectos o impactos potenciales para las especies de fauna en cuanto a su movilidad frente a las eventuales obras y actividades del proyecto. Se plantearon los siguientes criterios para su selección:

- ✓ Registros de especies en la línea base
- ✓ Categorías de amenaza de la especie
- ✓ Tipo de distribución de la especie
- ✓ Especies sombrilla, indicadoras, clave o bandera
- ✓ Información de patrones de movimiento disponible para la especie

Los criterios de selección permiten hacer un filtro a la información para elegir la especie de tal manera que las especies resultantes cumplan con cada uno de los criterios y así puedan representar lo que se busca en una especie focal.

I. Registros de especies en la línea base del EIA y MEIAs

Este primer criterio parte de tener en cuenta la información primaria de las especies de fauna terrestre, ya sean aves, mamíferos, anfibios o reptiles, con registros en el área de influencia del medio biótico, identificadas durante la fase de muestreo, por medio de técnicas de muestreo como observación directa, captura temporal (bajo técnicas de muestreo autorizadas), rastros (huellas, heces, pelos) y foto-trampeo. No aplican las especies registradas por entrevistas o con registros anecdóticos.

Teniendo en cuenta la información primaria de fauna del proyecto, para la línea base del EIA (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2015) se registraron 220 especies de fauna, específicamente 146 especies de aves, 30 especies de mamíferos, 22 especies de anfibios y 22 especies de reptiles. Por otro lado, para el MEIA (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2018) se registraron 220 especies de fauna, específicamente 158 especies de aves, 35 especies de mamíferos, 15 especies de anfibios y 12 especies de reptiles. Para el MEIA actual se registraron 246 especies de fauna, específicamente 176 especies de aves, 34 especies de mamíferos, 18 especies de anfibios y 18 especies de reptiles.

II. Categorías de amenaza de la especie

Las especies amenazadas son definidas mediante evaluaciones de riesgo de extinción. Estas evaluaciones son desarrolladas por grupos de expertos que valoran criterios de vulnerabilidad y amenaza para cada especie y le asignan una categoría de riesgo de extinción. Las categorías y los criterios siguen el estándar internacional de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza – UICN (en inglés International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species IUCN) (IUCN, 2025).

Para Colombia, la Resolución 0126 del 6 de febrero del 2024 de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el documento que incluye la evaluación de las categorías de amenaza. El artículo 2 de la Resolución 0126 define que “...para la correcta interpretación de la presente resolución, se tendrá en cuenta que una especie amenazada es aquella que se encuentre en Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN) y vulnerable (VU) de acuerdo con las categorías propuestas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)...” (MADS, 2024).

Teniendo en cuenta la información primaria de fauna del proyecto, para la línea base del EIA (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2015) se registraron cinco especies de fauna en categorías de amenaza, específicamente dos aves en categoría VU (*Capito hypoleucus*, *Hypopyrrhus pyrohypogaster*), dos mamíferos en categoría VU (*Aotus lemurinus*) y en categoría EN (*Oedipomidas leucopus*) y un anfibio en categoría VU (*Sachatamia punctulata*). Por otro lado, para el MEIA 2018 (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2018) se registraron dos mamíferos en categoría VU (*Aotus lemurinus*) y en categoría EN (*Oedipomidas leucopus*). Para MEIA actual se registraron dos mamíferos uno en categoría VU (*Lontra annectens*) y en categoría EN (*Oedipomidas leucopus*).

Por otro lado, la CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) es un acuerdo internacional concertado entre los gobiernos que tiene por finalidad velar por que el comercio internacional de especímenes de animales y plantas silvestres no constituye una amenaza para la supervivencia de las

especies (CITES, 2025). La Convención establece tres apéndices I, II y III para regular el comercio de especies silvestres, cada una con diferentes niveles y tipos de protección, así como requisitos para el comercio, dependiendo del grado de amenaza que enfrenta cada especie. El Apéndice I se incluyen las especies sobre las que se cierne el mayor grado de peligro entre las especies de fauna y de flora pues estas especies están en peligro de extinción y la CITES prohíbe el comercio internacional de especímenes de esas especies, salvo cuando la importación se realiza con fines no comerciales. El Apéndice II se incluyen especies que no se encuentran necesariamente en peligro de extinción, pero cuyo comercio debe controlarse a fin de evitar una utilización incompatible con su supervivencia y el Apéndice III figuran las especies incluidas a solicitud de una parte que ya reglamenta el comercio de dicha especie y necesita la cooperación de otros países para evitar la explotación insostenible o ilegal de las mismas (CITES, 2025).

Teniendo en cuenta la información primaria de fauna del proyecto, para la línea base del EIA (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2015) se registraron cuatro especies en el apéndice I (*Leopardus pardalis*), (*Lontra annectens*) y (*Mazama zetta* (antes *Mazama americana*)) y (*Oedipomidas leucopus*). En el apéndice II se registraron 14 especies de aves de las familias Accipitridae, Falconidae, Strigidae y Trochilidae y una especie de mamífero (*Cerdocyon thous*). En cuanto al apéndice III se registraron tres especies (*Aotus lemurinus*), (*Cuniculus paca*) y (*Dasyprocta punctata*). Por otro lado, para el MEIA 2018 (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2018) se registró dos especies en el apéndice I como (*Leopardus pardalis*) y (*Oedipomidas leucopus*), en el apéndice II se registraron 26 especies de aves de las familias Accipitridae, Falconidae, Psittacidae y Trochilidae, dos especies de mamíferos (*Bradypus variegatus*) y (*Cerdocyon thous*) y una especie de anfibio (*Dendrobates truncatus*). En cuanto al apéndice III no se registraron especies.

Para MEIA actual se registraron cuatro especies en el apéndice I (*Herpailurus yagouaroundi*) (*Leopardus pardalis*) (*Lontra annectens*) (*Oedipomidas leucopus*), en el apéndice II se registraron 26 especies de aves de las familias Accipitridae, Falconidae, Psittacidae, Strigidae y Trochilidae, dos especies de mamíferos (*Cerdocyon thous*) y (*Dicotyles tajacu*) y una especie de anfibio (*Dendrobates truncatus*) y una especie de reptil (*Boa constrictor*). En cuanto al apéndice III no se registraron especies.

III. Tipo de distribución de la especie

Con respecto a la distribución, este criterio busca verificar si las especies presentan tipos de distribución principalmente endémica. Las especies endémicas son aquellas que tienen una distribución restringida a regiones, ecosistemas, cuencas hidrográficas y otras áreas geográficas específicas (Stattersfield, 1998).

Teniendo en cuenta la información primaria de fauna del proyecto, para la línea base del EIA (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2015) se registraron las siguientes especies endémicas para Colombia: dos especies de aves (*Capito hypoleucus*, *Habia gutturalis*, *Hypopyrrhus pyrohypogaster*), un mamífero (*Oedipomidas leucopus*) y dos anfibios (*Dendrobates truncatus*, *Rheobates palmatus*, y *Sachatamia punctulata*). Por otro lado, para el MEIA 2018 (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2018) se registraron una especie de ave (*Ortalis columbiana*), un mamífero (*Oedipomidas leucopus*) y un anfibio (*Dendrobates truncatus*). Para MEIA actual se registraron: una especie de ave (*Ortalis columbiana*) un mamífero (*Oedipomidas leucopus*), dos anfibios (*Dendrobates truncatus*, *Rheobates pseudopalmatus*) y un reptil (*Anolis sulcifrons*).

IV. Especies sombrilla, indicadoras, clave o bandera

Como se mencionó anteriormente, en la información de línea base del EIA y los MEIAs (MEIA, 2018 y MEIA actual) no se registraron especies sombrilla de acuerdo con las que presenta la (WWF, 2025) como el Jaguar (*Panthera onca*), el Puma (*Puma concolor*) o el Osos de anteojos (*Tremarctos ornatus*) por mencionar algunas.

Sin embargo, si se presentan especies que pueden considerarse de alta importancia ecológica, ya sea por su categoría de amenaza a nivel nacional e internacional, su tipo de distribución e incluso por su “carisma”.

Los felinos, además de aportar especies sombrillas, pueden ser utilizados como especies indicadoras o especies carismáticas. Su importancia ecológica y vulnerabilidad hacen de estas especies significativas para la gestión en conservación. Son diversas las funciones que potencialmente cumplen los felinos en los ecosistemas, como las que ejercen sobre sus presas mediante la depredación. Las especies que conforman el ensamble de felinos presentan en conjunto una dieta variada que, aunque principalmente basada en mamíferos, también puede incluir aves, reptiles y peces lo que hace probable que tengan un impacto sobre las dinámicas poblacionales de al menos algunas de estas especies. Además, estas especies pueden generar cascadas tróficas en las que de manera indirecta influyen otros niveles tróficos y generar cambios en el comportamiento y abundancia de depredadores más pequeños (Arias-Alzate A., 2017).

En la información de línea base del EIA y los MEIAs (MEIA, 2018 y MEIA actual), se presentan diversos registros de un felino mediano: el *Leopardus pardalis*, conocido como tigrillo u ocelote. Esta especie de distribución neotropical es considerada como una especie ecológicamente importante y de carácter carismático y por su posición en la red trófica, tienen un rol importante al regular las poblaciones de sus presas en los ecosistemas donde habita (Padilla-Rivera O., 2020).

Otros grupos que se consideran carismáticos son los Primates. Colombia cuenta con cerca de 38 especies, de las cuales 10 son endémicas, ubicando al país como el tercero en Latinoamérica y muchas de estas especies están en amenaza. En los ecosistemas, los primates ocupan diferentes roles como predadores, cazadores, dispersores y polinizadores. Al ser dispersores de semillas logran mantener la diversidad de plantas. Para el caso de semillas de árboles muy altos, incrementan su probabilidad de dispersión y germinación, haciendo que muchas especies de plantas dependan directamente de los primates (Cruz-Rodríguez, 2020).

En la información de línea base del EIA y los MEIAs (MEIA 2018 y MEIA actual), se presentan diversos registros de dos primates, el titi gris *Oedipomidas leucopus* y el mono nocturno *Aotus lemurinus* (aunque este último no se registró en el MEIA actual). Como se mencionó anteriormente, el mono nocturno *A. lemurinus* es una especie que se encuentra en amenaza nacional e internacional en categoría vulnerable (VU), sin embargo no es un primate endémico para Colombia, mientras que el titi gris *O. leucopus* es una especie que se encuentra en amenaza nacional e internacional en categoría en peligro (EN) y a su vez es una especie endémica para Colombia (IUCN, 2025) (MADS, 2024).

Bajo estos criterios de especies indicadoras o carismáticas que dan cuenta de la importancia ecológica de estas especies, se considera que el tigrillo *L. pardalis* y el titi gris *O. leucopus* son las especies que cuentan con las características de especies focales.

V. Información de patrones de movimiento disponible para la especie

En muchos casos, los animales usan diferentes estrategias de movimiento que cambian en respuesta al entorno que los rodea, o en respuesta a las diferentes necesidades que tiene un animal para diferentes comportamientos o etapas de la historia de vida. Actualmente, sin embargo, incluso los enfoques conscientes del contexto utilizados para predecir el movimiento de individuos no estudiados a menudo suponen que los animales siguen una única regla de decisión constante (Van Toor M.L., 2018).

El home-range ó área de distribución hogareña, es la medida del patrón de movimiento más utilizado en este tipo de estudios y se puede definir como el área que atraviesa el individuo en sus actividades normales de recolección de alimentos, apareamiento y cuidado de las crías (Burt W. H. , 1943). El home-range es un concepto que describe la restricción de los movimientos de un animal a áreas finitas durante un período medible (Kie J. G., 2010). Recientemente, el área de distribución hogareña se ha conceptualizado como una representación de cómo el animal invierte y aprovecha el espacio y este último está delimitado por los movimientos diarios dentro de un paisaje de características bióticas y abióticas que caracterizan el hábitat (Bertassoni A., 2017). En general el home-range ó área de distribución hogareña es un parámetro más estudiado en algunos grupos biológicos que en otros, ya sea por su movilidad o por su detectabilidad. Los mamíferos y las aves son los grupos biológicos que presentan más información sobre home-range debido a su alta movilidad en comparación con otros grupos biológicos como los anfibios y reptiles, pues la mayoría de las especies de estos grupos son de bajas movilidades, territoriales y, aunado a esto tienen, baja detectabilidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, se identifica la información disponible sobre home-range o área de distribución hogareña para las especies focales identificadas y elegidas en el literal anterior (literal d), como los son el tigrillo *L. pardalis* y el titi gris *O. leucopus*. Los datos de home-range se presentan más adelante en el literal f.

VI. Información ecológica de las especies focales

Habiendo expuesto todos los criterios de selección para la elección de las especies objeto de estudio, se realizó una búsqueda de información disponible en la literatura (publicaciones científicas, guías de campo, notas cortas), sobre parámetros ecológicos importantes sobre las especies, como distribución, hábitat, comportamiento y dieta, entre otras que aporten a su conocimiento, con el fin de que los análisis del modelo estén pensados en las características de la especie. A continuación, se hace un resumen de algunos de los parámetros ecológicos importantes disponibles para las especies objeto de estudio *L. pardalis* y *O. leucopus*. (Ver la Tabla 5.2.2.3 y Tabla 5.2.2.4).

Tabla 5.2.2.3. Parámetros ecológicos de la especie *Leopardus pardalis*.

<i>Leopardus pardalis</i>-(Linnaeus, 1758)	
	 <p data-bbox="508 787 1114 821">Bushnell TROPHY CAM 69°F 20°C 02-11-2025</p>
<p>Fotografía 5.2.2.1. Individuo de <i>Leopardus pardalis</i> registrado con cámaras trampa durante el muestreo del MEIA, 2025.</p> <p>Fuente: Integral S.A., 2025</p>	
<p>Distribución geográfica:</p> <p>El ocelote <i>L. pardalis</i> es un felino de talla media y de gran distribución geográfica, encontrándose desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Argentina (Clavijo A., 2009; Payán Garrido E., 2012). Para Colombia, la especie se distribuye en el Caribe, Chocó biogeográfico, Andes y Valles interandinos y vertientes andinas, Orinoquia, Guyana y Amazonia (Mosquera-Guerra F., 2020). Generalmente habita ecosistemas por debajo de los 1.200 m.s.n.m. a lo largo de su distribución, pero en Colombia se encuentra entre los 0 y 2.500 m.s.n.m. (Payán Garrido E., 2012; Botero-Cañola S., 2018; Gómez Ruiz, 2018). También existen registros de ocelotes en páramo a 4.300 m.s.n.m.</p>	
<p>Uso de hábitat:</p> <p>El ocelote se puede encontrar en bosques, sabanas, manglares, páramos y recientemente hay registros de presencia dentro de plantaciones de palma de aceite. Como zonas de paso el ocelote prefiere usar caminos, senderos y carreteras (Payán Garrido E., 2012). Los ocelotes usan una variedad de hábitats pudiéndose encontrar en bosques húmedos y secos tropicales, sabanas, manglares y dentro de estos tipos de hábitats, los ocelotes suelen asociarse a cubiertas vegetales densas (Garrote Germán, 2019).</p>	
<p>Ecología:</p> <p>Esta especie es de hábitos solitarios, terrestres y principalmente nocturno. Dentro del territorio de un macho frecuentemente viven en promedio dos hembras, las cuales se reproducen exclusivamente con ese macho. La voz del género <i>Leopardus</i> es muy similar al de los gatos domésticos y consiste en maullar y resoplar en defensa. No hay temporadas marcadas de reproducción conocidas. Luego de una gestación de aproximadamente 80 días, la hembra da a luz dos cachorros en promedio. Los cachorros se destetan entre los 17 y 22 meses de vida (Murray J. L., 1997). Estos pueden ser atacados por gato y perros domésticos o ferales y otros carnívoros salvajes.</p>	
<p>Dieta:</p>	

Principalmente carnívora, comen cualquier animal que puedan acechar, atrapar y matar. La mayoría de sus presas pesan entre 1,5 y 8 kg, con preferencia por pequeños y medianos roedores, complementados por aves, lagartos y culebras (Emmons L.H. , 1988; Murray J. L., 1997).

Estado poblacional:

Para Colombia hay densidades estimadas en áreas no protegidas de la cordillera oriental de los Andes de 46,57 ocelotes/100 km², para poblaciones amazónicas dentro del Parque Nacional Natural Amacayacu de 20,4 ocelotes/100 km², en áreas no protegidas del Amazonas de 13,7 ocelotes/ 100 km² y para una reserva privada en el llano de 11,1 ocelotes/100 km² (Payán Garrido E., 2012).

Para el departamento de Antioquia, hay información disponible sobre presencia y abundancia: Un estudio entre 2009–2011 recopiló 142 registros de felinos, con una abundancia menor a 20 individuos registrados de *L. pardalis* en la región norte del departamento (Arias-Alzate A., 2013). Información de estudios entre el 2005–2017 cuenta con datos de registro de 23 ocelotes (8 en la Cordillera Occidental y 15 en la Cordillera Central) y se reportó un máximo altitudinal de 2.835 m, por encima del rango típico (<2.000 m) descrito para la especie (Botero-Cañola S., 2018). Para el norte de Antioquia un estudio en el área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico Ituango se han obtuvieron 197 registros, siendo un felino abundante en el territorio (Gómez Ruiz, 2018).

Para el área del proyecto, durante la línea base del EIA (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2015), adicional a los muestreos de caracterización se realizó un documento anexo de estudios poblacionales de las especies de flora, fauna terrestre y fauna acuática con algún grado de amenaza, veda o endemismo reportadas para el Proyecto. Para *L. pardalis* el área de muestreo correspondió a dos zonas siendo la zona uno área boscosa en el “Alto de Monjas” y “La Trinidad”, en las veredas Guacas Abajo, Guacas Arriba, La Trinidad y La Bella, y la zona dos un área del SIRAP Corpoica - La Montaña, localizado entre las veredas Marbella y La Chínca, y allí se instalaron estaciones de foto trampeo durante un periodo de entre 84 y 88 días. Para la zona unos los resultados de densidad promedio de 3 ind/5,9 km² y para la zona dos 4 Ind/5,85km².

Home-range o área de distribución hogareña:

Hay varios datos disponibles de Home range para *L. pardalis*. Por ejemplo, para Perú, un estudio sugiere un rango promedio de 1.64 km² (Emmons L.H. , 1988). Un estudio de home-range y densidad realizada en Belice registra un rango promedio entre 18,91 km² - 26,09 km² (Dillon A., Kelly M.J., 2008). Para un estudio de ámbito de hogar en la Isla de Barro Colorado, Panamá se registra un rango promedio de 3,48 km² Machos- 1,48 km² para Hembras (Moreno R., 2012). Para el libro *Los Felinos de Colombia* se reporta un rango promedio de 5,4-90 km² para machos y 1,8-75 km² para hembras (Payán Garrido E., 2012). En un estudio de ecología espacial en un paisaje fragmentado en el Caribe Colombiano se registró un rango promedio de 9,64 km² (Cruz-Rodríguez C., 2015). Mas recientemente, en un estudio de abundancia y home-range realizado en México se reporta un rango promedio de 14,1 km² (Amador-Alcalá S. A., 2022).

Amenazas:

Actualmente esta especie se encuentra en categoría de amenaza a nivel mundial como Preocupación menor (LC). La supervivencia de este felino está amenazada por la pérdida de hábitat y presas silvestres, principalmente causada por agricultura y ganadería (Paviolo, 2015). A nivel nacional esta especie no se registra en ninguna categoría de amenaza (MADS, 2024).

En general los felinos se enfrentan a problemas de conservación por degradación y transformación de hábitats, muerte por atropellamiento, cacería por retaliación debido a depredación de animales domésticos, minería ilegal de oro, tráfico ilegal, fragmentación y pérdida de conectividad, riesgo zoonótico por especies domésticas y cambio climático (Mosquera-Guerra F., 2020).

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.2.2.4. Parámetros ecológicos de la especie *Saguinus leucopus*.

<i>Saguinus leucopus</i> (Günther, 1877)	
	<p>Fotografía 5.2.2.2. <i>Oedipomidas leucopus</i>, registrado durante la caracterización de fauna de para el trámite de Modificación de licencia ambiental MEIA, 2018</p> <p>Fuente: Integral S.A, 2018, modificado Integral S.A., 2025</p>
<p>Distribución geográfica:</p> <p>El tití gris, <i>O. leucopus</i> es un primate pequeño (peso corporal cerca de 500 gr) endémico de Colombia que de los bosques de tierras bajas dentro del interfluvio Magdalena-Cauca entre las cordilleras Central y Oriental de los Andes en Colombia y su distribución geográfica es una de las más limitadas para el género (Luna A. G., 2016). Este primate se distribuye en los departamentos de Bolívar, Antioquia, Caldas y el norte del Tolima por debajo de los 2000 msnm, siendo menos abundante por encima de los 1000 m de altitud (Roncancio N, 2011). Los límites de distribución de esta especie se encuentran en la orilla oriental del bajo río Cauca, la orilla occidental del medio río Magdalena (incluidas las grandes islas del río) y el piedemonte de la cordillera Central hasta 1.500 m de altura. Se encuentra en el norte de Antioquia en los municipios de Cáceres, Valdivia, y el valle medio del río Nechí, el sur de Bolívar (incluida la isla de Mompós) y la orilla occidental del río Magdalena, en el departamento de Caldas y en el norte del Tolima (Defler T.R., 2010).</p>	
<p>Uso de hábitat:</p> <p>El tití gris habita principalmente en bosque húmedo y muy húmedo tropical. La especie es muy versátil y utiliza tanto áreas continuas como fragmentos de bosques maduros, bosques secundarios en diferentes estados de regeneración y bosques de galería (Sánchez-Londoño Juan D., 2013); En dichos bosques los titís hacen uso del estrato medio y bajo del bosque para actividades de forrajeo, desplazamiento y dormideros y frecuente usan los bordes del bosque donde posiblemente encuentra una diferente variedad de recursos alimenticios. Se ha registrado que esta especie no solo usa los bosques (bosque fragmentado, bosque denso, bosque de galería) también se pueden observar en mosaico de pastos y cultivos, mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, mosaico de pastos y espacios naturales, pastos enmalezados, pastos limpios y café, los cuales son utilizados principalmente como corredor de desplazamiento entre bosques (Pinzón Zuly V., 2013).</p>	
<p>Ecología:</p> <p>Esta especie es diurna, arborícola El tití gris vive en grupos familiares, generalmente de 3 a 9 individuos en promedio, unidos por fuertes vínculos, al igual que por una rígida estructura</p>	

jerárquica intragrupal. Los grupos están conformados por un macho y una hembra alfa (dominantes), y por machos y hembras adultos y subadultos (subyugados), juveniles y crías. Los grupos se mueven como una sola unidad, y defienden su propio territorio, con énfasis en aquellas zonas de traslape cuando se encuentran con otros grupos. La principal forma de apareamiento en *O. leucopus* es la poliandria y en algunos casos la monogamia. Por lo general los partos son gemelares y todos los individuos del grupo participan en el cuidado de los infantes. Generalmente las crías son cargadas por el padre o los adultos del grupo (Cuartas-Calle C. A., 2004; Defler TR, 2013).

Dieta:

Los hábitos alimentarios son diversos, pero incluyen en su dieta más a menudo insectos y frutas (particularmente varios tipos de bayas encontradas en el sotobosque o en bosques en crecimiento secundario). Poveda & Sánchez-Palomino (2004) reportan que *O. leucopus* invirtió, entre un 82 y 84% en su tiempo de alimentación consumiendo frutos, entre un 8 y un 15 % consumiendo invertebrados y el restante consumiendo cortezas de árboles y flores. Entre lo más consumido se encuentra: *Byrsonima spicata*, *Cecropia peltata*, *Aiouea sp.*, *Annona sp.*, *Ficus killipii*, *Annona muricata*, *Averrhoa carambola*, *Carica papaya*. Se ha reportado también el consumo esporádico de pequeños vertebrados como ranas y lagartos (Arias-Alzate, 2014).

Estado poblacional:

Se cuenta con muy poca información histórica del estado de las poblaciones de tití gris. Existe un registro de la década de los años 70, donde se reportaron de 1 a 4 individuos/Km² en el departamento de Bolívar. En estudios a lo largo del río la Miel, estimó una densidad de 82 individuos/Km² en un pequeño bosque dentro de su área de estudio. En los últimos años se han realizado varios estudios en diferentes localidades, para evaluar el estado de las poblaciones de tití gris. Los resultados muestran una densidad muy variable, desde 6 hasta 150 ind/Km², con intervalos de confianza muy amplios. Para el tití se han estimado altas densidades en áreas fragmentadas comparadas con datos de densidad de otras especies del género en bosques continuos. Sin embargo, no se conoce un parámetro de densidad normal para esta especie, por lo que no se puede concluir con confianza que la especie es tolerante a la fragmentación, como ha sido observado en otras especies de este género (Cuartas-Calle C. A., 2004; Defler TR, 2013).

Para el área del proyecto, durante la línea base del EIA (GCL, Gramalote Colombia Limited, 2015), adicional a los muestreos de caracterización se realizó un documento anexo de estudios poblacionales de las especies de flora, fauna terrestre y fauna acuática con algún grado de amenaza, veda o endemismo reportadas para el Proyecto. Para *O. leucopus*, el área de muestreo correspondió a sitios de ocurrencia identificados previamente en el sector de Monjas, Peñas Azules, Cristales y El Diluvio a través de transectos de observación. Para la zona los resultados de densidad promedio de 18,9 ind/km²,

Home-range o área de distribución hogareña:

Para el titi *O. leucopus* hay pocos datos disponibles de home-range. En un estudio de uso de hábitat en Mariquita, se tienen datos de home-range de áreas de bosque y áreas urbanas Para el bosque el rango promedio es de 17,7 ha y para la zona urbana es de 0,73 ha (Poveda K. & Sánchez P., 2004). En otro estudio en Caldas sobre interacciones espacio temporales de tres grupos de titíes el home-range cuyo rango promedio para los 3 grupos de titíes fue de 43–97 ha (Alba-Mejía L., 2013).

Amenazas:

La limitada distribución de esta especie, la pérdida de hábitat y la fragmentación, son las principales razones por las cuales está amenazada. La pérdida de hábitat y la fragmentación

afectan procesos ecológicos como tasas de natalidad y mortalidad, y mecanismos de dispersión. (Roncancio N, 2011)

Las principales amenazas para el tití gris son la pérdida y fragmentación de su hábitat y captura para tráfico o tenencia como mascota. Se estima que el 60% del área de distribución original del tití gris ha desaparecido; y se calcula que cerca del 82 % del hábitat de alta calidad de esta especie se ha perdido. Actividades como la deforestación con fines madereros para convertir tierras a usos agrícolas y para la construcción de obras civiles, transforman los hábitats naturales, en lugares completamente simplificados e inhóspitos para la vida silvestre. Con frecuencia la deforestación de un área es parcial, creándose paisajes fragmentados y algunos parches de vegetación natural quedan aislados en medio de una matriz de hábitats antropogénicos. (Cuartas-Calle C. A., 2004; Roncancio-Duque NJ, 2012; Defler TR, 2013).

Fuente: Integral S.A., 2025

d. Escenarios analíticos para la conectividad

La conectividad es un fenómeno totalmente dependiente de la escala y el objetivo. Las definiciones, las métricas, la funcionalidad, las aplicaciones de conservación y las medidas de éxito dependen de los taxones o procesos de interés y las escalas espaciales y temporales en las que ocurren (Crooks K., 2006).

Para este análisis, se utilizaron tres escenarios analíticos con el fin de comparar la red ecológica de conectividad teórica en la actualidad, y cómo se verá afectada en el futuro por las obras o actividades del proyecto. En el presente estudio de conectividad se modelaron los escenarios analíticos para las condiciones sin proyecto (0SP), con proyecto licenciado (1CPL) y con proyecto de esta modificación de licencia (2CPM) en dos escalas de análisis: escala regional y escala local. A continuación, se describen los escenarios analíticos definidos.

I. Escala área de conectividad regional

Se contempla una escala del paisaje regional con el fin de analizar los elementos de importancia para la conectividad en una escala amplia con respecto a la ubicación del proyecto. Esta escala solo contempla los elementos de importancia actuales, es decir sin proyecto, y no se utilizan truncamientos de distancia en las modelaciones ya que su objetivo es identificar los elementos teóricos de red de conectividad a una escala muy amplia.

II. Escala área de conectividad local

Contempla una escala del paisaje local con el fin de analizar los elementos de importancia para la conectividad cercanos a la ubicación del proyecto y los que podrían sufrir una afectación directa e indirecta. Esta escala contempla los elementos de importancia actuales, es decir sin proyecto y los elementos de importancia con el proyecto licenciado y con el proyecto propuesto en la actual modificación. Para el escenario local se aplican condiciones de truncamiento de enlaces en unidades de distancia y costo según la ecología de las especies. [Adicionalmente, se utiliza en lo posible la información temática de otros componentes, como por ejemplo las coberturas vegetales o la información de modelación de ruido.](#)

- **Escenario cero sin proyecto (0SP)**

Este escenario corresponde al estado de la red ecológica de conectividad y la estructura de los nodos actual, sin considerar el proyecto, sus obras y actividades.

- **Escenario uno con proyecto licenciado (1CPL)**

Este escenario corresponde al estado futuro de la red ecológica de conectividad con la huella del proyecto licenciado bajo la Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015 y la Resolución 0309 del 29 de marzo de 2016.

- **Escenario dos con proyecto “modificación de licencia” (2CPM)**

Este escenario corresponde al estado futuro de la red ecológica de conectividad con la huella del proyecto, sus obras y actividades de la presente modificación de licencia ambiental. Este escenario corresponde al modelamiento de las condiciones luego del emplazamiento del proyecto, a la etapa de operación del proyecto, ya que en esta etapa se manifiestan los impactos del proyecto en su mayor extensión espacial y temporal.

Estos escenarios son modelados de manera independiente para cada especie objeto de estudio, y luego los resultados de cada escenario se comparan entre sí para identificar los cambios que se generan en la conectividad por el emplazamiento del proyecto. En las salidas gráficas tanto para el escenario con proyecto como para el escenario sin proyecto se espacializa la localización del respectivo proyecto para una mejor ubicación geográfica

e. Áreas de estudio de conectividad funcional

La metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales (MADS, 2018) en los numerales **2. Área de influencia** y el numeral **2.1 Lineamientos para identificar y delimitar el área de influencia**, define que: *“(...) el área de influencia adquiere características como: es un área que no se restringe solamente al lugar en el que se generan los impactos (área de intervención) y se extiende a las zonas en las que se manifiestan los impactos directos, indirectos, sinérgicos y acumulativos (...)”*. Es por esto por lo que se hace necesario delimitar área(s) de estudio para conectividad funcional suficientemente amplia y representativa, en la que se pueda identificar la estructura y función del paisaje y los elementos de ese paisaje que aportan a la red de conectividad y determinar hasta donde se manifiestan los impactos por el proyecto obra o actividad. Para este análisis se proponen dos áreas de estudio, una regional para conocer los elementos de importancia que componen la red de conectividad actual en la región y un área de estudio local que parte de los resultados del área regional y en la que se realizarán las modelaciones a detalle para la definición del área de influencia de conectividad y la caracterización de la conectividad funcional.

I. Área de estudio de conectividad regional

La metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales (MADS, 2018) en los numerales **2.1.1 Fase previa** define que *“(...) se debe plantear un área de influencia preliminar y recopilar para la misma, información primaria y secundaria (de tipo cualitativo y/o cuantitativo) a fin de obtener una aproximación al conocimiento de las características del ambiente (línea base ambiental), de forma que sea posible realizar una primera predicción de la forma en que dichas características se impactarían durante el desarrollo y operación del proyecto (identificación y valoración de impactos)”*. Es por esto por lo que, para la definición y delimitación del área de estudio regional se plantea como un

área de análisis que permita recopilar la información (línea base) de los elementos importantes que aportan a la conectividad del paisaje en donde estará ubicado el proyecto.

Partiendo de lo anterior, la delimitación del área de estudio regional correspondió a un área lo suficientemente representativa que permitiera identificar los elementos de importancia para la conectividad en el paisaje actual del territorio, en una escala amplia, con el fin de incluir esos elementos de importancia para obtener resultados acordes con la movilidad de las especies objeto de estudio en una escala amplia. Para la definición y delimitación se tuvieron en cuenta dos criterios:

1. Información ecológica de las especies como el home-range.
2. Información cartográfica de elementos de importancia para la conectividad como áreas de importancia ecológica o de interés ambiental.

Los criterios se describen a continuación:

i. Home range

El home-range o área de distribución hogareña es un concepto que describe la restricción de los movimientos de un animal a áreas finitas durante un período medible (Kie J. G., 2010). Recientemente, el área de distribución hogareña se ha conceptualizado como una representación de cómo el animal invierte y aprovecha el espacio y este último está delimitado por los movimientos diarios dentro de un paisaje de características bióticas y abióticas que caracterizan el hábitat (Bertassoni, 2020). Lo anterior hace que el home-range sea un parámetro ecológico importante para la comprender la movilidad de las especies y es un dato que permite espacializar hasta donde se realiza el análisis de acuerdo con el movimiento de las especies y por ello se utiliza para la definición y delimitación del área de estudio donde se hace el análisis de conectividad. Sin embargo, los datos home-range al ser expresados en rangos de áreas (por ejemplo, entre 100 y 200 ha) no tienen una “geometría” determinada. Es por ello por lo que se planteó una estrategia para incluir este rango de manera geométrica para delimitar el área de análisis.

En primer lugar, se revisó la información ecológica disponible para las especies objeto de estudio, lo que permitió obtener datos de home-range conocidos para cada especie. Para los procesos de modelación se cuenta con seis datos disponibles de home-range para el tigrillo *L. pardalis* (E1) y dos datos para el titi gris *O. leucopus* (E2) (Ver la Tabla 5.2.2.3). Si bien todos estos datos son de gran importancia ya que provienen de estudios y publicaciones científicas realizados en diferentes lugares de distribución de las especies, solo se eligió uno para cada especie, optando por el home-range de fuentes de información “locales”, pues en el caso de especies de amplia distribución o distribución neotropical como el tigrillo *L. pardalis* (E1) la información ecológica está muy ligada a su lugar de distribución, y sus datos variaron dependiendo del origen del área de estudio (para el tigrillo datos de home-range de Perú, Belice, Panamá, México y Colombia; ver la Tabla 5.2.2.3) y por ello para esta especie se optó por el dato de home-range disponible para poblaciones o individuos del territorio nacional, optando por el promedio de rango de 9,64 km² para un estudio en el caribe Colombiano (Cruz-Rodríguez C., 2015). Por otro lado, para el titi gris *O. leucopus* (E2) al ser una especie endémica y local se optó por el rango del estudio de (Alba-Mejía L., 2013) que reporta datos de home-range promedio para tres grupos de titíes que varía entre 43–97 ha para un estudio en Caldas Colombia; con el fin de obtener un solo dato de home range, utilizamos el dato menor optando por el promedio del rango de 43 ha para *O. leucopus*.

En segundo lugar, una vez definidos los datos promedios de los home-range para las dos especies, para darle una “geometría” a estos datos, se parte de un supuesto de que el hábitat de las especies es el área donde estará el proyecto, por lo que partimos de un punto inicial y trazamos una línea equivalente al dato de home-range de cada especie. Luego se hizo un cálculo a partir de un radio equivalente de un círculo, cuya área fuera igual al valor del Home Range. Una vez calculado el radio equivalente, se procedió a generar un búfer del área del proyecto. Este planteamiento busca crear un área de máxima extensión teórica del territorio en la que un individuo, con un hábitat hipotético sobre el proyecto, podría utilizarla para satisfacer sus funciones ecológicas normales. El valor de los radios equivalentes para cada especie se encuentra en la Tabla 5.2.2.5 y la espacialización de estos radios equivalente se muestran en la Tabla 5.2.2.5.

Tabla 5.2.2.5. Radio equivalente calculado para las especies E1 y E2.

Nombre científico	Nombre común	Datos de Home-range	Datos de Home-range en metros cuadrados (m²)	Área (m²) / π (3,14)	Radio equivalente (Req) (m)
<i>Leopardus pardalis</i>	Tigrillo u ocelote	9,64 km²	9.640.000	3.068.507,30	1.751,72
<i>Oedipomidas leucopus</i>	Titi gris o tamarín	43 ha	430.000	136.873,25	369,96

Fuente: Integral S.A., 2025

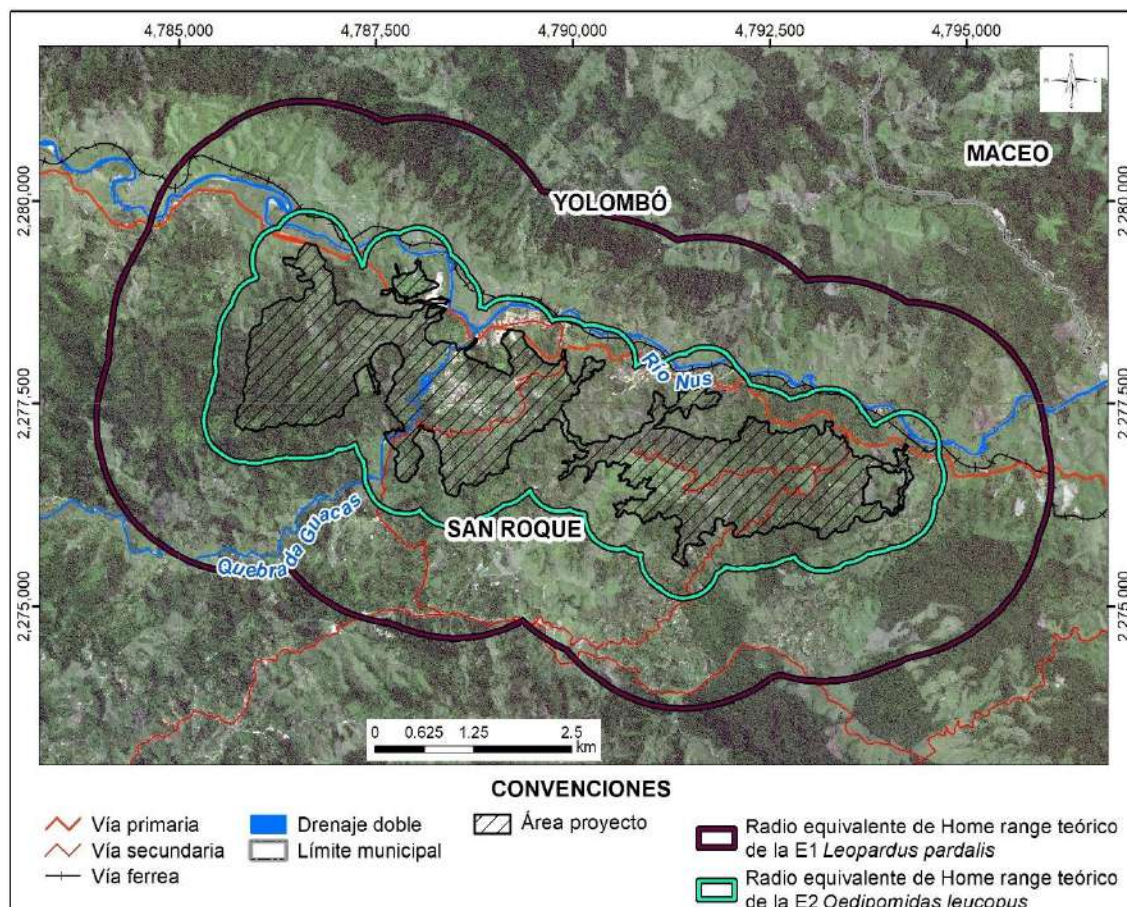


Figura 5.2.2.1. Radio equivalente calculado para las especies E1 *Leopardus pardalis* y E2 *Oedipomidas leucopus* partiendo del proyecto como hábitat.

Fuente: Integral S.A., 2025

ii. Áreas de interés ambiental o de importancia ecológica para la definición del área de estudio

Adicionalmente a los patrones de desplazamiento de la especie, para la definición y delimitación del área de estudio de conectividad se tuvieron en cuenta elementos de alta importancia ecológica del territorio, como lo son las áreas protegidas. Se realizó la consulta de las capas del Sistema de Información del Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP) y de las Áreas de Estrategias de Conservación y Ecosistemas Estratégicos (REAA), con el fin de identificar la presencia y proximidad de áreas protegidas y prioridades de conservación en el área de estudio regional. Como resultado del análisis, se identificaron elementos cercanos al área del proyecto como la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña, declarada por CORNARE mediante el acuerdo corporativo 312 del 4 de septiembre de 2014 como área protegida con uso sostenible de los recursos naturales.

Así mismo, en el entorno inmediato del área del proyecto se localizaron otras áreas protegidas relevantes para la conectividad ecológica regional: Bosque de Paz Granada,

situado aproximadamente a 7.500 metros y la Reserva Forestal Protectora Regional San Lorenzo, ubicada a 12.000 metros aproximadamente. Estas áreas, por su proximidad y función ecológica, representan nodos estratégicos para el mantenimiento de la conectividad funcional entre ecosistemas naturales. Los elementos de importancia se espacializan en la Figura 5.2.2.2.

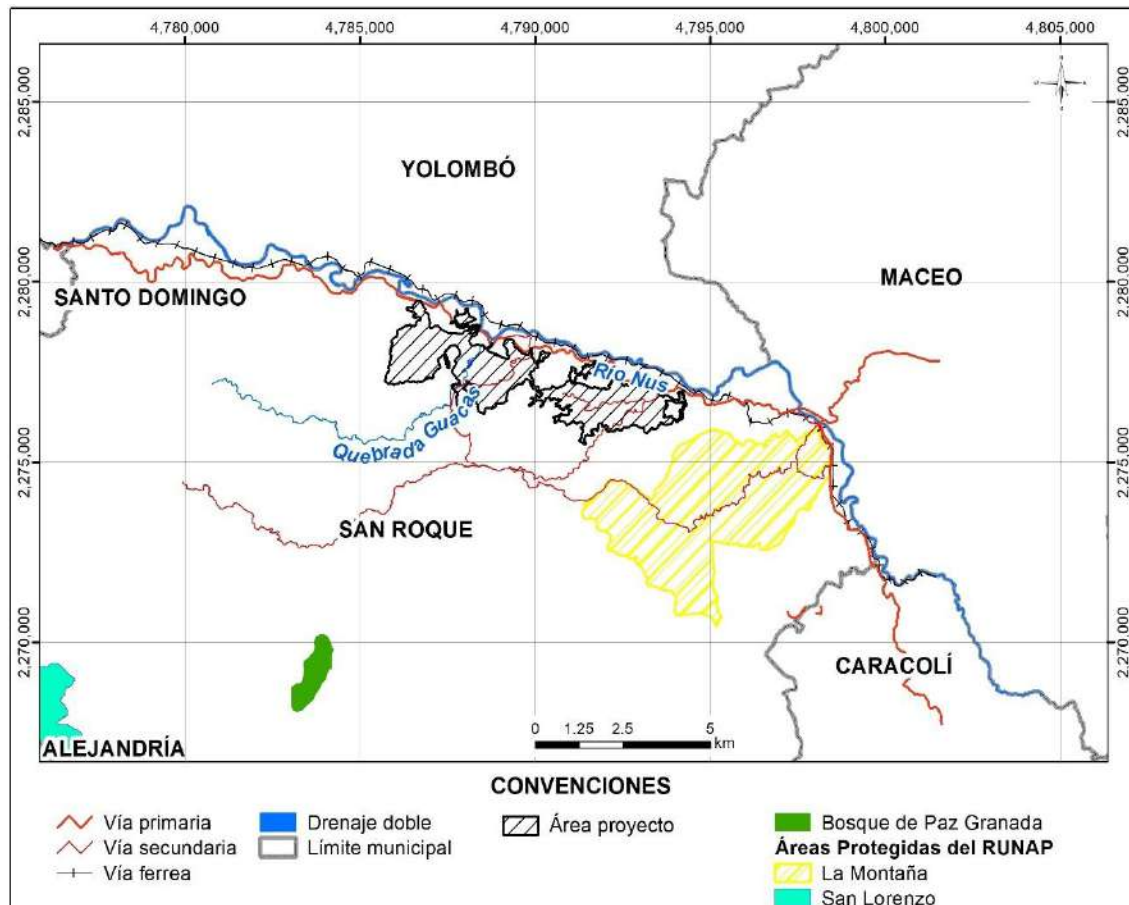


Figura 5.2.2.2. Áreas de importancia ecológica del (RUNAP) y (REAA) circundantes al proyecto.

Fuente: Integral S.A., 2025

Una vez calculados y espacializados los criterios de home-range y áreas protegidas, se delimita el área de estudio que incluye los polígonos de radios equivalentes de las especies objeto de estudio y el área protegida más cercana como la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña. Se hizo una envolvente lo suficientemente amplia que incluyera estos criterios obteniendo un área de estudio regional con un total de 35.873,81 ha y su espacialización se presenta en la Figura 5.2.2.3.

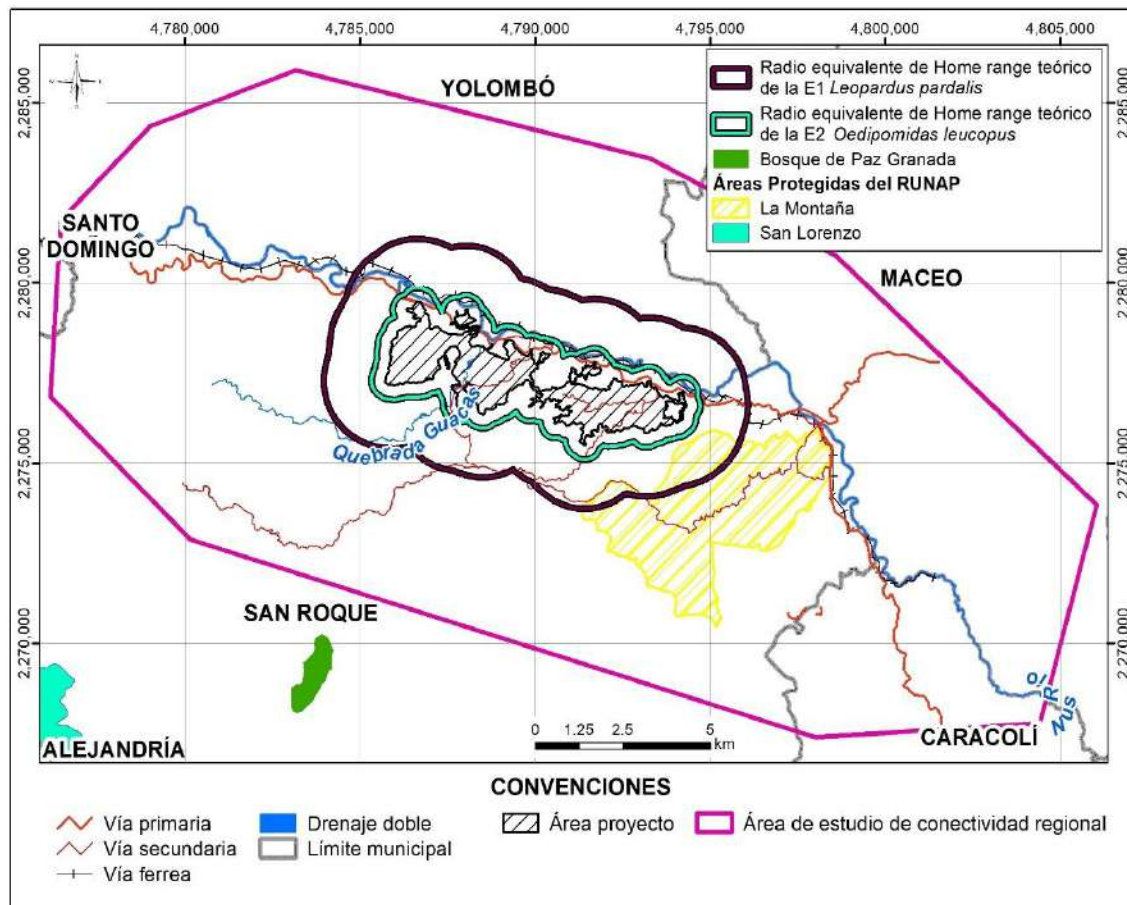


Figura 5.2.2.3. Área de estudio de conectividad regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

II. Área de estudio de conectividad local

El área de estudio local se obtiene a partir de los resultados de la modelación de la conectividad para el área regional. El objetivo del área local y su análisis es evidenciar qué elementos identificados en el análisis del área regional tendrán efectos directos e indirectos por el eventual proyecto. Considerando que los impactos más relevantes sobre la conectividad funcional se generan en el área de intervención directa del proyecto y en las unidades de cobertura de borde inmediato, se delimita un área de estudio local con el propósito de analizar la conectividad a escala de individuo. En este nivel de análisis se busca caracterizar cómo los individuos de las especies modeladas responden a las transformaciones del paisaje inducidas por el proyecto, evaluando la afectación sobre sus rutas de desplazamiento, áreas de refugio y de forrajeo. La escala local permite identificar con precisión los elementos del paisaje que condicionan la movilidad individual de las especies focales. La definición y delimitación de esta área local, se describe a detalle en el numeral **5.2.2.4.3. Resultados modelación de escenarios analíticos** en el literal **A. Resultados de la modelación del área de conectividad regional** y literal **B. Análisis de la modelación del área de conectividad regional**.

f. Elaboración de matriz de resistencia

La matriz de resistencia es una representación del grado en el que la matriz del paisaje contribuye a facilitar o dificultar la movilidad de las especies. Su representación es determinada por parámetros relacionados con las características del territorio (barreras físicas, hábitats, entre otros). La matriz de resistencia es la base sobre la que se definen las áreas del territorio que representan la mayor o menor resistencia al desplazamiento de las especies, identificando de manera gráfica y numérica el valor de impedancia de cada píxel en el territorio. El ráster o matriz de resistencia total resulta de la definición, calificación y ponderación de variables que se construyen a partir de los elementos del territorio que son de importancia para la conectividad.

Teniendo en cuenta el contexto paisajístico asociado a la ubicación del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, se tuvieron en cuenta los elementos bióticos del paisaje, como la vegetación natural que provee de hábitats, zona de paso, percha o refugio a la fauna silvestre y a partir de estos se construye una variable biótica; y se eligieron elementos físicos del paisaje como las construcciones existentes, ejes viales, pendientes y áreas de producción minera presentes en la zona. Estas variables se evaluaron y calificaron para todos los escenarios: sin proyecto (0SP), uno con proyecto licenciado (1CPL) y dos con proyecto “modificación de licencia” (2CPM). Para los escenarios con proyecto (1CPL y 2CPM), se consideraron los cambios que trae consigo el proyecto, sus obras y actividades principalmente en la etapa de operación de este. El detalle de los cambios que trae el proyecto se encuentra descrito en el literal **b. variables para la matriz de resistencia**.

Para espacializar estas variables se hace uso de los insumos cartográficos que se describen a continuación:

l. Insumos cartográficos para la elaboración de la matriz de resistencia

Teniendo en cuenta que la conectividad ecológica puede entenderse como el grado en el que el paisaje facilita o impide el movimiento de individuos entre parches de recursos (Taylor P.D, 2006), para este análisis se tuvieron en cuenta los elementos del paisaje en el territorio que pueden representar un impedimento (resistencia) al movimiento de las especies, como vías o construcciones y elementos que puedan ofrecer condiciones óptimas para el movimiento y el establecimiento de las especies objeto de estudio, como coberturas vegetales o fragmentos de hábitat (nodos). Estos elementos se obtienen a partir de los siguientes insumos:

i. Imágenes de satélite

La imagen ortofoto resulta indispensable para el análisis, por ser la información base para la determinación de los elementos del paisaje, coberturas de la tierra y fragmentos de hábitat, dentro del área de interés que se emplearán en las modelaciones. Para este análisis se utilizó una ortofoto a color (RGB+NIR), con resolución espacial de 0.5 m/px, para las 4 bandas (Blue, Green, Red, Near-IR), con resolución radiométrica de 8bits y afectación de nubes, vacíos sombras entre otras, inferior al 3%. Con fecha de toma, julio 20 de 2023. El cubrimiento de la imagen de satélite se puede observar en la Figura 5.2.2.4.

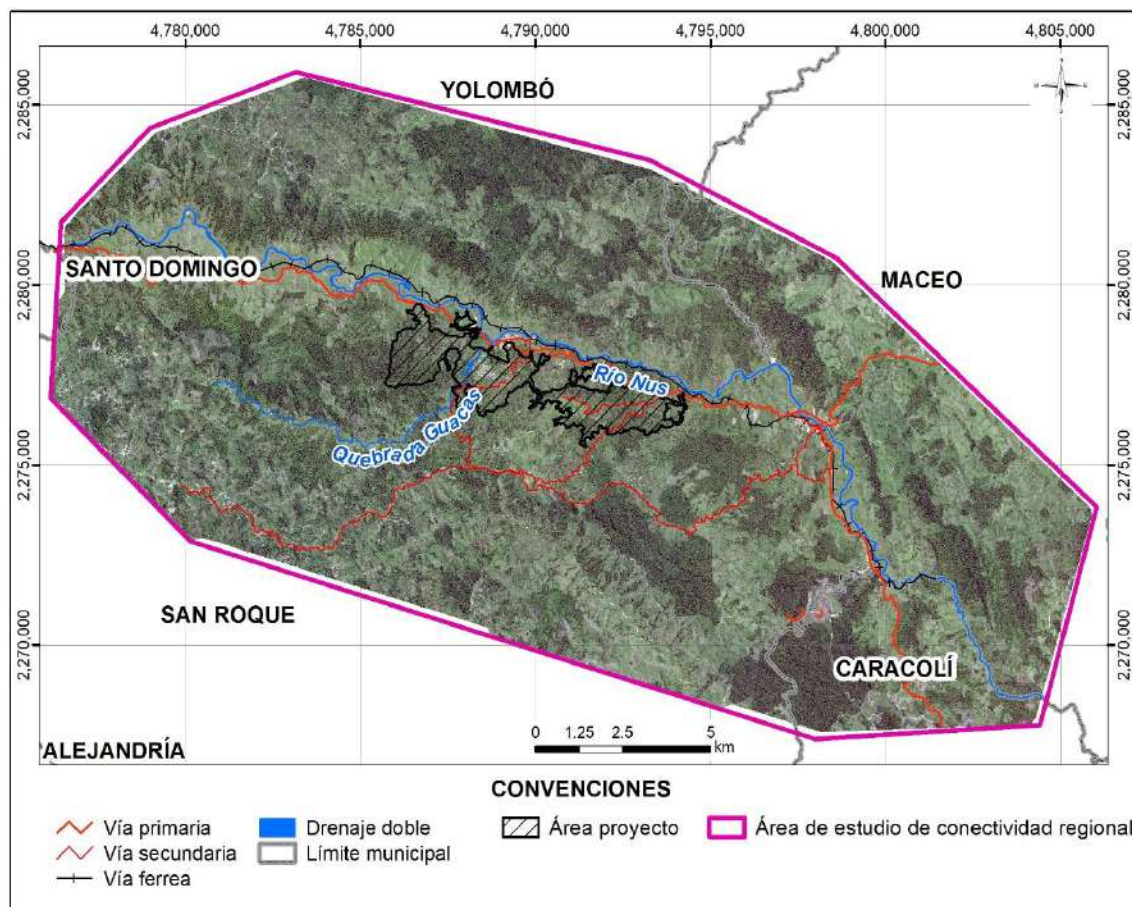


Figura 5.2.2.4. Imagen de satélite para la matriz de resistencia.

Fuente: Integral S.A., 2025

ii. Imagen Sentinel 2A

Una imagen Sentinel-2 es una fotografía multispectral de la tierra, capturada por los satélites de la misión Sentinel-2, que hace parte del programa COPERNICUS de la Agencia Espacial Europea (ESA), estas imágenes ofrecen detalles de la superficie terrestre (vegetación, agua, suelo) con alta resolución espacial (10, 20 y 60 metros) y alta frecuencia (cada 5 días), siendo datos gratuitos y abiertos para el monitoreo ambiental y agrícola entre otros.

Específicamente, para el Proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote, la imagen Sentinel 2A, presenta una resolución espacial de 10 metros para las 4 bandas (Blue, Green, Red, Near-IR), con afectación de nubes, vacíos sombras entre otras, inferior al 10% y corregidas atmosféricamente. Con fechas de toma de agosto 15 de 2024. Para el presente estudio de conectividad se remuestreó la imagen a una resolución de 4 m, lo anterior con el fin de ganar eficiencia en los cálculos computacionales y obtener un tamaño de píxel acorde con la escala de análisis. La imagen se muestra en la Figura 5.2.2.5.

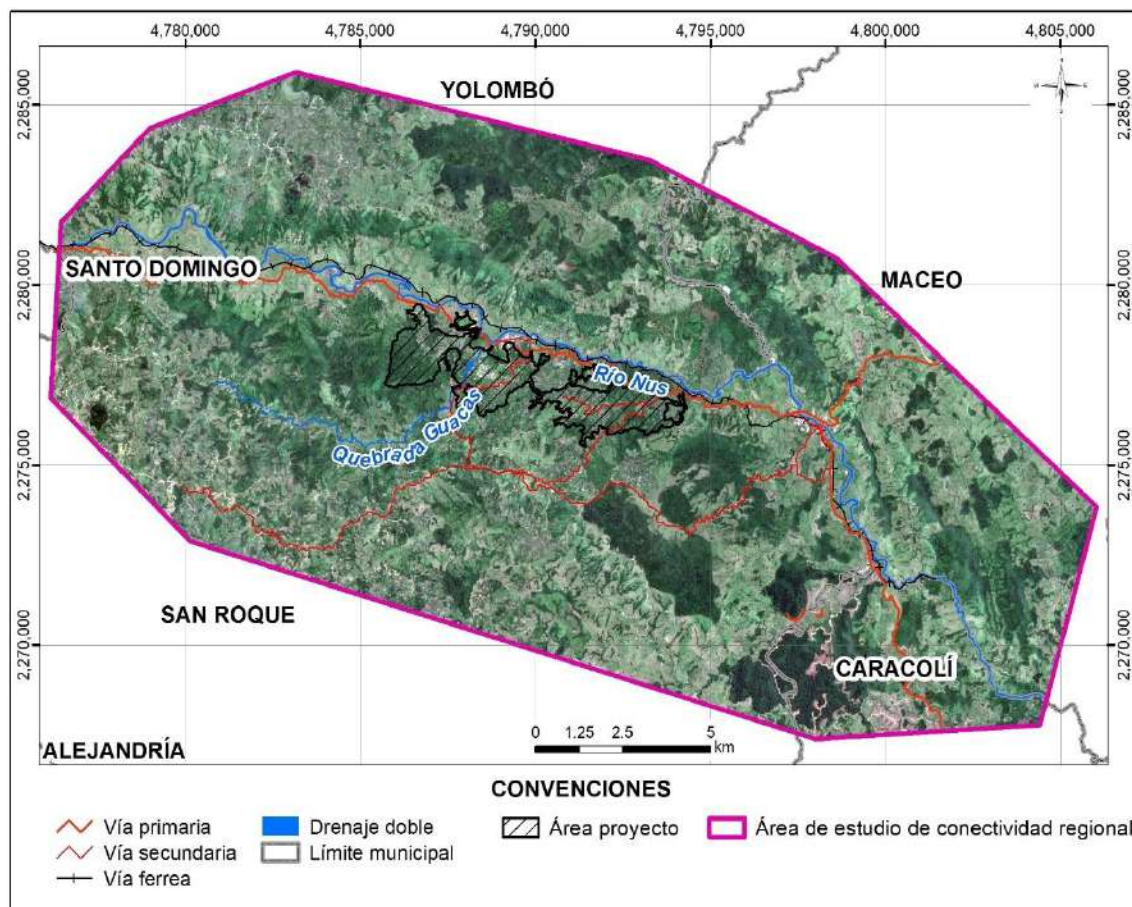


Figura 5.2.2.5. Imagen Sentinel 2A para la matriz de resistencia.

Fuente: Integral S.A., 2025

Es importante mencionar que a partir de esta imagen se calculó el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la clasificación supervisada de las coberturas de la tierra, debido a que estas imágenes presentan mayor precisión radiométrica.

iii. Coberturas de la tierra

Las coberturas de la tierra para el área de estudio regional se obtuvieron a partir de la clasificación supervisada de la imagen de satélite multiespectral. La imagen original fue enriquecida con las bandas producto del análisis de componentes principales. Las áreas de entrenamiento para realizar la clasificación supervisada se obtuvieron a partir de selección directa sobre la imagen de satélite, además se utilizaron las coberturas de la tierra de la caracterización de flora para generación de áreas de entrenamiento adicionales. La clasificación temática se realizó teniendo en cuenta los objetivos del estudio de conectividad, agrupando las clases en bosques, plantaciones, vegetación secundaria, territorios artificializados, pastos, cultivos, ríos, cuerpos de agua y suelo desnudo. Finalmente, para el área de estudio local se utilizaron las coberturas de la tierra digitalizadas para el proyecto mediante fotointerpretación de ortofotografía y validación de campo. La utilización de la información de coberturas del proyecto en la escala local busca consolidar

la cartografía de coberturas de la tierra con mayor nivel de detalle, representatividad espacial para el análisis de conectividad y coherencia y trazabilidad con la caracterización ambiental de otros componentes. Como ejemplo, las coberturas de la tierra utilizadas en la modelación del escenario regional se muestra en la Figura 5.2.2.6.

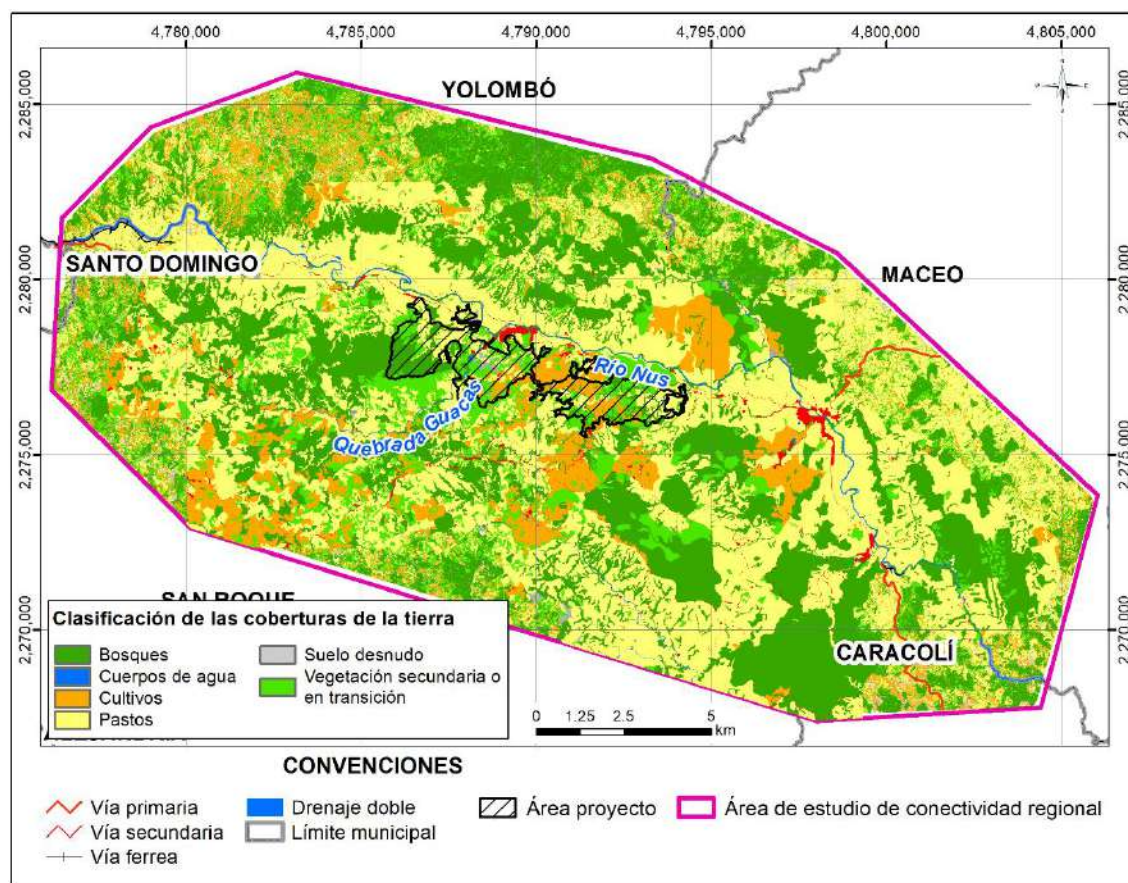


Figura 5.2.2.6. Coberturas de la tierra clasificadas para la matriz de resistencia, escenario regional.

Fuente: Integral S.A., 2026

iv. Cartografía

Se utilizaron diferentes elementos de cartografía base para espacializar la infraestructura existente. La fuente de esta información fue la cartografía base oficial del IGAC en escala 1:10,000. Los elementos utilizados fueron las vías, construcciones y núcleos urbanos. Lo anterior se muestra en la Figura 5.2.2.7.

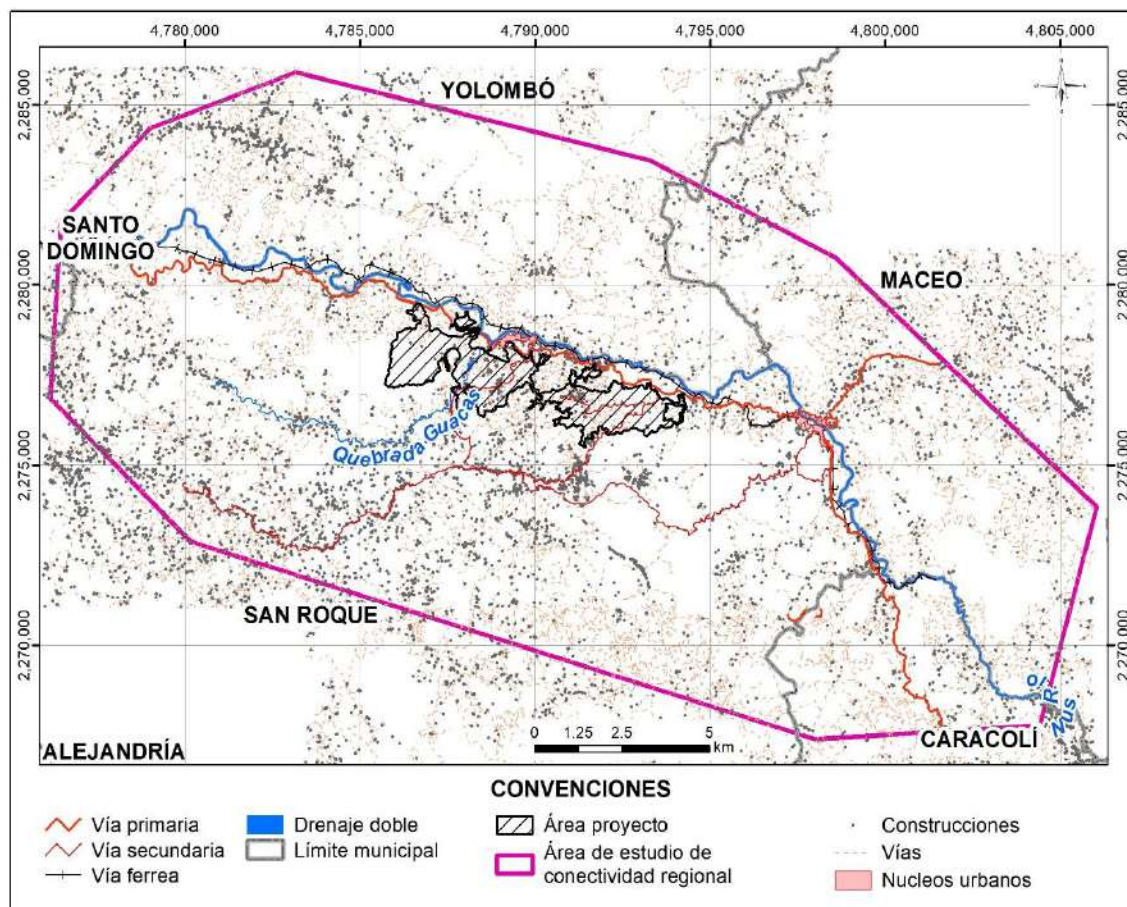


Figura 5.2.2.7. Cartografía base, para la matriz de resistencia.

Fuente: Integral S.A., 2025

v. Pendientes

Para la caracterización topográfica de las áreas de estudio se utilizó el Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR con resolución espacial de 12.5 metros, generado por la Agencia Aeroespacial Japonesa (JAXA, 2014) y distribuido por el Alaska Satellite Facility. A partir de este insumo se derivó un raster de pendientes expresado en porcentaje mediante la herramienta slope del software ArcGIS, la cual estima la variación máxima de elevación entre cada celda y sus vecinas (Ver Figura 5.2.2.8). Este producto permitió identificar los gradientes del terreno y aportar a los análisis espaciales desarrollados en relación con la resistencia al movimiento de las especies en el paisaje.

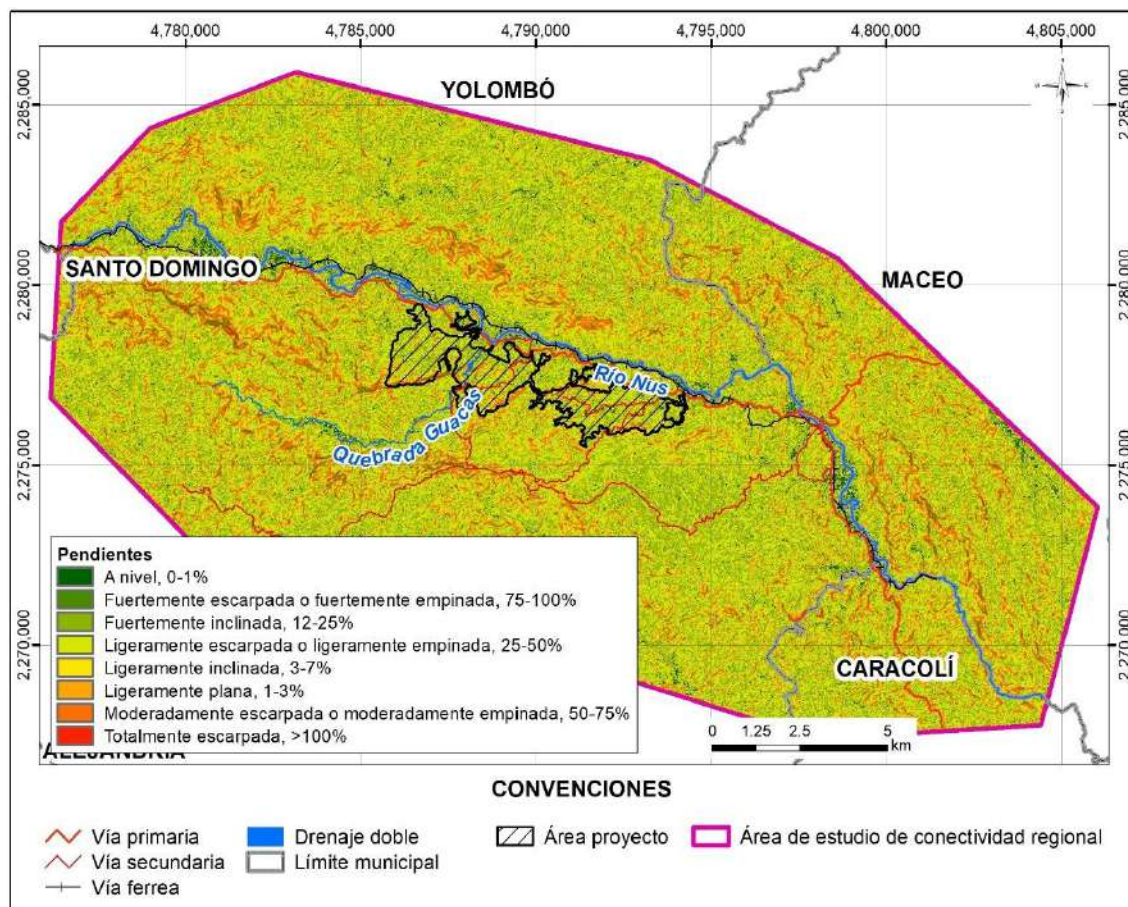


Figura 5.2.2.8. Pendientes, para la matriz de resistencia

Fuente: Integral S.A., 2025

vi. Obras y actividades del proyecto

La huella del proyecto se incluye como insumo en la matriz de resistencia de los escenarios 1CPL y 2CPM, debido a que obras y actividades, tales como, vías, depósitos (de material sobrante o de estériles y zodmes), áreas de explotación (PIT), manejo de relaves (presa y colas), entre otras, impactan directamente los valores de resistencia en dichos escenarios. Las obras del proyecto licenciado 1CPL se presentan en la Figura 5.2.2.9 y las obras de proyecto de modificación 2CPM se presenta en la Figura 5.2.2.10.

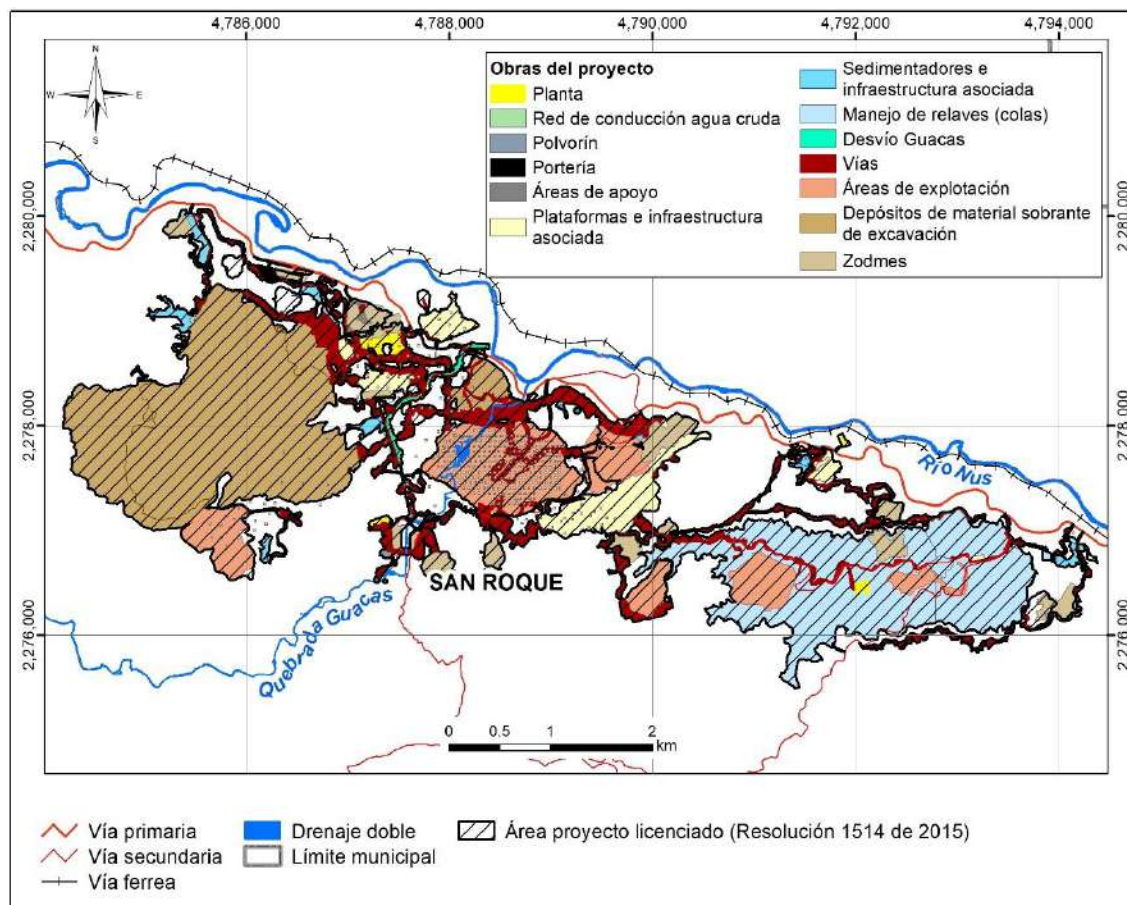


Figura 5.2.2.9. Obras y actividades del proyecto licenciado (1CPL), para la matriz de resistencia

Fuente: Integral S.A., 2025

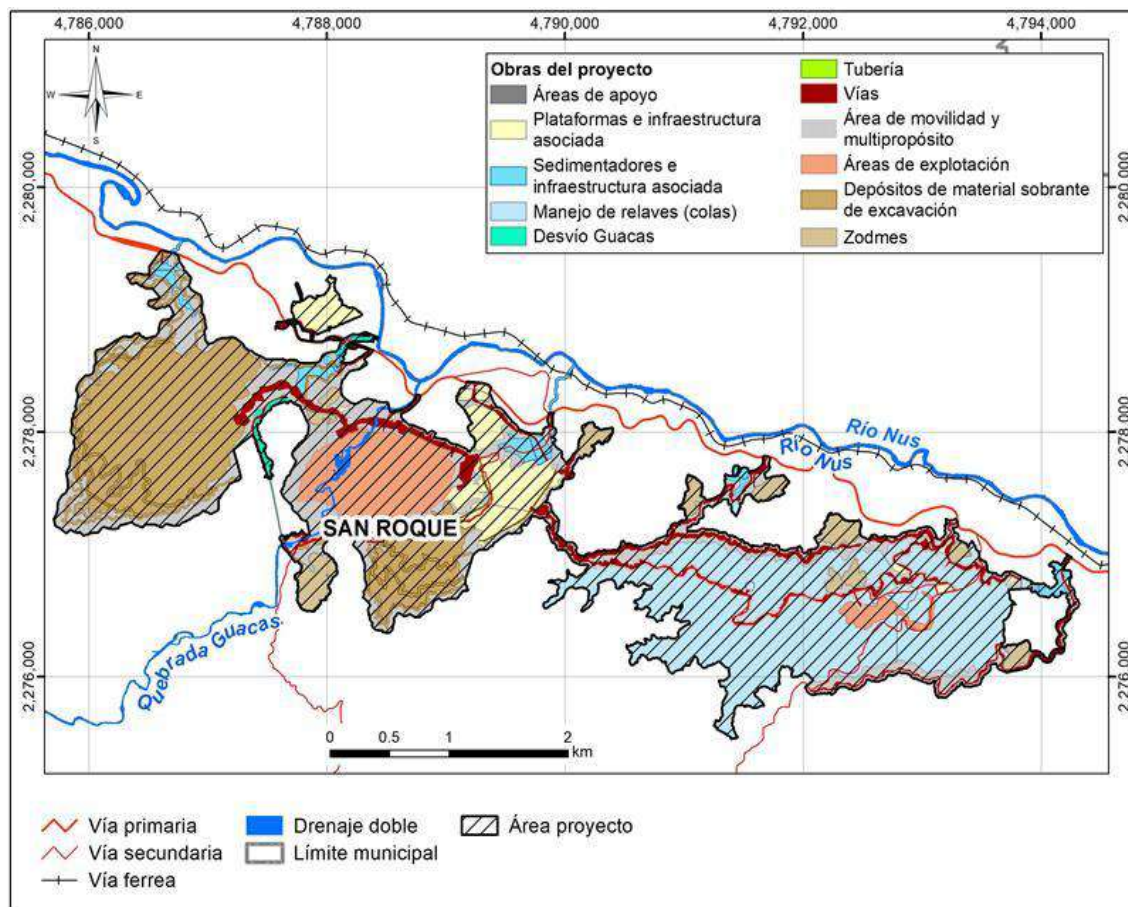


Figura 5.2.2.10. Obras y actividades del proyecto modificación (2CPM), para la matriz de resistencia

Fuente: Integral S.A., 2025

II. Variables para la matriz de resistencia

La calificación de las variables se realizó a través de la revisión bibliográfica sobre parámetros ecológicos de las especies (preferencias de hábitat, rango de hogar, distribución, ecología de movimiento) y encuesta a expertos (conocimientos de la ecología de las especies en el territorio). Clevenger *et al.* (2002) mencionan que los modelos basados en expertos y a su vez en revisión de literatura tienen un mejor desempeño (Clevenger, 2002; Alonso F. Ana M., 2017). Las calificaciones basadas en la ecología de las especies son importantes pues cada especie a modelar tiene sus particularidades y más aún en parámetros como el movimiento.

Cada una de las variables fue rasterizada y reclasificada en un rango numérico continuo común (1-100) en función de la facilidad o dificultad de movimiento en el territorio. En las salidas gráficas, la gama de colores se extiende desde los rojos hasta los verdes, en donde los colores rojizos y naranjas corresponden a las zonas que presentan mayor resistencia al movimiento de las especies, los cuales a su vez están asociados a elementos geográficos relacionados con construcciones e infraestructura vial. A medida que la escala de colores

tiende a los amarillos y a verdes, es un indicador de que la resistencia al movimiento disminuye, relacionado espacialmente con hábitats y zonas de paso (Ver la Figura 5.2.2.11).

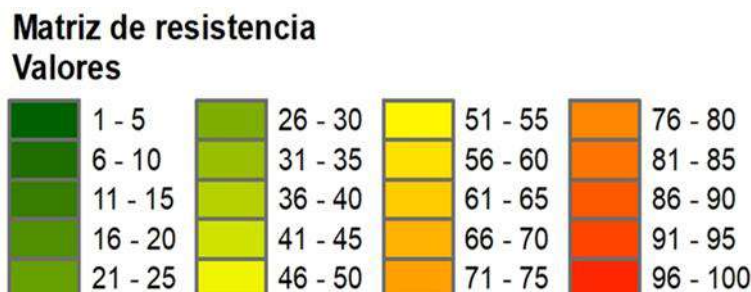


Figura 5.2.2.11. Gama de colores de acuerdo con los valores para la matriz de resistencia.

Fuente: Integral S.A., 2025

Cada variable fue calificada para cada una de las especies objeto de estudio: el tigrillo *Leopardus pardalis* y el titi gris *Oedipomidas leucopus*. En adelante, para la calificación y presentación de los resultados, a estas especies las diferenciaremos como Especie 1 (E1) para *L. pardalis* y Especie 2 (E2) para *O. leucopus*.

A continuación, se describe y califica cada una de las variables seleccionadas para la matriz de resistencia:

i. Variable biótica

La vegetación representa el componente del medio biótico de mayor importancia para el equilibrio del sistema ambiental, debido principalmente a que es considerado un recurso con un amplio valor intrínseco (bosques naturales, agricultura, ganadería, pastos), por otro lado, la cubierta vegetal juega un papel decisivo para el adecuado mantenimiento del resto de recursos naturales que componen el sistema (Olivares, 2019).

Con el fin de representar de forma continua las condiciones de idoneidad de hábitat para la modelación de las especies focales, se optó por la utilización de índices obtenidos directamente de la imagen de satélite. La utilización de estos tipos de índices presenta ventajas frente a la homologación de unidades de cobertura de la tierra, en cuanto se evitan las agrupaciones de varios tipos de cobertura en unidades de mosaicos o en unidades con cierto grado de heterogeneidad.

ii. Variable NDVI

Para la variable biótica se ha optado por utilizar índices de vegetación, pues estos son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites de teledetección, cuya función es realzar la cubierta vegetal en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros componentes como el suelo, la iluminación, etc. (Dueñas V. D., 2024). Estos índices, son imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales. El resultado permite obtener una nueva imagen donde se destacan determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales como son la densidad, índice de área foliar y actividad clorofílica etc. (Dueñas V. D., 2024). Es por ello

por lo que para la calificación de la variable biótica se ha elegido el índice NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI-Normalized Difference Vegetation Index) (Rouse J. H., 1973).

En el NDVI, los valores del índice son el reflejo de la relación de la banda roja y la banda en el infrarrojo cercano (NIR). Así, la banda roja se ve influenciada por la cantidad de clorofilas de la vegetación, mientras que la banda NIR es influenciada por el contenido de agua de esta. Estas propiedades hacen que el NDVI se constituya en una valiosa herramienta para la evaluación de coberturas vegetales, así como para estudiar la clasificación, dinámica vegetal y sus aspectos fenológicos. El NDVI, es un índice de gran aplicación para estudiar la vegetación, ya que es eficiente para el análisis y monitoreo de las condiciones vegetativas y su dinámica en la cobertura terrestre (Olivares, 2019).

El índice es expresado como lo indica la siguiente ecuación (Ver la Ecuación 5.2.2.1):

$$NDVI = \frac{IRc - R}{IRc + R}$$

Ecuación 5.2.2.1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

Fuente: Integral S.A., 2025

Dónde:

NDVI: es el índice de vegetación de diferencia normalizada

IRc: representa la banda del infrarrojo cercano y

R: representa a la banda del rojo

Los valores de NDVI oscilan entre -1,0 y +1,0, donde los valores menores a 0,1 se interpretan como suelos desnudos o cuerpos de agua, y mayores a 0,1 van en relación equivalente a la vigorosidad de la cobertura vegetal. Entre más altos los valores, indican mayor actividad fotosintética de las diversas coberturas (matorrales, bosque templado, selva y actividad agrícola) (Olivares, 2019).

El procedimiento realizado puede parecer complejo, pero sigue un proceso lógico claro y estricto, el cual busca de manera sencilla lograr obtener la clasificación de la variable biótica, el cual consistió en los siguientes pasos:

- **Clasificación de la cobertura terrestre con fines del estudio de conectividad:**

Se realizó la clasificación supervisada en el área de estudio de conectividad para obtener las coberturas píxel a píxel, de este modo se pretende tener una representación discreta de la idoneidad de hábitat para las especies en la totalidad del área de estudio. Para la clasificación supervisada se utilizaron las coberturas terrestres elaboradas para el proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote como áreas de entrenamiento. Así mismo, se enriqueció la imagen satelital con bandas provenientes del análisis de componentes principales. Todo lo anterior para dar solidez a la información radiométrica (ráster multibanda) y temática (clases de cobertura) de la clasificación supervisada.

Las clases temáticas se agruparon para obtener clases homogéneas en bosques, vegetación secundaria, cultivos, pastos, cuerpos de agua, suelos desnudos, construcciones y zonas de extracción mineras.

El objetivo de crear las clases de coberturas terrestres es proporcionar a los profesionales, que participan en el panel de expertos para la calificación de la variable frente a la ecología de las especies, una clasificación temática que facilite la actividad de calificación. Es más intuitivo calificar una clase temática que un rango de valores de NDVI. Por ejemplo, calificar los extremos del rango de valores de NDVI de 0,367 a 0,65 es poco intuitivo, pero calificar un valor mínimo y máximo de idoneidad de hábitat para la cobertura pasto es mucho más natural para un experto. Además, el comportamiento del NDVI se ve influenciado por las condiciones específicas del día de la toma de la imagen, condiciones como la humedad por lluvia pueden alterar las mediciones de la banda del infrarrojo y modificar los valores del NDVI para la imagen, por lo que manejar valores absolutos y estandarizados de NDVI para las calificaciones de la variable no es procedente.

- **Segmentación del NDVI por clase de cobertura.**

Una vez obtenida la clasificación de coberturas terrestres, se procede a segmentar el ráster de NDVI por los píxeles correspondientes a cada cobertura. De esta manera, todos los píxeles del ráster de NDVI que correspondan a una clasificación de cobertura conforman la máscara de análisis para el cálculo de la calificación de dicha clase temática. La Figura 5.2.2.12 ilustra la segmentación del NDVI para una clase de cobertura a manera de ejemplo.

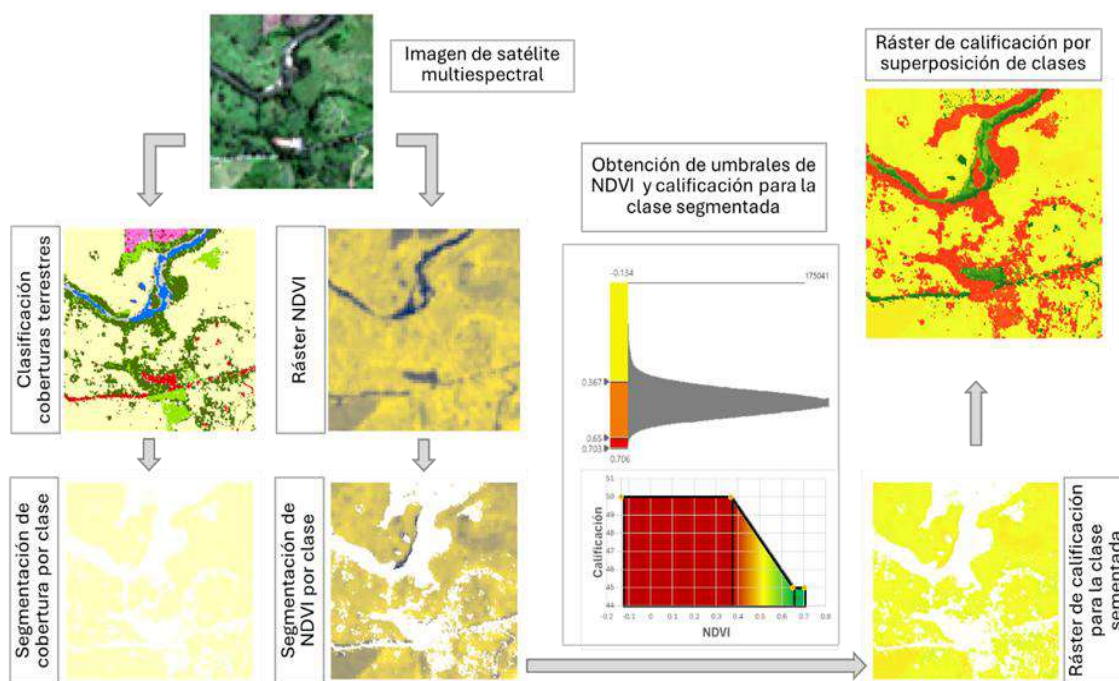


Figura 5.2.2.12. Esquema de calificación del NDVI para clase de cobertura.

Fuente: Integral S.A., 2025

- **Asignación de calificaciones.**

Para cada clase se definieron los valores inicial y final de “idoneidad de hábitat” (NDVI_ini y NDVI_fin), obtenidos mediante estadística zonal a partir de los polígonos de entrenamiento.

A NDVI_ini se le asignó la calificación mínima (Cal_min).

A NDVI_fin se le asignó la calificación máxima (Cal_max).

Los valores intermedios se calcularon por interpolación lineal entre los puntos P1(NDVI_ini, Cal_min) y P2(NDVI_fin, Cal_max).

Los valores inferiores a NDVI_ini recibieron la calificación mínima y los superiores a NDVI_fin la máxima.

La interpretación de la asignación de calificación se muestra de manera esquemática en las Figura 5.2.2.13 y la Figura 5.2.2.14.

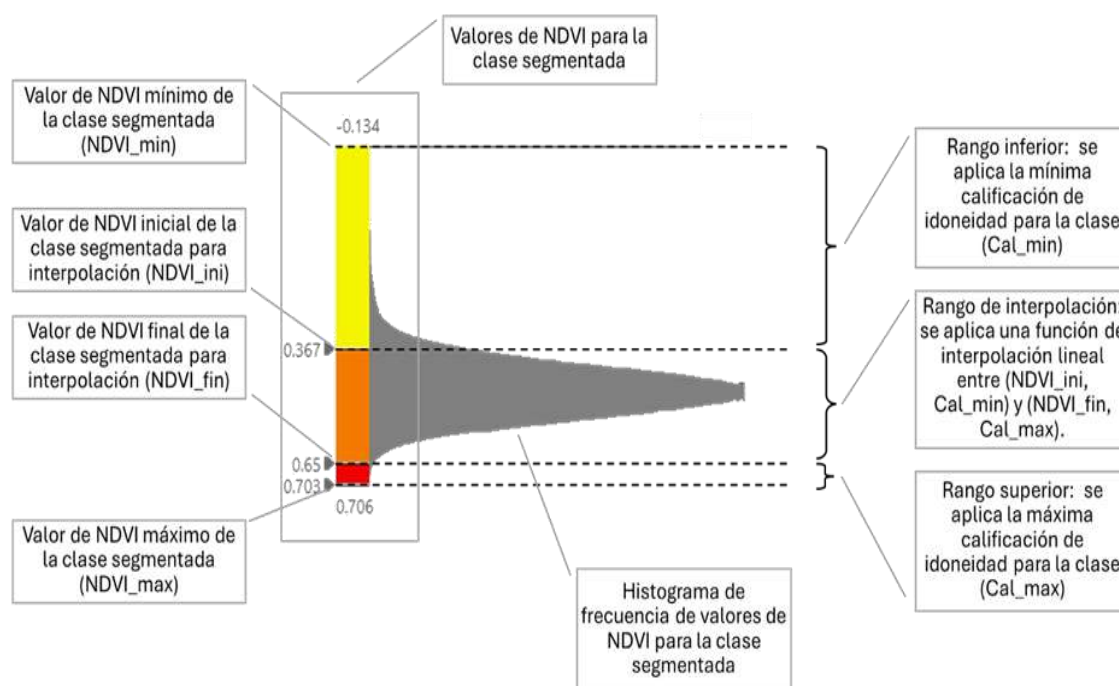


Figura 5.2.2.13. Esquema de definición de umbrales para calificación de la clase segmentada del NDVI, detalle.

Fuente: Integral S.A., 2025

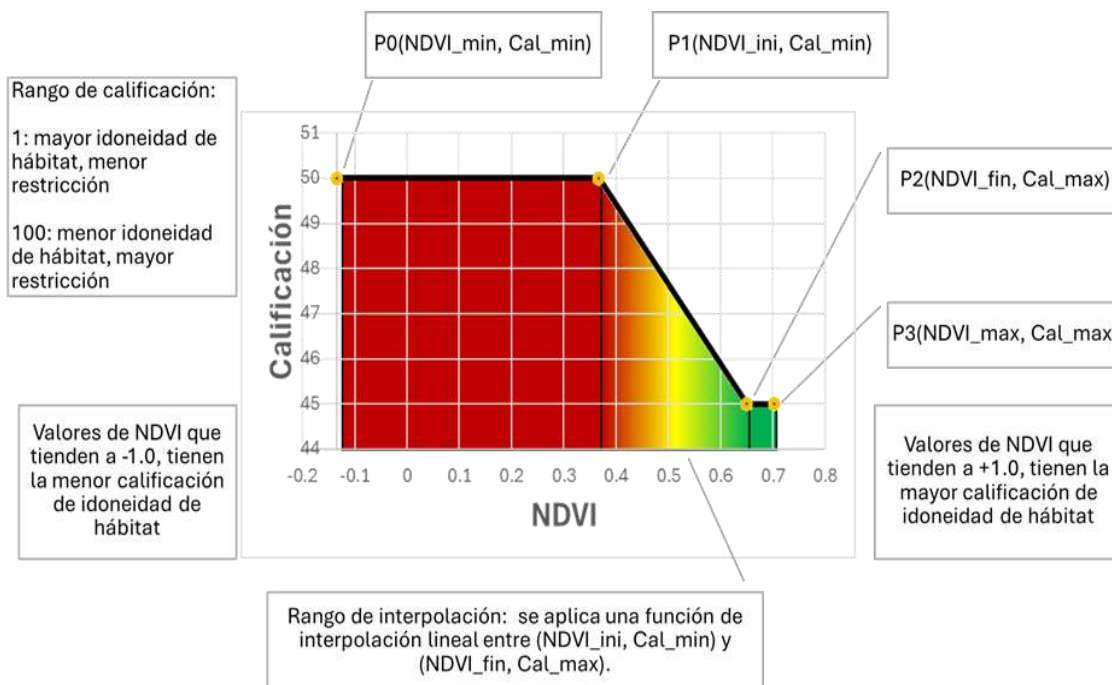


Figura 5.2.2.14. Esquema de rangos de interpolación para calificación de la clase segmentada del NDVI, detalle.

Fuente: Integral S.A., 2025

- **Integración de resultados.**

Por último, los rásters segmentados de calificación, obtenidos en el paso anterior, son superpuestos de nuevo para crear el nuevo ráster completo de calificación de la variable. En la Figura 5.2.2.15 se ilustra el procedimiento completo para la obtención de los valores de clasificación por el método propuesto.

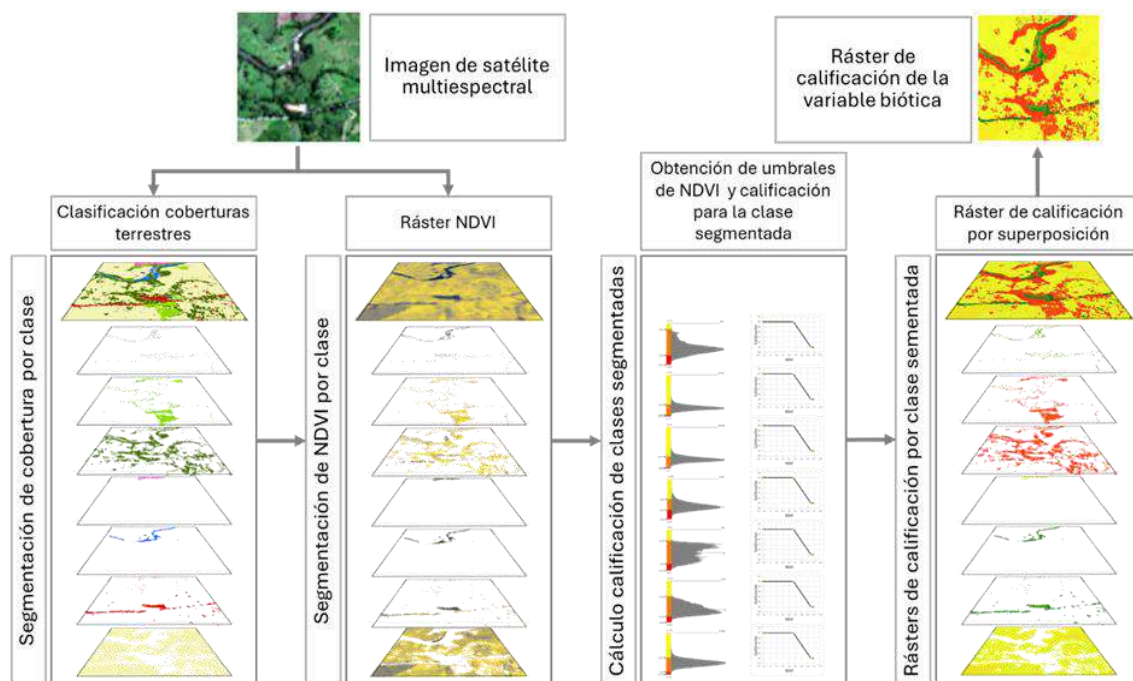


Figura 5.2.2.15. Esquema de procedimiento para la obtención del ráster de calificación de la variable NDVI.

Fuente: Integral S.A., 2025

En Figura 5.2.2.16 se muestra la representación esquemática de la variable biótica NDVI producto de aplicar el proceso descrito anteriormente.

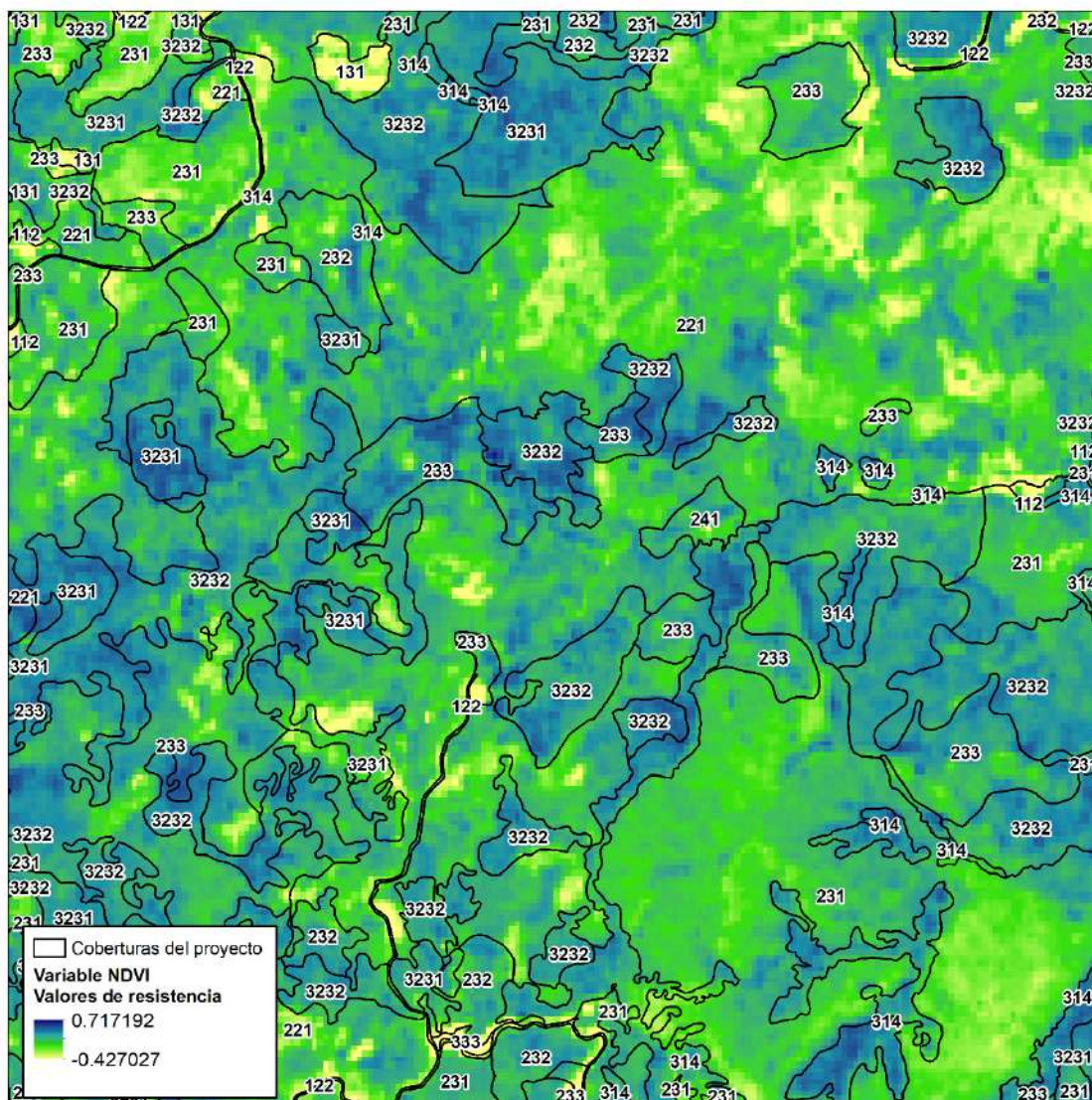


Figura 5.2.2.16. Representación esquemática del NDVI segmentado por tipo de cobertura.

Fuente: Integral S.A., 2026

Como se mencionó anteriormente, se emplearon clases de coberturas terrestres con el fin de proporcionar a los profesionales que participan en el panel de expertos para la calificación de la variable frente a la ecología de las especies, una clasificación temática que facilite la actividad de calificación. La reclasificación de coberturas tuvo en cuenta las clases *Bosques naturales y plantados*, *Vegetación secundaria*, *Zonas cultivadas*, *Pastos y otros territorios antropizados*, *Cuerpos de agua naturales y artificiales*, *Suelo desnudo (que incluye tierras desnudas y degradadas y zonas arenosas naturales)*, *Construcciones (que incluye tejido urbano, zonas industriales o comerciales, red vial y territorios asociados)*, y *Zonas de extracción minera*.

Específicamente para el proyecto se utilizaron los valores umbrales de NDVI y calificación de la variable por clase de cobertura mostrados en la Tabla 5.2.2.6 en las columnas Valor NDVI.

En la Figura 5.2.2.17 se muestra el resultado de la calificación de la variable biótica producto de aplicar el proceso descrito anteriormente.

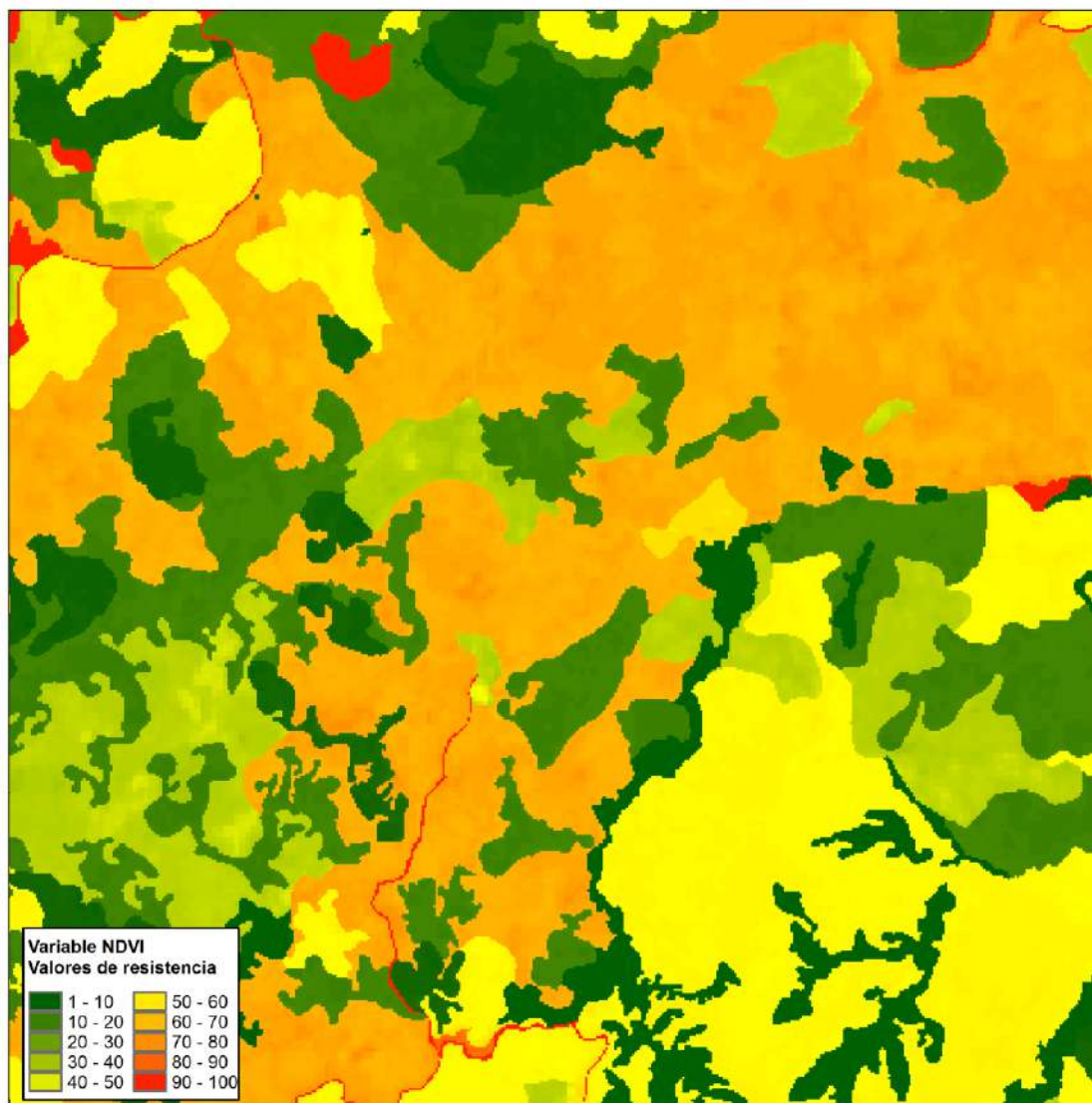


Figura 5.2.2.17. Representación esquemática de la calificación de los valores del NDVI.

Fuente: Integral S.A., 2026

Por otro lado, en cuanto a ecología de especies, la calificación de la variable biótica para la especie E1 y E2 se hizo basada en sus preferencias de hábitat. El tigrillo *L. pardalis* (E1) habita bosques húmedos y secos tropicales, sabanas, manglares y dentro de estos tipos de hábitats suelen asociarse a cubiertas vegetales densas (Payán Garrido E., 2012)

(Garrote Germán, 2019). Por su parte la E2 *O. leucopus* habita en bosques maduros y bosques en regeneración (bosque fragmentado, bosque denso, bosque de galería) y los bordes de bosque (Sánchez-Londoño Juan D., 2013; Pinzón Zuly V., 2013).

Los elementos que no representan hábitat se calificaron de manera más restrictiva, pero esto no quiere decir que la especie no pueda moverse sobre estos elementos, de hecho, ambas especies pueden utilizar coberturas vegetales abiertas o transformadas como zonas de paso y forrajeo. Por ejemplo, la E1 *L. pardalis* tiene registros de presencia en plantaciones de palma de aceite y como zonas de paso usa áreas abiertas como caminos, senderos y carreteras (Payán Garrido E., 2012). Por otro lado, la E2 *O. leucopus* también se pueden observar en mosaico de pastos y cultivos, mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, mosaico de pastos y espacios naturales, pastos enmalezados, pastos limpios y café (Pinzón Zuly V., 2013).

Teniendo en cuenta lo anterior, la Tabla 5.2.2.6 presenta calificaciones con valores iniciales y finales para las especies E1 y especie E2 teniendo en cuenta su preferencia de hábitat particular calificando de 1-100 en cuanto a la exuberancia o verdor en la vegetación: por ejemplo, los valores más cercanos a 1 como los de más exuberancia o verdor para la clase bosques principalmente y valores más cercanos a 100 como los de menos exuberancia como para la clase territorios artificializados (Tabla 5.2.2.6).

Tabla 5.2.2.6. Calificación de la variable biótica NDVI para las especies E1 y E2

Variable NDVI								
Clasificación Cobertura	E1 <i>Leopardus pardalis</i>				E2 <i>Oedipomidas leucopus</i>			
	Más exuberancia	Menos exuberancia	Valor NDVI		Más exuberancia	Menos exuberancia	Valor NDVI	
	Valor Inicial	Valor final	Valor Inicial	Valor final	Valor Inicial	Valor final	Valor Inicial	Valor final
Aeropuerto	90	100	0.256786	0.555841	100	100	0.256786	0.555841
Bosques	1	1	-0.0889625	0.717192	1	1	-0.0889625	0.717192
Bosque denso	1	1	0.0731463	0.707468	1	1	0.0731463	0.707468
Bosque fragmentado	1	1	0.0617551	0.707725	1	1	0.0617551	0.707725
Bosque de galería y/o ripario	1	1	-0.102951	0.711973	1	1	-0.102951	0.711973
Cuerpos de agua	70	70	-0.427027	0.636887	70	70	-0.427027	0.636887
Cuerpos de agua artificiales	70	75	-0.0064078	0.585522	70	75	-0.0064078	0.585522
Cultivos	45	55	-0.0889625	0.69199	45	55	-0.0889625	0.69199
Cultivos permanentes arbóreos	55	75	0.184068	0.634032	70	80	0.184068	0.634032
Cultivos permanentes arbustivos	45	55	0.170645	0.599814	45	55	0.170645	0.599814
Cultivos permanentes herbáceos	60	75	0.0138844	0.667934	70	80	0.0138844	0.667934
Instalaciones recreativas	90	100	0.0997067	0.610466	95	100	0.0997067	0.610466
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	70	75	-0.0446715	0.568702	70	75	-0.0446715	0.568702
Mosaico de cultivos	50	60	0.0567879	0.694523	70	80	0.0567879	0.694523
Mosaico de cultivos y espacios naturales	40	50	0.122432	0.669322	50	60	0.122432	0.669322
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	40	50	0.0191926	0.640296	40	50	0.0191926	0.640296
Mosaico de pastos y cultivos	50	60	0.0608529	0.693952	70	80	0.0608529	0.693952
Mosaico de pastos con espacios naturales	40	50	0.29349	0.577501	50	60	0.29349	0.577501
Pastos	45	55	-0.0889625	0.700289	65	75	-0.0889625	0.700289

Variable NDVI								
Clasificación Cobertura	E1 <i>Leopardus pardalis</i>				E2 <i>Oedipomidas leucopus</i>			
	Más exuberancia	Menos exuberancia	Valor NDVI		Más exuberancia	Menos exuberancia	Valor NDVI	
	Valor Inicial	Valor final	Valor Inicial	Valor final	Valor Inicial	Valor final	Valor Inicial	Valor final
Pastos arbolados	45	55	0.00467933	0.688568	65	75	0.00467933	0.688568
Pastos enmalezados	30	50	0.0339191	0.694559	65	75	0.0339191	0.694559
Pastos limpios	45	55	-0.13355	0.70622	75	90	-0.13355	0.70622
Plantación forestal	1	10	0.0936556	0.691675	25	35	0.0936556	0.691675
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	90	100	-0.0148148	0.659617	90	100	-0.0148148	0.659617
Ríos (50 m)	70	75	-0.172657	0.62924	70	75	-0.172657	0.62924
Suelo desnudo	70	80	-0.12339	0.681928	95	100	-0.12339	0.681928
Tejido urbano continuo	90	100	-0.191442	0.624594	95	100	-0.191442	0.624594
Tejido urbano discontinuo	90	100	-0.0730223	0.654229	95	100	-0.0730223	0.654229
Territorios artificializados	90	100	-0.427027	0.694229	95	100	-0.427027	0.694229
Tierras desnudas y degradadas	70	80	0.00899428	0.592135	95	100	0.00899428	0.592135
Vegetación secundaria o en transición	1	10	-0.0340136	0.710435	1	10	-0.0340136	0.710435
Vegetación secundaria alta	1	10	0.0566038	0.701439	1	10	0.0566038	0.701439
Vegetación secundaria baja	10	20	0.0272745	0.68345	50	60	0.0272745	0.68345
Zonas arenosas naturales	70	80	-0.099187	0.621787	95	100	-0.099187	0.621787
Zonas de extracción minera	100	100	-0.0837715	0.623543	100	100	-0.0837715	0.623543
Zonas industriales o comerciales	90	100	-0.0304016	0.643711	95	100	-0.0304016	0.643711
Zonas quemadas	80	90	0.123631	0.586207	80	90	0.123631	0.586207

Fuente: Integral S.A., 2026

III. Variables abióticas

Cruzar o no cruzar el límite de hábitats adecuados es el primer componente conductual que conduce a la dispersión, y para varios taxones de fauna la evasión y la reticencia (restricción) a cruzar el límite del hábitat depende de la permeabilidad del paisaje y la habilidad del organismo para identificar esos límites (Baguette M., 2007). Las variables abióticas pretenden la inclusión de los elementos físicos del paisaje que pueden representar una restricción (barrera física) o resistencia (evasión) al movimiento e influyen en las funciones ecológicas de la biodiversidad. Los elementos físicos se obtuvieron a partir de la cartografía base disponible, considerando elementos como las construcciones -ya sean de núcleos urbanos o viviendas dispersas- y los ejes viales como vías nacionales, intermunicipales, entre otras.

Es importante aclarar que para la calificación de las variables físicas se aplicaron funciones de atenuación con el fin de modelar qué tanto percibe, en términos de la variable, un individuo a una distancia de 0 metros del elemento y a qué distancia el elemento ya no tiene ningún efecto sobre el comportamiento de la movilidad del individuo. La función de atenuación busca representar espacialmente el efecto de los elementos abióticos del territorio en relación con la distancia sobre las especies evaluadas. En el caso de las variables abióticas del presente estudio, el efecto negativo de estas variables es más pronunciado cuando un individuo está más cerca del elemento, e irá disminuyendo este efecto a medida que la distancia al elemento aumenta. Para cada especie y para cada variable, la distancia final (df) fue obtenida por medio del taller de panel de expertos, y en caso de existir, a partir de publicaciones científicas. Esta distancia final (df) indica a partir de qué distancia un individuo ya no percibe negativamente la presencia de los elementos que conforman las variables abióticas. A partir de esta distancia se considera una calificación de 1 para la variable, es decir, se supone que más allá de la distancia final (df) se tendrán las condiciones del hábitat natural frente a la variable en cuestión. La función de atenuación puede entenderse como se muestra en el gráfico de atenuación de la Figura 5.2.2.18.



Figura 5.2.2.18. Función de atenuación para la calificación de variables abióticas

Fuente: Integral S.A., 2025

A continuación, se describen cada una de las calificaciones de las variables abióticas:

i. Variable vías

Esta variable incluye para la calificación elementos del paisaje como las vías correspondientes a vías nacionales o vías primarias, vías intermunicipales o vías secundarias y vías carretables o calles, carreras y vías veredales que ya existen en el territorio (escenario 0SP). Adicional a estos elementos viales, para los escenarios con proyecto (1CPL y 2CPM) se incluye la infraestructura asociada a las vías internas del proyecto Minero (ver la Tabla 5.2.2.7). Este elemento tiene relevancia para la modelación del escenario local, pues este entra a ser un elemento físico nuevo en la conectividad que puede representar resistencia al movimiento de las especies.

Tabla 5.2.2.7. Elementos viales del proyecto (0SP, 1CPL y 2CPM)

Grupo de clasificación de vías	Escenario base
Vías existentes	Sin Proyecto (0SP)
Vía sustitutiva	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)
Vías mineras	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)
Vías operación no minera	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)

Fuente: Integral S.A., 2025

Para la calificación de cada una de las vías se tiene en cuenta los efectos ecológicos que estas tienen en el comportamiento de la especie analizada. Para la conectividad, las vías presentan efectos como la fragmentación, el efecto barrera, el efecto borde por mencionar algunos (Forman R. T., 1998). Para la fauna, los efectos de los ejes viales son indirectos como pérdida y disminución del hábitat, degradación del hábitat y efecto barrera y efectos directos como atropellamiento -ya sea por atracción o incidental- y ruido (Shannon G., 2016; Benítez J. A., 2021a).

Para entender hasta dónde pueden llegar estos efectos directos e indirectos se contempló el concepto de la zona de efecto de las vías o *Road-effect zone* analizado por Forman y colaboradores (Forman R. T., 1998), el cual se define como el área del paisaje adyacente donde se extienden los impactos ecológicos de la vía y el tráfico (Forman R. T., 1998). La cantidad del hábitat que se ve afectada por la *zona de efecto de las vías* depende de las características locales donde se desarrolla cada proyecto. Benítez y colaboradores (Benítez J. A., 2021a) establece que los efectos de vías terrestres sobre la fauna son más intensos dentro de los primeros 100 m de la vía, a partir de donde se presenta una atenuación de los diferentes efectos hasta desaparecer alrededor de un kilómetro de distancia, con algunos casos donde la perturbación puede alcanzar cerca de 3 km (Benítez J. A., 2021a) como lo muestra la Figura 5.2.2.19.

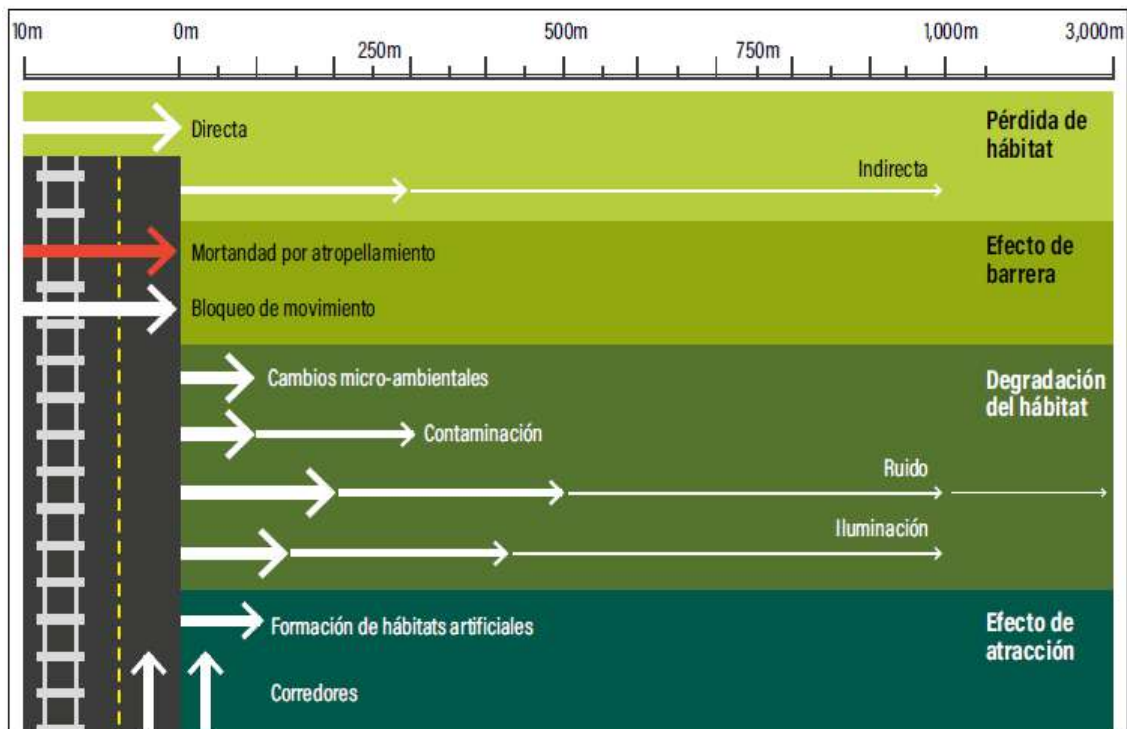


Figura 5.2.2.19. Traslape y magnitud de los impactos generados por las vías de comunicación terrestre.

Fuente: (Benítez J. A., 2021a), modificado Integral S.A., 2025

Teniendo en cuenta lo anterior, la variable fue calificada partiendo de la propuesta de (Benítez J. A., 2021a), considerando los efectos indirectos de pérdida y degradación del hábitat y efecto barrera y se tuvo en cuenta la ecología de cada especie objeto de estudio, debido a que, de acuerdo con el tipo de desplazamiento cada especie puede ser más vulnerable o no a los efectos de los ejes viales. La función de atenuación tuvo en cuenta a una distancia inicial de 0 metros del elemento y una distancia final en metros que varió dependiendo del tipo de clasificación del eje vial. Como hay una distancia inicial y final también tienen una calificación inicial y una final. Adicionalmente, a cada eje vial se le asigna un buffer teniendo en cuenta el tipo de vía, ya que, en la cartografía base, estos elementos se encuentran como línea.

La calificación por tipo de vía y los valores que definen su función de atenuación se muestran en la Tabla 5.2.2.8 y la representación esquemática de esta calificación se muestra en la Figura 5.2.2.20.

Tabla 5.2.2.8. Calificación de la variable abiótica vías

Variable Vías									
Elementos	E1 <i>Leopardus pardalis</i>				E2 <i>Oedipomidas leucopus</i>				
	Di	Ci	Df	Cf	Di	Ci	Df	Cf	Buffer

Tipo 1	0	100	750	1	0	100	750	1	15
Tipo 2	0	85	500	1	0	75	500	1	10
Tipo 3	0	75	500	1	0	25	500	1	7,5
Tipo 4	0	40	400	1	0	40	400	1	7,5
Tipo 5	0	40	300	1	0	40	300	1	7,5
Tipo 6	0	15	300	1	0	1	300	1	5
Tipo 7	0	1	100	1	0	1	100	1	2,5
Vía sustitutiva cristales	0	40	400	1	0	40	400	1	10
Vías Operación	0	40	400	1	0	40	400	1	10
Vías Mineras	0	85	400	1	0	85	400	1	10

*Abreviaturas: Di: distancia inicial, Df: distancia final, Ci: calificación inicial, Cf: Calificación final

Fuente: Integral S.A., 2025

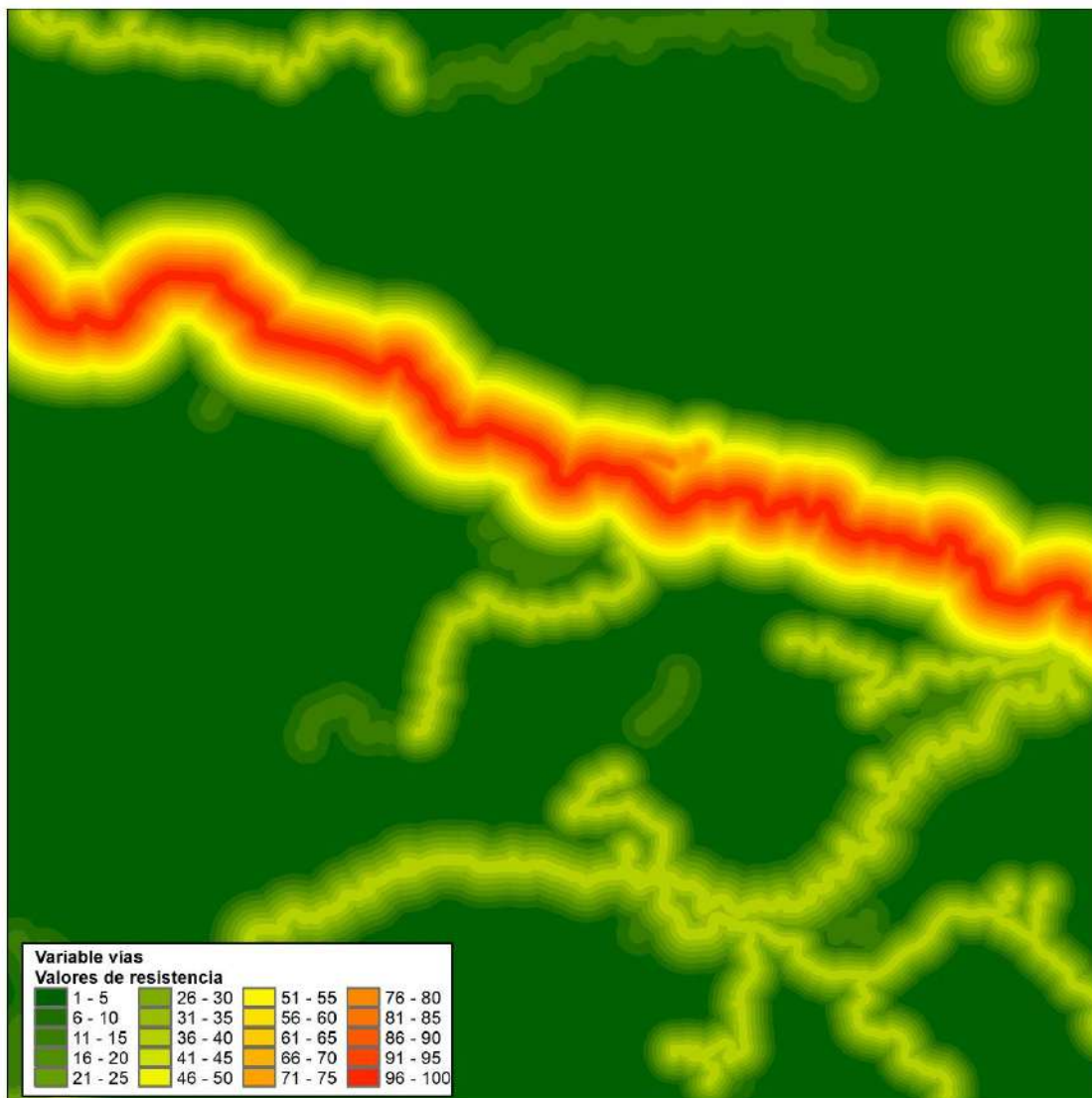


Figura 5.2.2.20. Representación esquemática de la variable vías.

Fuente: Integral S.A., 2025

ii. Variable construcciones

Esta variable incluye la calificación elementos del paisaje como construcciones y viviendas dispersas correspondientes a fincas y casas dispersas en las afueras y áreas rurales del paisaje y núcleos urbanos como caseríos y corregimientos en el territorio (escenario 0SP), toda esta información se obtiene a partir de la cartografía base. Adicional a estos elementos, para los escenarios con proyecto (1CPL y 2CPM) se incluye la infraestructura asociada al proyecto del proyecto Minero, presentados en la Tabla 5.2.2.9. Este elemento tiene relevancia para la modelación del escenario local, pues este entra a ser un elemento físico en la conectividad que puede representar resistencia al movimiento de las especies.

Tabla 5.2.2.9. Elemento construcciones del proyecto (0SP, 1CPL y 2CPM)

Grupos de clasificación	Escenario base
Núcleos urbanos	Sin Proyecto (0SP)
Viviendas dispersas	Sin Proyecto (0SP)
Áreas de Servicio	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)
Plataformas Campamentos	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)
Plataformas Mineras	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)
Plataformas No Mineras	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)

Fuente: Integral S.A., 2025

Una vez identificados los elementos, la calificación de cada uno, tuvo en cuenta los efectos ecológicos que le aportan a la biodiversidad. Se hizo una revisión bibliográfica sobre efectos que aportan las construcciones, encontrando que la urbanización, además de aportar a la pérdida y fragmentación de la cobertura vegetal natural, altera el entorno sensorial mediante la iluminación nocturna artificial y el ruido antropogénico, las cuales tiene consecuencias negativas para la fauna silvestre y sus comunidades ecológicas, aunque hay evidencias de respuestas específicas a esta perturbaciones de cada especie a los entornos sensoriales alterados, pues hay evidencia de especies que evitan estas áreas con perturbaciones mientras que otras las aprovechan (Willems, 2022). La iluminación nocturna artificial puede afectar el comportamiento y la fisiología de la fauna tanto diurna como nocturna (Bennie J., 2015; Shier D. M., 2020; Willems, 2022). El ruido ambiental e industrial puede afectar la fisiología y la conducta de la fauna (Broucek J., 2014), afectando de manera específica los diferentes taxones; específicamente, taxones como los mamíferos muestran afectación en su conducta y fisiología cuando están expuestos a ruidos ambientales o industriales a partir de los 50 decibeles (50dB) (Shannon G., 2016; Erbe C., 2022).

Sin embargo, para entender el alcance de estos efectos desde la fuente en un paisaje y hasta donde afectan a la fauna, se revisaron los datos disponibles sobre el alcance geográfico tanto de la luz artificial como del ruido ambiental e industrial. En cuanto a la amplitud o alcance geográfico, para la luz artificial, no se encontraron datos puntuales para mamíferos terrestres, salvo un estudio sobre los efectos de desplazamiento de la luz artificial en murciélagos, mostrando distancias de desplazamiento de 75 m de la fuente de luz artificial (Seewagen C., 2023). Por otro lado, la amplitud o alcance geográfico para el ruido ambiental dependerá de otros factores ambientales como el hábitat adyacente, la topografía, el viento, entre otros. Un estudio de (Benítez J., 2021b) que analiza la contaminación de fuentes fijas y móviles (maquinaria), presenta niveles de ruido promedio (dB) por tipo de fuente y distancias desde la fuente, mostrando que para determinadas fuentes tanto fijas como móviles a distancias de la fuente mayores a 350 metros el ruido ambiental está por debajo de 50 dB (Benítez J., 2021b) (ver la Figura 5.2.2.21).

Fuente de ruido	Distancia de la fuente (m)				
	5	50	100	150	350
Fijas					
CPTGA	85-90	71-75	55-57	45-52	NF-47
Procesadora de concreto	89-94	75-79	59-62	42-58	RF
Generador eléctrico	89-92	74-77	56-61	43-54	RF
Semiestacionarias					
Grúas	70-75	60-68	35-39	RF	RF
Camiones de carga (< 20 km/h)	78-85	65-70	38-40	RF	RF
Móviles en terracería					
Camiones con carga (< 40 km/h)	83-89	69-75	55-57	NF-50	RF
Camiones sin carga (> 40 km/h)	90-95	75-80	60-62	50-57	NE-47
Móviles en carretera					
Motocicletas	72-82	62-70	38-51	NF-47	RF
Automóviles y v. utilitarios	70-77	59-68	35-48	NF-47	RF
Autobuses	72-82	61-71	39-51	NF-48	RF
Carga y tractocamiones	80-88	66-72	52-58	NF-51	RF
Tráiler de contenedores	84-98	70-80	57-65	49-59	NF-48

RF = Ruido de fondo (ambiental o biofonías)

La mayor parte de la fauna presenta efectos biológicos al ruido	> 80 dB
Aves, algunos anfibios, reptiles y mamíferos se ven afectados	60-80 dB
Principalmente aves y mamíferos sensibles se ven afectados	40-60 dB
No existen reportes de impacto a la fauna	< 40 dB

Figura 5.2.2.21. Niveles de ruido y fuentes de ruido en los cuales se presentan respuestas biológicas de los diferentes grupos taxonómicos.

Fuente: (Benítez J., 2021b) modificado Integral S.A., 2025

Teniendo en cuenta lo anterior, la variable fue calificada según la propuesta de (Benítez J., 2021b), teniendo en cuenta la información de las fuentes fijas y móviles, ya que estas fuentes están asociadas a las construcciones por las dinámicas, sobre todo de los núcleos urbanos y aportan a gran parte del ruido ambiental e industrial. La calificación tuvo en cuenta una función de atenuación, partiendo de una distancia inicial de 0 metros del elemento y una distancia final que varía con respecto al tipo de elemento. Las distancias de atenuación no solo tienen en cuenta la atenuación de la luz artificial (75 metros) de (Seewagen C., 2023) sino también la atenuación del ruido de fuentes fijas de (Benítez J., 2021b). La calificación también tuvo en cuenta los datos disponibles sobre comportamiento de las especies en cuanto a su tolerancia a perturbaciones antrópicas.

La calificación y los valores que definen su función de atenuación se muestra en la Tabla 5.2.2.10 y la representación esquemática de esta calificación se muestra en la Figura 5.2.2.22.

Tabla 5.2.2.10. Calificación de la variable abiótica construcciones

MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO
DE MINERÍA DE ORO A CIELO ABIERTO GRAMALOTE

I-I-10719-FLORA-00-V2

08/2026

Variable construcciones								
Elementos	E1 <i>Leopardus pardalis</i>				E2 <i>Oedipomidas leucopus</i>			
	d_i	cal_i	d_f	Cal_f	d_i	cal_i	d_f	Cal_f
Viviendas dispersas	0	75	100	1	0	65	100	1
Núcleos urbanos	0	100	150	1	0	100	150	1
Plataformas Campamentos	0	100	150	1	0	100	150	1
Zonas industriales	0	100	450	1	0	100	450	1
Plataformas Mineras	0	100	500	1	0	100	500	1
Plataformas No Mineras	0	100	350	1	0	100	350	1

*Abreviaturas: Di: distancia inicial, Df: distancia final, Ci: calificación inicial, Cf: Calificación final
Fuente: Integral S.A., 2025

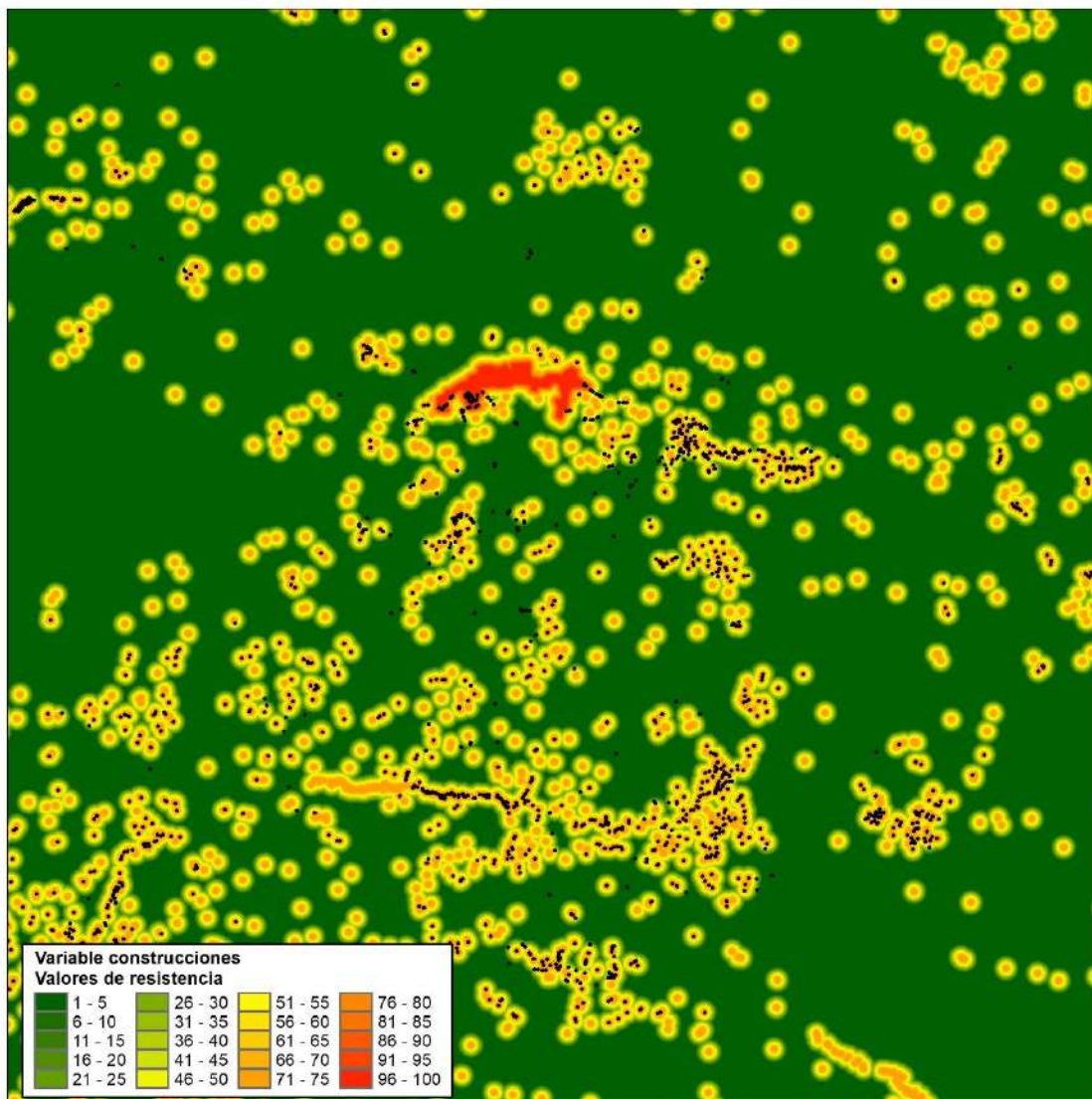


Figura 5.2.2.22. Representación esquemática de la variable construcciones.

Fuente: Integral S.A., 2025

iii. Variable pendientes

Para el análisis de conectividad, la variable pendiente se construyó a partir del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR con resolución espacial de 12.5 metros. Su reclasificación se realizó en términos de resistencia al movimiento de las especies. Esta variable se incorporó al modelo para representar los cambios morfológicos en el territorio derivados de las actividades del proyecto, como la conformación de depósitos de materiales y las zonas de extracción minera. Adicionalmente, se consideró su efecto en la región debido a la presencia de pendientes moderadas y altas que pueden actuar como barreras físicas al desplazamiento de las especies o representar áreas de costo excesivo, generando un mayor gasto energético y, en consecuencia, una mayor impedancia al movimiento.

En la Tabla 5.2.2.11 se presentan los rangos de pendientes y sus respectivas calificaciones, los valores al interior de un rango de pendientes se hacen por interpolación lineal. La representación esquemática de esta calificación se muestra en la Figura 5.2.2.23.

Tabla 5.2.2.11. Calificación de la variable abiótica pendientes

Variable pendientes				
Elementos	E1 <i>Leopardus pardalis</i> (Ci-Cf)		E2 <i>Oedipomidas leucopus</i> (Ci-Cf)	
	C_i	C_f	C_i	C_f
Plana (0 - 3 %)	1	25	1	1
Inclinada (3 - 25 %)	25	50	1	25
Ligeramente escarpada (25 - 50 %)	50	75	25	50
Moderadamente escarpada (50 - 75 %)	100	100	100	100
Totalmente escarpada (> 75 %)	100	100	100	100

*Abreviaturas: Ci: calificación inicial, Cf: Calificación final

Fuente: Integral S.A., 2026

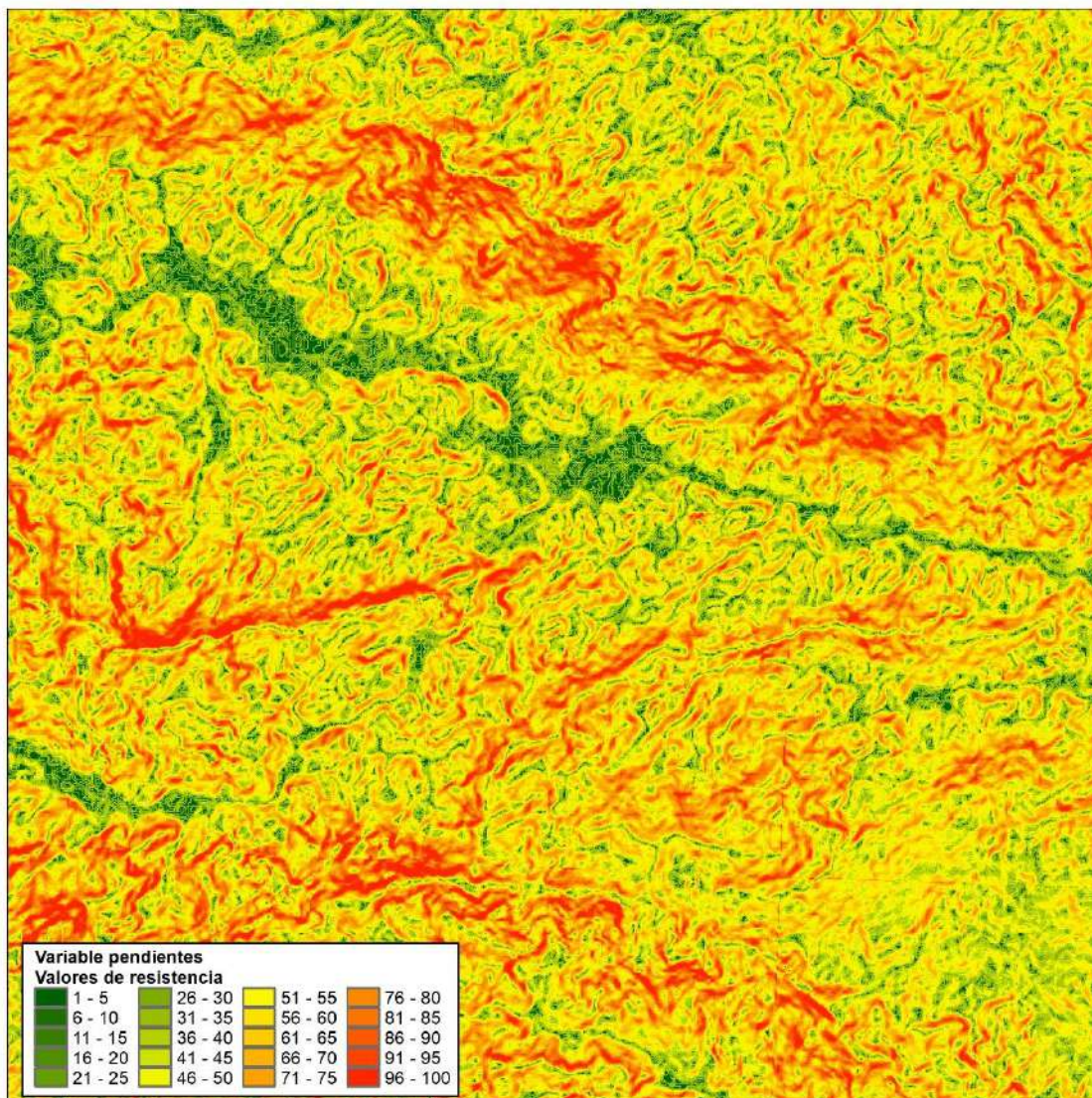


Figura 5.2.2.23. Representación esquemática de la variable pendientes

Fuente: Integral S.A., 2025

iv. Variable actividad minera

Esta variable es evaluada debido a los efectos del proyecto, sus obras y actividades en el paisaje ecológico y en la conectividad. Esta variable incluye para la calificación elementos del paisaje como las zonas de extracción minera que ya existen en el territorio (escenario 0SP). Adicional a estos elementos, para el escenario con proyecto (1CPL y 2CPM) se incluye las obras y actividades del proyecto Minero. Este elemento tiene relevancia para la modelación del escenario local, pues este entra a ser un elemento físico nuevo en la conectividad que puede representar resistencia al movimiento de las especies. Los elementos de la actividad minera se muestran en la Tabla 5.2.2.12

Tabla 5.2.2.12. Elementos que conforman la variable actividad minera (0SP, 1CPL y 2CPM)

Grupos de clasificación	Escenario base
Áreas de extracción minera (existentes)	Sin Proyecto (0SP)
Depósitos mineros (1CPL y 2CPM)	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)
PIT Gramalote-(1CPL y 2CPM)	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)
Plataformas Mineras-(1CPL y 2CPM)	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)
Presa-(1CPL y 2CPM)	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)
Vías mineras-(1CPL y 2CPM)	Con Proyecto (1CPL, 2CPM)

Fuente: Integral S.A., 2025

Una vez identificados los elementos, la calificación de cada uno tuvo en cuenta los efectos ecológicos sobre la conectividad ecológica. Se hizo una revisión bibliográfica sobre efectos de las actividades mineras, encontrando que además de aportar a la pérdida y fragmentación de la cobertura vegetal natural (Sonter L.J., 2018; Bandyopadhyay S., 2019; Timsina, 2022; Shanmukha N.T., 2024), el ruido de las actividades mineras también tiene efectos en la fauna, afectando la comunicación animal y por ende su comportamiento (Duarte M., 2015; Mancera K, 2017). Algunas especies animales son capaces de ajustar sus señales acústicas para comunicarse en entornos ruidosos, por ejemplo, aumentando su amplitud, modificando las frecuencias, alterando la frecuencia de sus vocalizaciones, cambiando la duración de estas o modificando el momento en que las emiten, por lo que esto altera la ecología del comportamiento, de defensa y escape y reproductiva (Duarte M., 2015).

Sin embargo, para entender el alcance de estos efectos desde la fuente en un paisaje y hasta donde afectan a la fauna, se revisaron datos disponibles sobre el alcance geográfico del ruido de la Minería. En cuanto a la amplitud o alcance geográfico, para la actividad minera no se encontraron datos puntuales de los efectos en la fauna, por lo que para esta variable se retomó el estudio de (Benítez J., 2021b) que analiza la contaminación de fuentes fijas y móviles (equipos y maquinaria), presenta niveles de ruido promedio (dB) por tipo de fuente y distancias desde la fuente, mostrando que para determinadas fuentes tanto fijas como móviles, a distancias de la fuente mayores a 350 metros, el ruido ambiental está por debajo de 50 dB (Benítez J., 2021b) (ver la Figura 5.2.2.24).

Fuente de ruido	Distancia de la fuente (m)				
	5	50	100	150	350
Fijas					
CPTGA	85-90	71-75	55-57	45-52	NF-47
Procesadora de concreto	89-94	75-79	59-62	42-58	RF
Generador eléctrico	89-92	74-77	56-61	43-54	RF
Semiestacionarias					
Grúas	70-75	60-68	35-39	RF	RF
Camiones de carga (< 20 km/h)	78-85	65-70	38-40	RF	RF
Móviles en terracería					
Camiones con carga (< 40 km/h)	83-89	69-75	55-57	NF-50	RF
Camiones sin carga (> 40 km/h)	90-95	75-80	60-62	50-57	NE-47
Móviles en carretera					
Motocicletas	72-82	62-70	38-51	NF-47	RF
Automóviles y v. utilitarios	70-77	59-68	35-48	NF-47	RF
Autobuses	72-82	61-71	39-51	NF-48	RF
Carga y tractocamiones	80-88	66-72	52-58	NF-51	RF
Tráiler de contenedores	84-98	70-80	57-65	49-59	NF-48

RF = Ruido de fondo (ambiental o biofonías)

La mayor parte de la fauna presenta efectos biológicos al ruido	> 80 dB
Aves, algunos anfibios, reptiles y mamíferos se ven afectados	60-80 dB
Principalmente aves y mamíferos sensibles se ven afectados	40-60 dB
No existen reportes de impacto a la fauna	< 40 dB

Figura 5.2.2.24. Niveles de ruido y fuentes de ruido en los cuales se presentan respuestas biológicas de los diferentes grupos taxonómicos.

Fuente: (Benítez J., 2021b) modificado Integral S.A., 2025

Si bien este estudio no presenta datos exactos de las actividades mineras, se procedió a utilizar la información de distancia y las biofonías del estudio de (Benítez J., 2021b), adaptándolas al ruido de las fuentes de la actividad minera del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote. Las fuentes de las actividades mineras y el valor de ruido en decibeles (dB) se muestra en la Tabla 5.2.2.13.

Tabla 5.2.2.13. Niveles de ruido y fuentes de ruido de las actividades del proyecto Gramalote

Fuente de ruido	Decibeles (dB) 0CPL	Decibeles (dB) 1CPL	Decibeles (dB) 2CPM
Zonas de extracción minera (existentes)	70	-	-
Depósitos mineros *	-	85	88.5
Pit	-	85	88.5

Fuente de ruido	Decibeles (dB) 0CPL	Decibeles (dB) 1CPL	Decibeles (dB) 2CPM
Vías mineras *	-	73	92.4
Plataformas de minería*	-	76	81.5

*Valor promedio de emisión de ruido según resultados del modelo de ruido ambiental por tipo de fuente.

Fuente: Integral S.A., 2025

Como se evidencia en la Tabla 5.2.2.13, los niveles de ruido para el escenario 1CPL está en el rango de 70 a 85 dB y para el escenario 2CPM están en el rango de los 80 a los 95 dB, por lo que estas fuentes se les asignan una calificación altamente restrictiva, ya que de acuerdo con Shannon G. (2016) y Benítez J. (2021b) niveles de ruido por mayores a 80 dB presentan efectos para la mayor parte de la fauna (ver Figura 5.2.2.24).

La variable fue calificada teniendo en cuenta la propuesta de niveles de ruido de (Benítez J., 2021b), partiendo de una función de atenuación, con una distancia inicial de 0 metros del elemento y una distancia final en metros que varía con respecto al tipo de elemento, calificando los ruidos de fondo (ambiental) y ruidos medios altos que corresponden a zonas industriales mineras y extremos y en esta última categoría se encuentran todos las fuentes de la actividad minera de la Tabla 5.2.2.13.

La calificación se muestra en la Tabla 5.2.2.14 y la representación esquemática de esta calificación y su función de atenuación se muestra en la Figura 5.2.2.25

Tabla 5.2.2.14. Calificación variable actividad minera

Variable Actividad Minera				
Elementos	E1 <i>Leopardus pardalis</i> (Ci-Cf)		E2 <i>Oedipomidas leucopus</i> (Ci-Cf)	
	C_i	C_f	C_i	C_f
RuidoFondo (<45 dB)	1	1	1	1
RuidoMedio (45-60 dB)	1	70	1	70
RuidoAlto (60-80 dB)	70	100	70	100
RuidoExtremo (>80 dB)	100	100	100	100

*Abreviaturas: Ci: calificación inicial, Cf: Calificación final

Fuente: Integral S.A., 2025

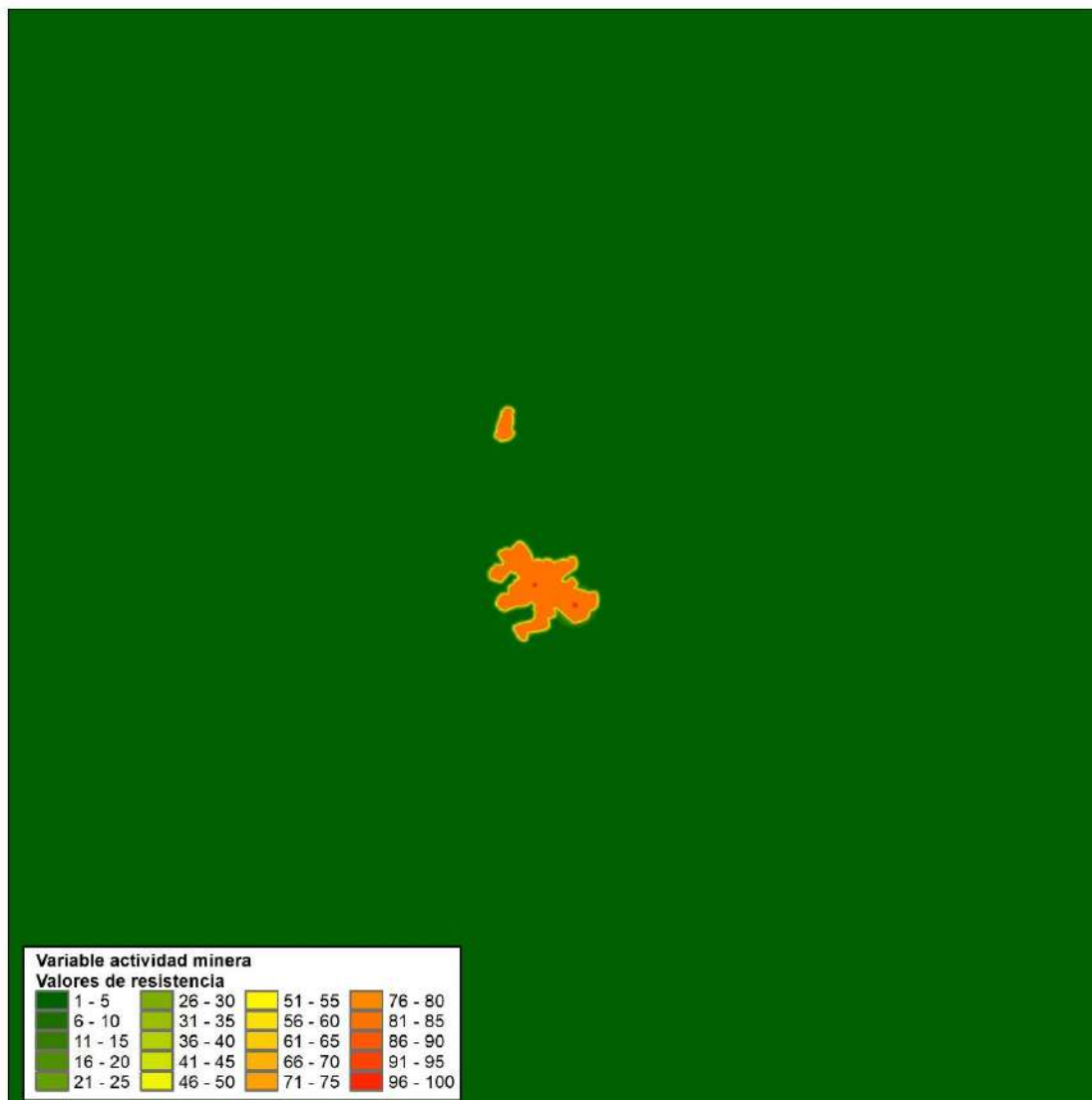


Figura 5.2.2.25. Representación esquemática de la variable actividades mineras

Fuente: Integral S.A., 2025

IV. Ponderación de variables

El proceso de ponderación de las variables bióticas y abióticas se hacen con el fin de darle un peso diferenciado a cada variable en cuanto a la importancia para las especies modeladas en el cálculo del ráster o matriz de resistencia total. Se le asigna un peso en porcentaje a cada variable individual dentro la variable principal (biótica o abiótica) y luego se les asignan los porcentajes a las variables principal. La variable con más peso en la calificación, para cada una de las especies, fue la variable biótica, pues esta variable se interpreta como los elementos naturales (en relación con cobertura natural) que pueden o no favorecer el movimiento de las especies objeto de estudio. [Por otro lado, las variables abióticas tuvieron variación de pesos para cada especie y esto se debió a la ecología de](#)

las especies y al efecto particular que ejercen las variables en su movimiento, siendo más restrictivo para la E2 al ser una especie de hábitos arborícolas en comparación con la E1 que es una especie de hábitos terrestres. Adicionalmente a lo anterior, también se hizo una diferenciación según la escala de modelación, lo anterior teniendo en cuenta los objetivos del análisis regional frente al análisis a escala local. La ponderación utilizada en la modelación a escala regional se muestra en la Tabla 5.2.2.15, y en la Tabla 5.2.2.16 se muestra la ponderación utilizada en la escala local, en la cual se evidencia un ajuste en los pesos para obtener mayor representatividad de los efectos locales.

Tabla 5.2.2.15 Ponderación para cálculo de matriz de resistencia total, escala regional

Variable	Nombre de la variable	Ponderación para la E1	Peso de la variable E1R	Ponderación para la E2	Peso de la variable E2
Biótica	NDVI	100%	60	100%	65
Abiótica	Vías	35%	40	28%	35
	Construcciones	20%		22%	
	Pendientes	10%		15%	
	Actividad Minera	35%		35%	

Fuente: Integral S.A., 2025

Tabla 5.2.2.16. Ponderación para cálculo de matriz de resistencia total, escala local

Variable	Nombre de la variable	Ponderación para la E1	Peso de la variable E1R	Ponderación para la E2	Peso de la variable E2
Biótica	NDVI	100%	60	100%	65
Abiótica	Vías	15%	40	15%	35
	Construcciones	15%		15%	
	Pendientes	40%		40%	
	Actividad Minera	30%		30%	

Fuente: Integral S.A., 2026

g. Matriz de resistencia total para los escenarios modelados (0SP, 1CPL y 2CPM)

El ráster o matriz de resistencia se obtiene a partir de la ponderación de las variables bióticas y abióticas seleccionadas y calificadas para cada especie objeto de estudio, constituyéndose en una representación espacial del grado de resistencia al movimiento. Para el escenario 0SP la matriz de resistencia refleja las condiciones actuales del territorio, mientras que para los escenarios 1CPL y 2CPM dichas condiciones fueron actualizadas y ajustadas incorporando los efectos de las actividades y obras del proyecto. Las matrices de resistencia totales se presentan más adelante en los escenarios analíticos sin proyecto (0SP), con proyecto licenciado (1CPL) y con proyecto de esta modificación de licencia (2CPM) en dos escalas de análisis: escala regional y escala local.

El esquema de la matriz de resistencia final OSP se muestra en la Figura 5.2.2.26 y en la figura Figura 5.2.2.27 para el escenario 1CPL y para el escenario 2CPM en la Figura 5.2.2.28.

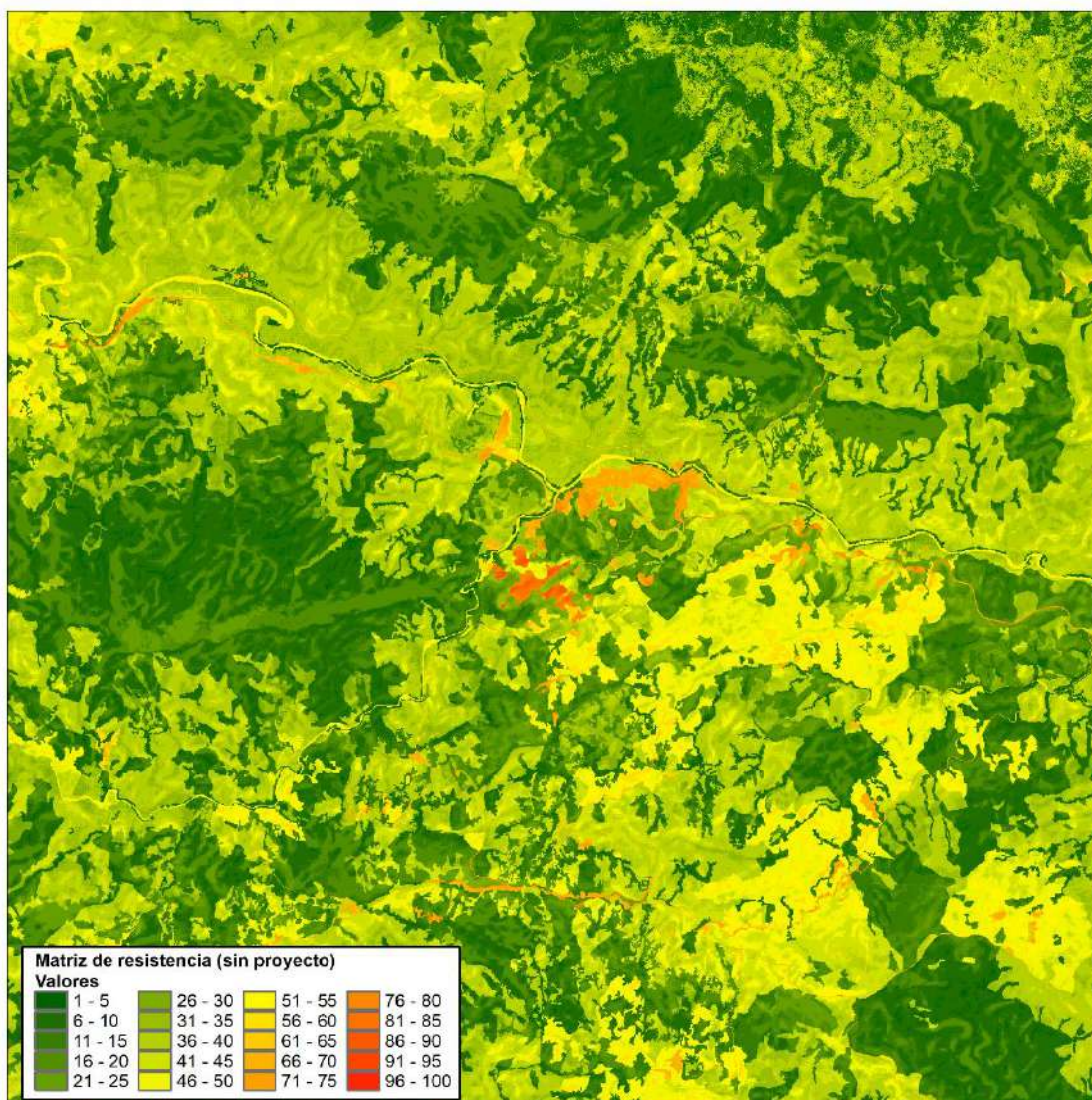


Figura 5.2.2.26. Representación esquemática de la matriz de resistencia en el escenario sin proyecto

Fuente: Integral S.A., 2026

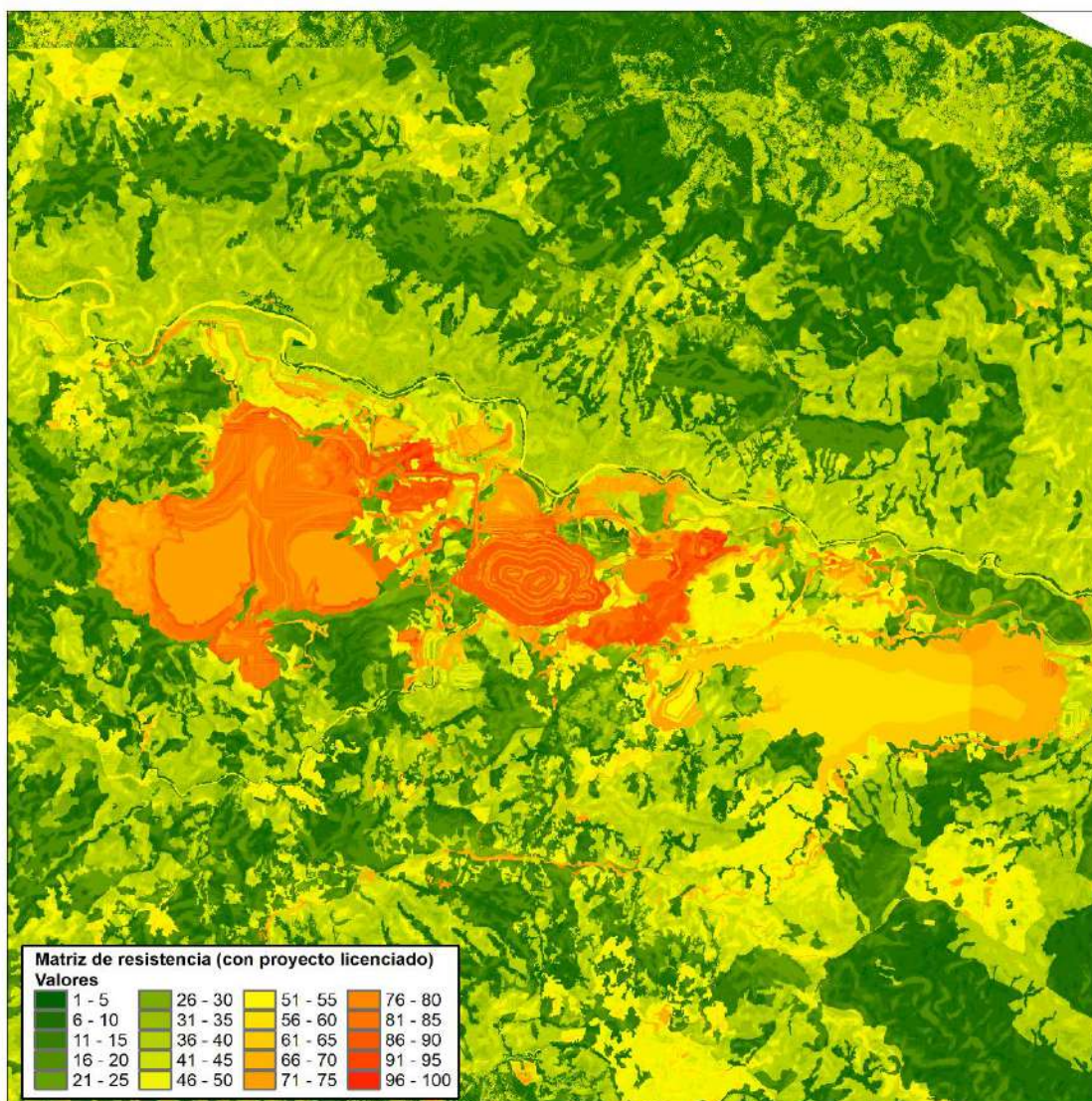


Figura 5.2.2.27. Representación esquemática de la matriz de resistencia en el escenario con proyecto licenciado 1CPL.

Fuente: Integral S.A., 2026

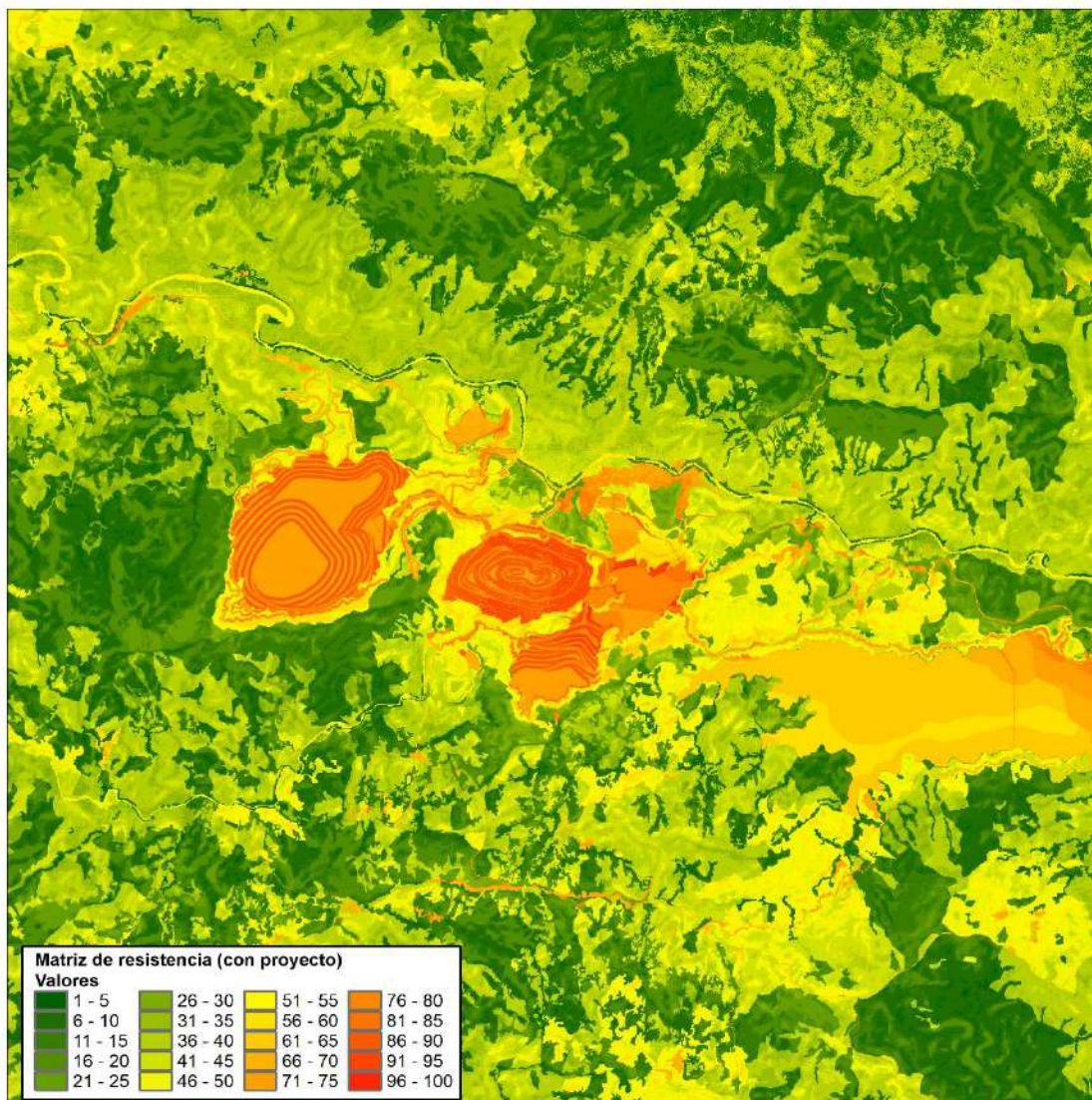


Figura 5.2.2.28. Representación esquemática de la matriz de resistencia en el escenario con proyecto modificación de licencia 2CPM.

Fuente: Integral S.A., 2026

h. Nodos focales para la modelación

En el modelo de matriz de parches, presentado por Forman y Godron en el 1981 (Forman, 1981), la estructura del paisaje se reduce a tres elementos principales: matriz, parche y corredor (Forman, 1981). La Matriz es el elemento más extenso y conectado del paisaje, el "tejido de fondo" que controla los procesos a gran escala, como la dinámica del paisaje, los parches son áreas relativamente homogéneas que contrastan con su entorno (la matriz) y son importantes para hábitats específicos y los corredores son franjas lineales de un tipo de hábitat diferente que conectan parches, facilitando el movimiento de organismos y el flujo de energía o nutrientes entre ellos (Forman, 1981).

Los parches representan áreas homogéneas de cierto tipo de cobertura o uso del suelo, con características propias, como forma o tamaño y funciones ecológicas, como el aislamiento de poblaciones. La disposición espacial de parches de diversos tipos de cobertura en el paisaje da como resultado una estructura paisajística característica también denominada mosaico de parches (Lausch, 2015). La matriz es el tipo de uso/cobertura terrestre de fondo dominante en un paisaje, y, por otro lado, los parches de coberturas afines al hábitat natural se consideran como “hábitat” y es, en esencia, un concepto específico de la especie (Lausch, 2015).

Estos parches de hábitat también se les conocen como “nodos” y se definen como aquellas vegetaciones con funciones y características ecosistémicas importantes que permiten el establecimiento y la reproducción de la fauna silvestre (Forman R. T., 1995a) (Forman R.T.T., 1995b). Estas son las únicas estructuras en un paisaje que sustentan poblaciones viables de la mayoría de las especies del interior, proporcionan hábitat esencial y cobertura de escape para la mayoría de los vertebrados de amplia distribución, y permiten regímenes de perturbación casi naturales. Estructuralmente los nodos presentan un área core o área núcleo que se considera vital para el mantenimiento de las especies de fauna y flora especialistas, cuyos nichos ecológicos tienen menor amplitud que los de las especies generalistas (Forman R.T.T., 1995b).

En una matriz heterogénea, donde los parches o nodos se encuentran aislados entre sí por efecto de la fragmentación, los parches toman tamaños y formas que pueden exponer a los organismos que permanecen en un fragmento aislado a las condiciones de la matriz circundante y, en consecuencia, se le denomina efecto de borde que es el resultado de la interacción entre dos ecosistemas adyacentes, cuando ambos están separados por una transición abrupta (borde). Los bordes pueden afectar a los organismos de un parche al provocar cambios en las condiciones bióticas y abióticas (Murcia C., 1995).

Lo anterior, determina la importancia de la elección de estos elementos para la modelación de la conectividad, es por ello por lo que los parches de coberturas de la tierra como bosque y vegetación secundaria se conformarán los nodos focales para la modelación. Para definir el área core de cada parche se requiere evaluar un borde. Para cada escenario, el efecto borde tendrá una distancia determinada al interior del fragmento a partir del cual los efectos del borde se reducen.

- **Insumos cartográficos para la elaboración de los nodos focales**

Para este análisis se definieron como “nodos” los elementos del paisaje que pueden ofrecer condiciones óptimas para el movimiento y el establecimiento de las especies objeto de estudio, que para esta modelación serán las coberturas de bosques, plantaciones, vegetaciones secundarias y los [bosques de galería y/o ripario asociados al Río Nus, Quebrada Guacas y Quebrada la Palestina, con el fin de conocer su funcionalidad dentro del área intervenida](#). Estos elementos se obtienen a partir de los insumos cartográficos imagen satélite, imagen Sentinel 2A y coberturas de la tierra del componente flora (ver el literal **a. Insumos cartográficos para la elaboración de la matriz de resistencia**).

Las coberturas del componente flora fueron obtenidas a partir de la fotointerpretación de la ortofoto del proyecto. La verificación de estas coberturas se llevó a cabo durante la fase de muestreo y caracterización de la flora. Para la clasificación, se aplicó la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, según lo establecido por el IDEAM (2010) Lo anterior se muestra en la Figura 5.2.2.29.

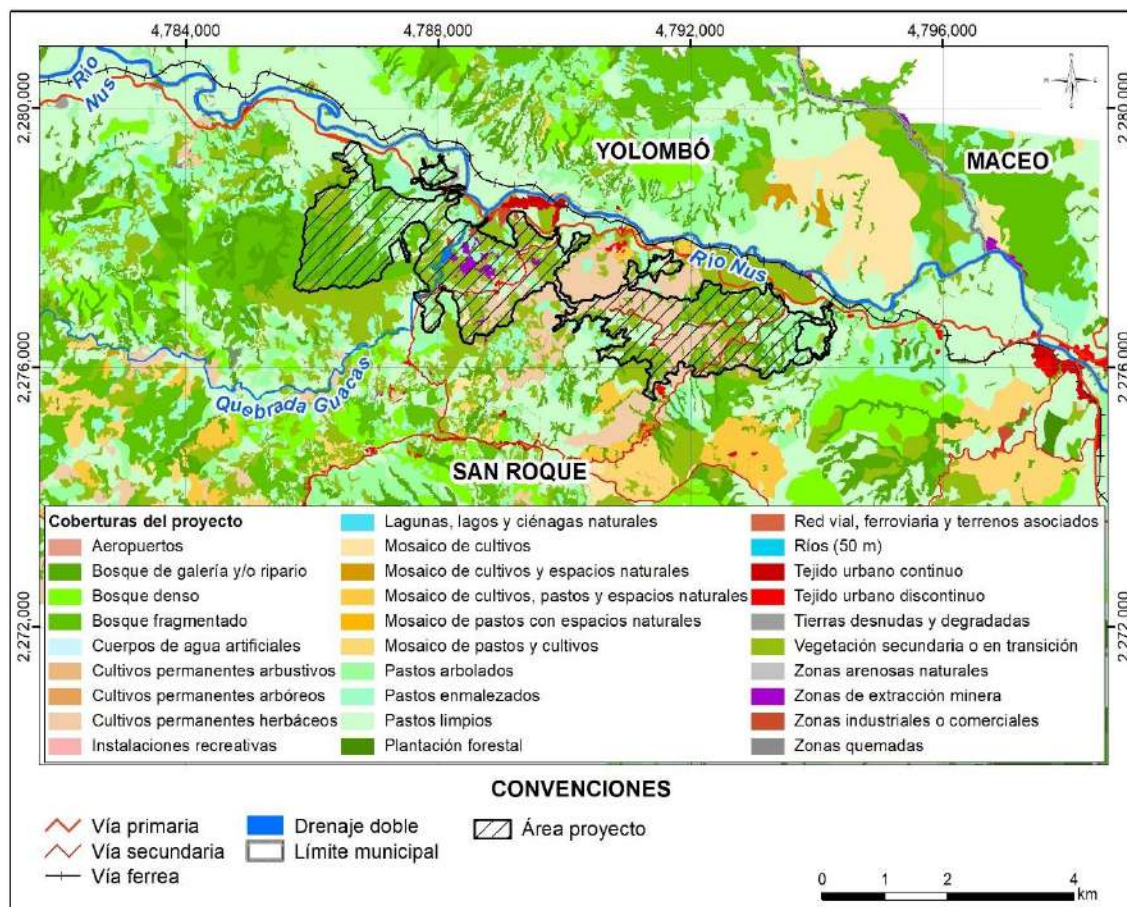


Figura 5.2.2.29. Coberturas de la tierra del proyecto Gramalote MEIA.

Fuente: Integral S.A., 2025

Para el análisis a escala regional, los nodos se obtuvieron a partir de la clasificación supervisada de la imagen de Sentinel 2A, es decir a partir de la homologación de las coberturas de la tierra, según los valores del NDVI o directamente digitalizadas sobre la imagen de satélite.

Finalmente, a los nodos, determinados a partir de la agregación de bosques, plantaciones y vegetación secundaria, se les determinó el área core teniendo en cuenta un efecto borde estandarizado de 50 m a partir del cual los efectos del borde se reducen (Matlack, G.R., 1993; Peña-Becerril, 2005). *Es importante aclarar, que a los bosques de galería y/o ripario asociados al Río Nus, Quebrada Guacas y Quebrada la Palestina, no se les realiza dicho efecto de borde. Esta excepción se hace para para mantener estos elementos en la red topológica de conectividad dada su importancia como corredores naturales en el territorio.*

En la Figura 5.2.2.30 se muestra el esquema de la elección de nodos y la aplicación del efecto borde y en las Figura 5.2.2.31 y Figura 5.2.2.32 se muestran los nodos y las coberturas naturales y seminaturales para las especies E1 y E2

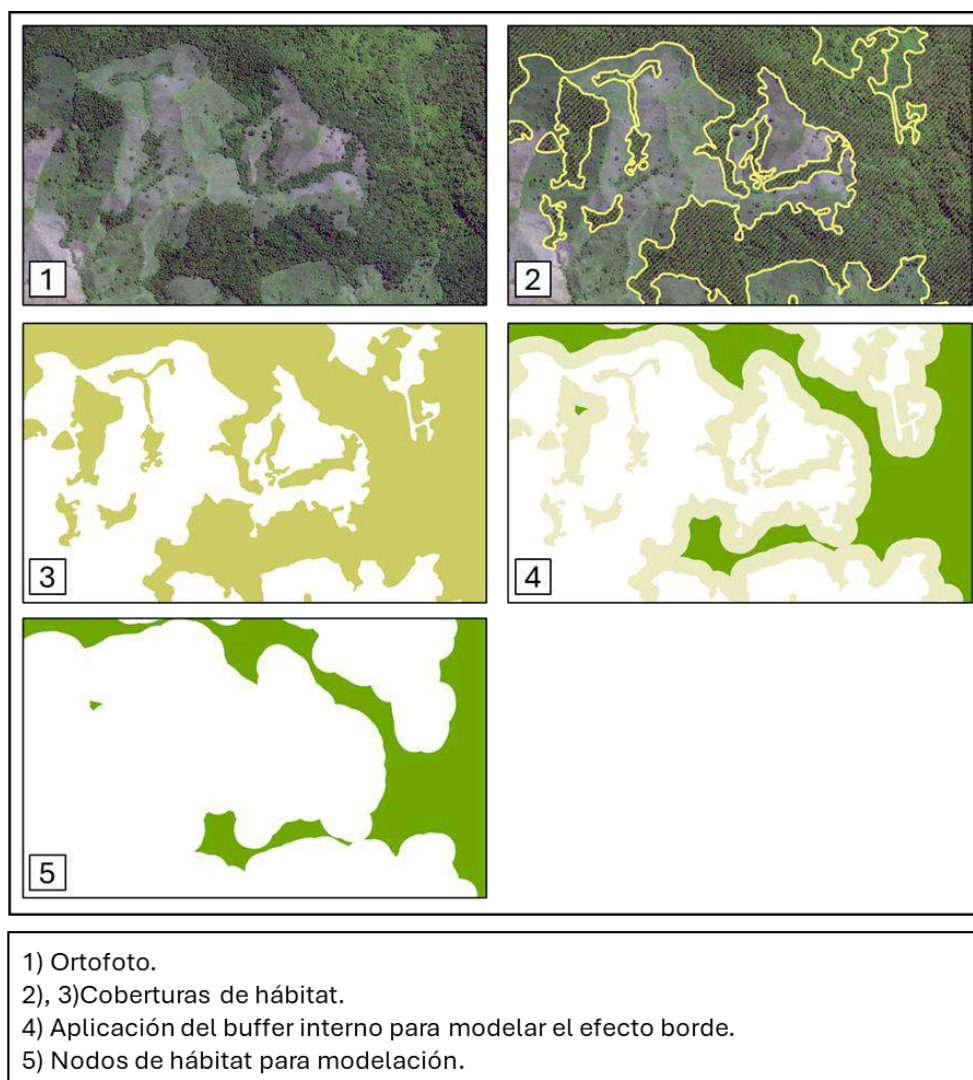


Figura 5.2.2.30. Nodos focales para la modelación regional y local

Fuente: Integral S.A., 2025

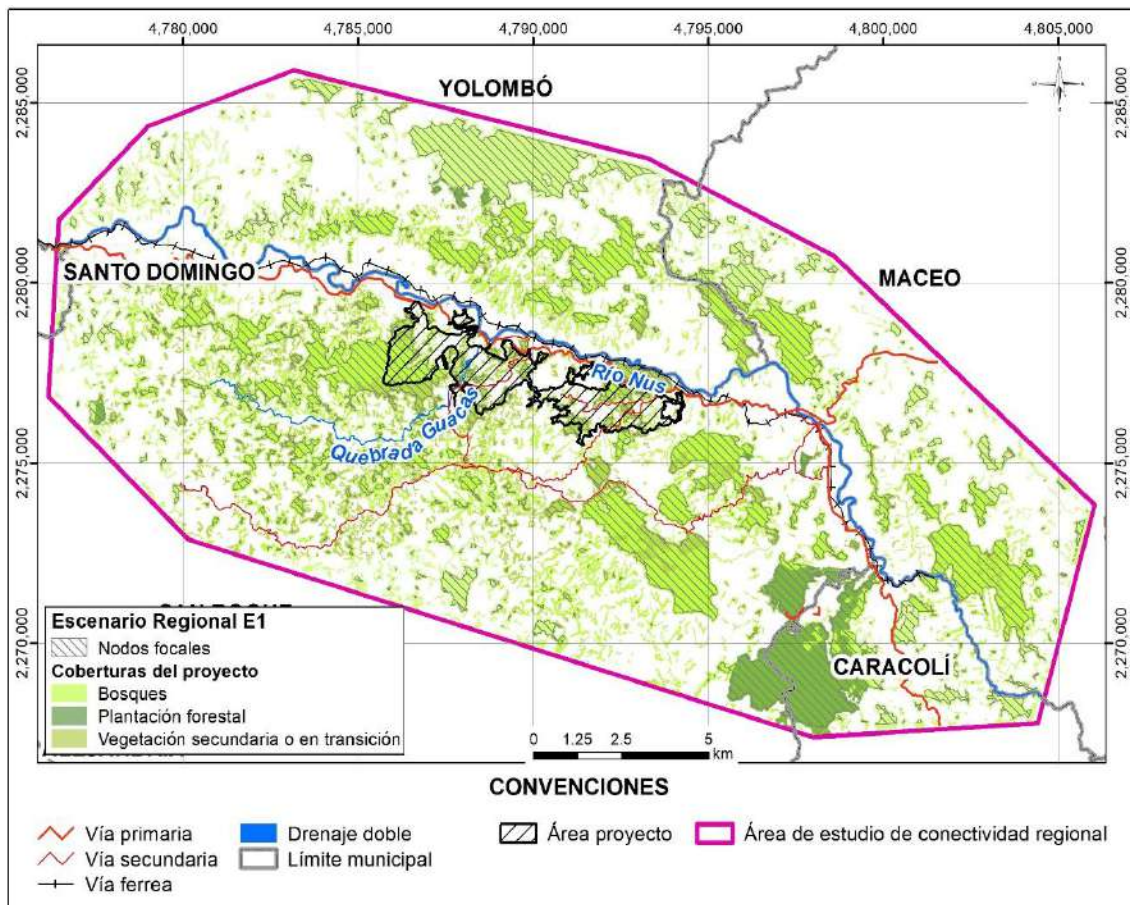


Figura 5.2.2.31. Nodos y coberturas naturales y seminaturales para la (E1) *Leopardus pardalis* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

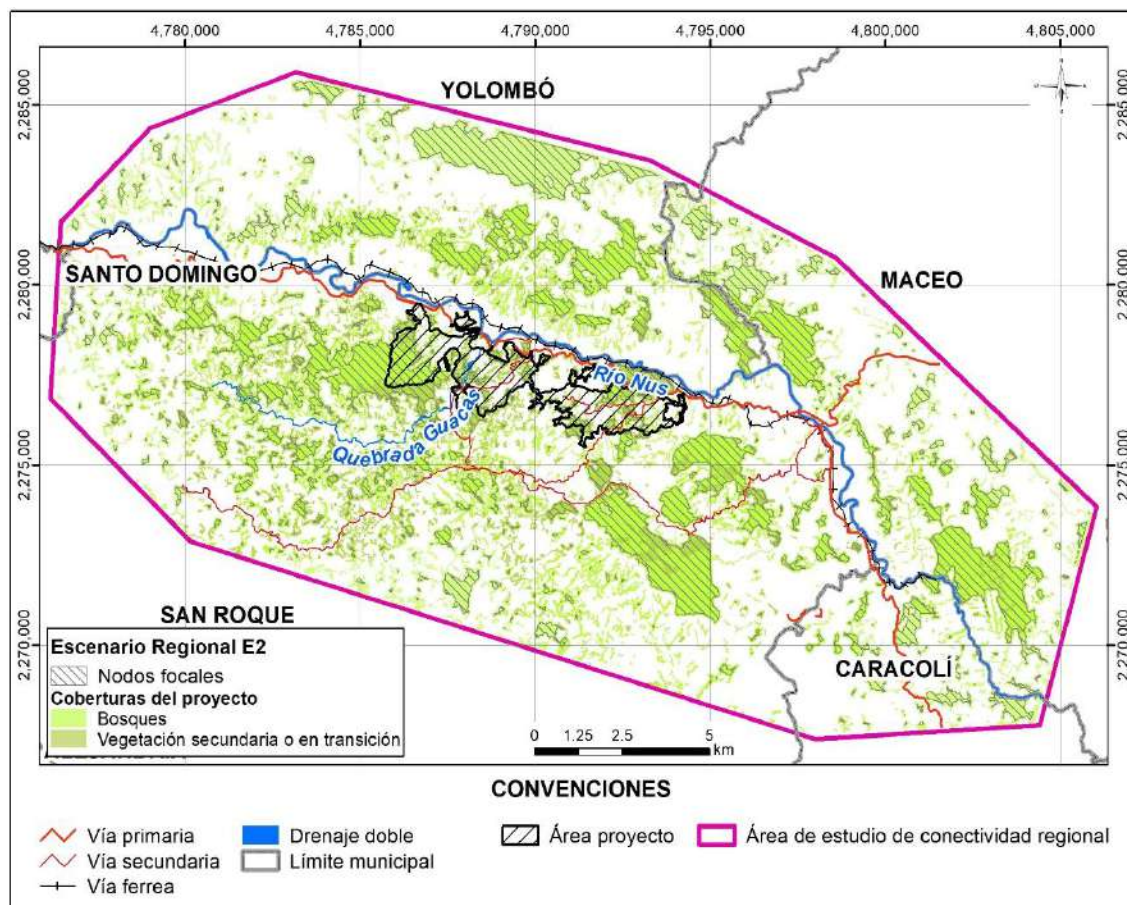


Figura 5.2.2.32. Nodos y coberturas naturales y seminaturales para la (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

i. Modelación de la conectividad funcional

A continuación, se describen los software e índices utilizados para la modelación de la conectividad.

I. Herramientas para la modelación de la conectividad funcional

- **Software Graphab 3.0**

El software Graphab 3.0 fue utilizado para estimar la conectividad del territorio por medio del cálculo de diferentes índices o métricas que describen las características de conectividad. Es fácilmente compatible con los sistemas de información geográfica SIG (Foltête JC, 2012).

El software Graphab y su conjunto de funciones sirve para construir grafos de paisaje y calcular métricas de conectividad. Un grafo es un conjunto de nodos (o vértices) y enlaces (o aristas) de modo que cada enlace conecta dos nodos; puede utilizarse para describir cuantitativamente un paisaje como un conjunto de parches (Jordán, 2003). Para el Graphab

los datos de entrada son un mapa de cobertura terrestre proporcionado por los usuarios como una capa ráster categorizada. Los nodos del grafo se definen a partir de las clases de cobertura terrestre correspondientes al hábitat óptimo de la especie en estudio. A partir de este conjunto de nodos, los usuarios pueden generar varios conjuntos de enlaces, controlando su topología (completa o planar) y el tipo de distancia espacial (euclidiana o de menor costo). En el caso de las distancias de menor costo, se asigna un valor de costo a cada clase de cobertura terrestre o, alternativamente, se carga un mapa ráster de costos externo. A partir del conjunto de nodos y un conjunto dado de enlaces, los usuarios definen un grafo que controla su topología eligiendo (o no) un umbral de distancia más allá del cual se eliminan los enlaces, creando así varios componentes (o subgrafos). Todos estos elementos se pueden representar fácilmente con una vista realista o topológica (Foltête J.-C., 2021).

- **Software Linkage Mapper**

El software Linkage Mapper (McRae B. H., 2014), se utilizó para determinar los corredores de costo y las zonas críticas (cuellos de botella).

La identificación de los corredores de menor costo en la red de conectividad se realizó mediante la herramienta Linkage Mapper, la cual permite analizar y representar espacialmente las rutas potenciales de desplazamiento de las especies entre áreas núcleo de hábitat, a partir de superficies de resistencia al movimiento.

Para este análisis se emplearon como insumos los mapas SIG de áreas núcleo (área core) y las matrices de resistencia, elaboradas de manera diferenciada para cada especie evaluada. En dichas matrices, a cada celda del territorio se le atribuye con un valor que refleja el "costo" energético (es decir, dificultad y riesgo de mortalidad) de moverse a través de esa celda. Los valores de resistencia generalmente se determinan por características de la celda, como la cobertura del suelo o la densidad de viviendas, combinadas con modelos de resistencia del paisaje específicos de la especie. A medida que los animales se alejan de áreas core específicas, los análisis de distancia ponderada por costo producen mapas de la resistencia total al movimiento acumulada (McRae BH, 2011).

Linkage Mapper, calcula superficies de distancia acumulada ponderada por costo, las cuales representan la resistencia total que un individuo encontraría al desplazarse desde un área núcleo a través del paisaje. A partir de estas superficies, la herramienta identifica los enlaces de menor costo acumulado entre parches de áreas núcleo, los cuales corresponden a corredores teóricos que minimizan el costo total de desplazamiento y, por tanto, representan las rutas más favorables para la conectividad funcional del paisaje.

Las zonas críticas para la conectividad del paisaje se identificaron mediante la herramienta Pinchpoint Mapper, la cual permite localizar y representar espacialmente los puntos de estrangulamiento o cuellos de botella dentro de los enlaces de conectividad modelados. Esta herramienta se basa en el análisis de flujo de corriente derivado de superficies de resistencia, lo que permite identificar y mapear los puntos de estrangulamiento (cuellos de botella) dentro de los enlaces. Los puntos de cuellos de botella representan áreas donde el movimiento se canalizaría y, por lo tanto, puede ser particularmente importante su mantenimiento. El mapa Pinchpoint identifica regiones donde la pérdida de una pequeña área podría comprometer seriamente la conectividad del paisaje (McRae BH. , 2012).

j. Índices

Los índices utilizados en este estudio para estimar la estimación de la conectividad se describen a continuación.

I. Probabilidad de Conectividad (PC):

El índice de probabilidad de conectividad (PC) es un indicador global de conectividad funcional basado en el concepto de disponibilidad de hábitat y en un modelo probabilístico de conexiones entre parches (Saura S. P.-H. L., 2007).

Fórmula

$$PC = \frac{1}{A^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j e^{-\alpha d_{ij}}$$

Ecuación 5.2.2.2. Formula de Probabilidad de Conectividad (PC).

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado Integral S.A., 2025

Donde:

n = número total de parches

a_i, a_j = área (o atributo ponderado de hábitat, como calidad, capacidad de carga, idoneidad) de los parches i y j

p_{ij}^* = probabilidad máxima de conexión entre los parches i y j , considerando el mejor camino posible (producto de probabilidades de cada paso)

AL = área total del paisaje (hábitat + matriz)

Propiedades principales (Saura S. P.-H. L., 2007):

- Está normalizado entre 0 y 1.
- Integra simultáneamente cantidad de hábitat y conectividad funcional en una sola métrica.
- Usa un modelo probabilístico de dispersión (no binario), lo que permite representar mejor la factibilidad de movimiento entre parches en función de la distancia o del costo del desplazamiento.
- Cumple sistemáticamente con todas las propiedades deseables para un índice de conectividad aplicado a la planificación del paisaje (sensibilidad a la fragmentación, detección de parches clave, respuesta consistente a pérdida de hábitat, etc.).

II. Delta de Probabilidad de Conectividad (dPC):

El dPC es la versión nodal del índice PC. Mide la importancia relativa de cada parche en la conectividad total del paisaje (Saura S. P.-H. L., 2007).

$$dPC_k = \frac{PC - PC_{remove(k)}}{PC} = 100 \times \frac{\Delta PC_K}{PC}$$

Ecuación 5.2.2.3. Fórmula del delta de probabilidad de conectividad

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado Integral S.A., 2025

Donde:

PC = valor global de conectividad del paisaje con todos los parches.

$PC_{remove(k)}$ = valor del índice global recalculado al eliminar el parche k .

Propiedades principales (Saura S. P.-H. L., 2007):

- Cuantifica el porcentaje de conectividad global que se pierde si desaparece un parche.
- Valores altos: parches críticos para la conectividad (stepping stones, corredores clave).
- Valores bajos: parches con contribución marginal.
- La suma de dPC puede superar el 100%, ya que múltiples parches pueden ser simultáneamente críticos en diferentes caminos de la red.

III. Fracciones de delta Probabilidad de conectividad (dPC_{intra} , $dPC_{i,flux}$, $dPC_{i,connector}$).

Los valores de dPC_k se pueden dividir en tres fracciones distintas, considerando las diferentes maneras en que un determinado elemento del paisaje k (parche o enlace) puede contribuir a la conectividad y disponibilidad del hábitat en el paisaje:

$$dPC_i = \frac{PC - PC'_i}{PC} = dPC_{i,intra} + dPC_{i,flux} + dPC_{i,connector}$$

Ecuación 5.2.2.4. Fórmula fracciones del delta de probabilidad de conectividad

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado Integral S.A., 2025

Donde:

dPC_i es la tasa de variación entre el valor del índice PC y el valor de PC' correspondiente a la eliminación del parche i .

• dPC_{intra}

Es la fracción del índice que mide la contribución del parche k en términos de conectividad intraparche (área disponible dentro del propio parche) (Saura S. R. L., 2010).

Propiedades principales (Saura S. R. L., 2010):

- Representa el aporte del parche por su propia superficie (o atributo), independientemente de su conexión con otros parches.
- No depende de la distancia de dispersión ni de la posición en la red.
- Es constante incluso si el parche está completamente aislado.

- Equivale a métricas basadas en área ponderada (p. ej., tamaño medio ponderado de parche).

- **dPCi,flux**

Es la fracción que cuantifica el flujo de dispersión ponderado por área entre el parche k y todos los demás parches (cuando k es origen o destino) (Saura S. R. L., 2010).

Propiedades principales (Saura S. R. L., 2010):

- Depende tanto del tamaño del parche como de su grado de conexión con otros parches.
- Aumenta con la capacidad de dispersión de la especie y con la posición estratégica del parche en la red.
- No considera el papel del parche como intermediario, solo como origen o destino del flujo.
- Similar a índices de flujo dispersivo, pero incorpora probabilidades máximas de conexión.

- **dPCconnector(k)**

Es la fracción que mide la contribución del parche o enlace k como elemento conector o “stepping stone” entre otros parches (Saura S. R. L., 2010).

Propiedades principales (Saura S. R. L., 2010):

- Depende exclusivamente de la posición topológica en la red, no del tamaño ni calidad del parche.
- Captura el papel crítico de parches y enlaces en rutas óptimas de dispersión.
- Valores altos: elementos que, al desaparecer, rompen rutas clave entre parches importantes.
- Es la única fracción aplicable también a enlaces (corredores sin hábitat).

IV. Índice Integral de Conectividad (IIC)

El IIC (Integral Index of Connectivity en inglés) es un índice global de conectividad estructural que combina en una sola medida la cantidad de hábitat disponible (área de los parches) y la conectividad entre dichos parches en la red ecológica (Saura S. P.-H. L., 2007).

$$IIC = \frac{1}{A^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i a_j}{1 + nl_{ij}}$$

Ecuación 5.2.2.5. Ecuación del Índice Integral de Conectividad (IIC)

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado Integral S.A., 2025

Donde:

n = número de parches del paisaje.

a_i, a_j = áreas (o capacidades) de los parches i y j

n_{ij} = longitud del camino topológico más corto (número mínimo de enlaces) entre i y j .

AL = área total del paisaje (suma de las áreas de todos los parches).

Características principales:

- Está normalizado entre 0 y 1.
- Refleja la probabilidad de que dos puntos tomados al azar en el paisaje estén en parches funcionalmente conectados.
- Aporta una interpretación robusta bajo el concepto de hábitat disponible: incluso un parche aislado contribuye al índice mediante su propia área.
- Fue identificado por (Saura S. P.-H. L., 2007) como el único índice “ideal” entre los evaluados, por reaccionar de manera consistente a la pérdida de hábitat o de enlaces y por discriminar adecuadamente la importancia relativa de distintos cambios en el paisaje.

V. Índice Delta del Índice Integral de Conectividad (dIIC)

El dIIC (delta IIC) es un índice de importancia nodal, que cuantifica la contribución individual de cada parche a la conectividad global del paisaje (Saura S. P.-H. L., 2007).

$$dIIC = IIC - \frac{IIC_{remove(k)}}{IIC}$$

Ecuación 5.2.2.6. Ecuación del delta del índice Integral de Conectividad (IIC)

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado Integral S.A., 2025

Donde:

$dIIC_k$ = delta de Conectividad Integral del elemento

IIC = índice global (IIC) calculado con todos los parches.

$IIC_{remove(k)}$ = índice global recalculado tras eliminar el parche k y sus conexiones.

Características principales:

- Indica la proporción de conectividad global que se pierde al eliminar un nodo.
- Valores altos señalan parches estratégicos cuya conservación es crítica para la red.
- Es útil para jerarquizar e identificar los parches según su aporte a la conectividad estructural.

VI. Índice de correlación de conectividad (CCor)

Índice de correlación de conectividad (compartimentalización) mide la relación entre el grado de un nodo (número de conexiones) y el grado promedio de sus nodos vecinos (Minor Emily, 2008)

$$CCor_i = \frac{|N_i|^2}{\sum_{j \in N_t} |N_j|}$$

Ecuación 5.2.2.7. Ecuación del Índice de correlación de conectividad (CCor)

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado Integral S.A., 2025

Donde:

N_i : grado del nodo

N_j : grado de parches vecinos

Si $|N_i|$ es igual a 0 entonces $CCor_i$ es igual a 0

Propiedades principales:

- Indica el patrón de asociación entre parches altamente conectados y sus vecinos.
- Valores altos: parches con muchos enlaces tienden a estar rodeados por parches también bien conectados (agrupamiento de hubs).
- pocos enlaces (patrón compartimentado).
- Alta compartimentación (valores negativos) puede ralentizar el movimiento a través de la red y aislar efectos de perturbaciones, aumentando la robustez frente a la propagación de enfermedades o invasiones.
- Valores positivos implican agrupación de hubs, lo que favorece la dispersión, pero puede facilitar la propagación rápida de disturbios.

VII. Conectividad Equivalente (EC)

Raíz cuadrada de la suma de los productos de capacidad de todos los pares de parches ponderados por su probabilidad de interacción (Saura S. R. L., 2010).

$$EC = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j e^{-\alpha d_{ij}}}$$

Ecuación 5.2.2.8. Ecuación del Índice Conectividad Equivalente (EC)

Fuente: (Foltête J.-C., 2021), modificado Integral S.A., 2025

Donde:

ECA (o EC) área conectada equivalente, definida como el tamaño de un único parche máximamente conectado que proporcionaría la misma probabilidad de conectividad que el patrón real de hábitat en el paisaje.

Propiedades principales (Saura S. R. L., 2010):

- Deriva del índice PC, pero expresado en unidades de área, lo que facilita su interpretación y comparación con cambios en la superficie de hábitat.
- Integra conectividad intraparche (dentro de cada parche) e interparche (entre parches), considerando tanto el área como la probabilidad de conexión entre ellos.
- Valores altos: paisajes con alta conectividad funcional, equivalentes a grandes parches continuos o redes muy bien conectadas.
- Valores bajos: paisajes fragmentados con baja conectividad funcional.
- Permite evaluar la eficiencia de los cambios espaciales: si nuevas áreas actúan como corredores o stepping stones, el incremento en ECA será mayor que el incremento en área ($dECA > dA$).

- Puede calcularse para atributos distintos al área (p. ej., calidad de hábitat, tamaño poblacional), denominándose en general EC (Equivalent Connectivity).
- Cuando todo el hábitat está en un solo parche o existe conectividad máxima ($p_{ij} = 1$), ECA coincide con el área total de hábitat.

k. Relación entre distancia y costo para las modelaciones

Para las modelaciones locales para los tres escenarios analíticos se utilizaron los valores de movilidad de referencia (en metros) como el desplazamiento de cada especie para el truncado de los enlaces (distancia euclidiana), lo cual permitirá obtener resultados consecuentes con la ecología de las especies, específicamente con sus patrones de movilidad.

En complemento al truncamiento de enlaces por distancia euclidiana, las herramientas modernas para la estimación de la conectividad (como Graphab 3.0) permiten además realizar el truncamiento en costo. Truncar en función del costo permite incluir el efecto de la matriz de resistencia en definición de las rutas de mínimo costo.

Para determinar el valor de truncamiento de los enlaces en unidades de costo se utiliza la herramienta de conversión de Graphab para tal efecto. Esta herramienta realiza una estadística con base a la relación de distancia euclidiana y distancia en costo de todos los enlaces en una determinada área de estudio que, para este caso, consistió en una modelación de puntos origen-destino a lo largo del área de estudio de conectividad local en el escenario sin proyecto (Ver Figura 5.2.2.33).

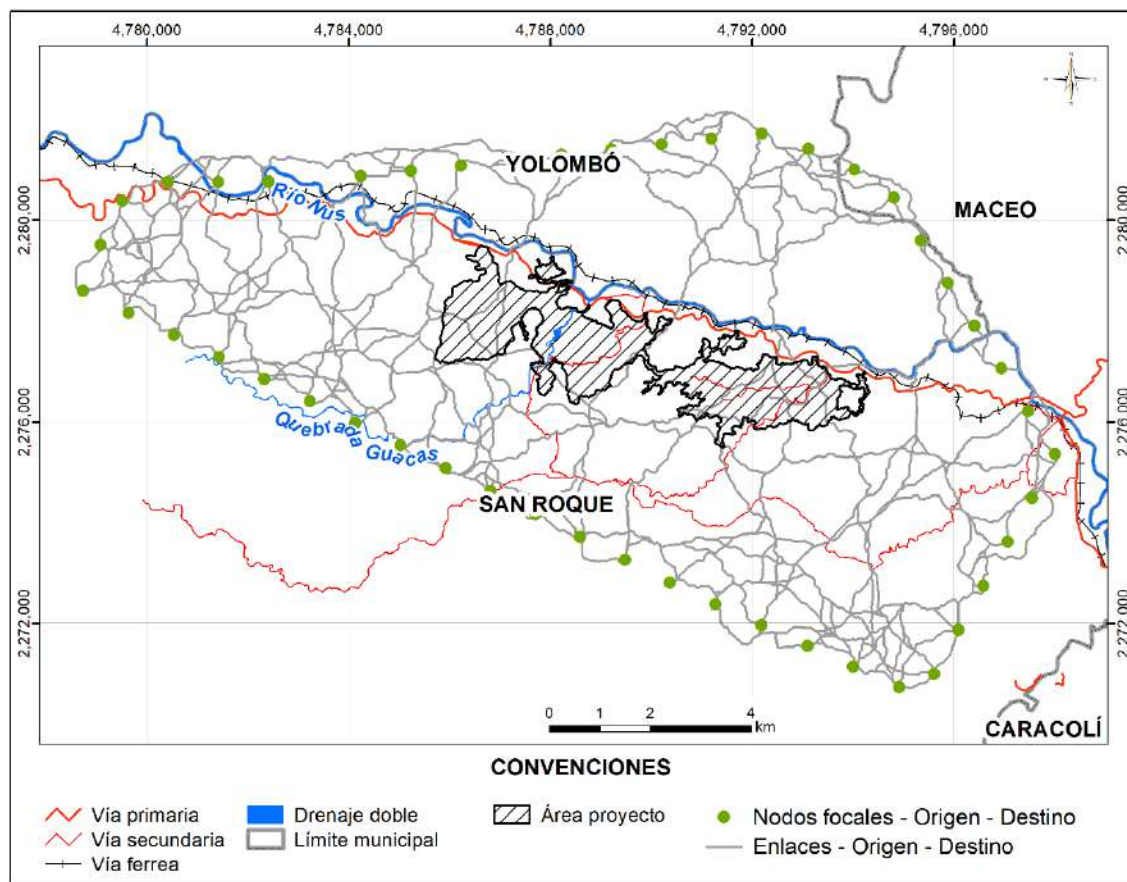


Figura 5.2.2.33. Red de conectividad realista para el análisis origen destino de conversión de unidades.

Fuente: Integral S.A., 2026

Los datos de desplazamiento de las especies para el truncamiento se tomaron a partir de información ecológica disponible para las especies, registrando para el tigrillo E1 *L. pardalis* un rango de desplazamiento diario entre 1,8 a 7,6 kilómetros (Sunquist M.E., Sunquist F., 2002) y para el tití E2 *O. leucopus* un rango de desplazamiento diario entre 783-2387 metros (Poveda K. & Sánchez P., 2004). Como los valores están en un rango para el truncado se elige el menor valor del rango de desplazamiento y se trunca con un valor de 1,5 (ver la Tabla 5.2.2.17).

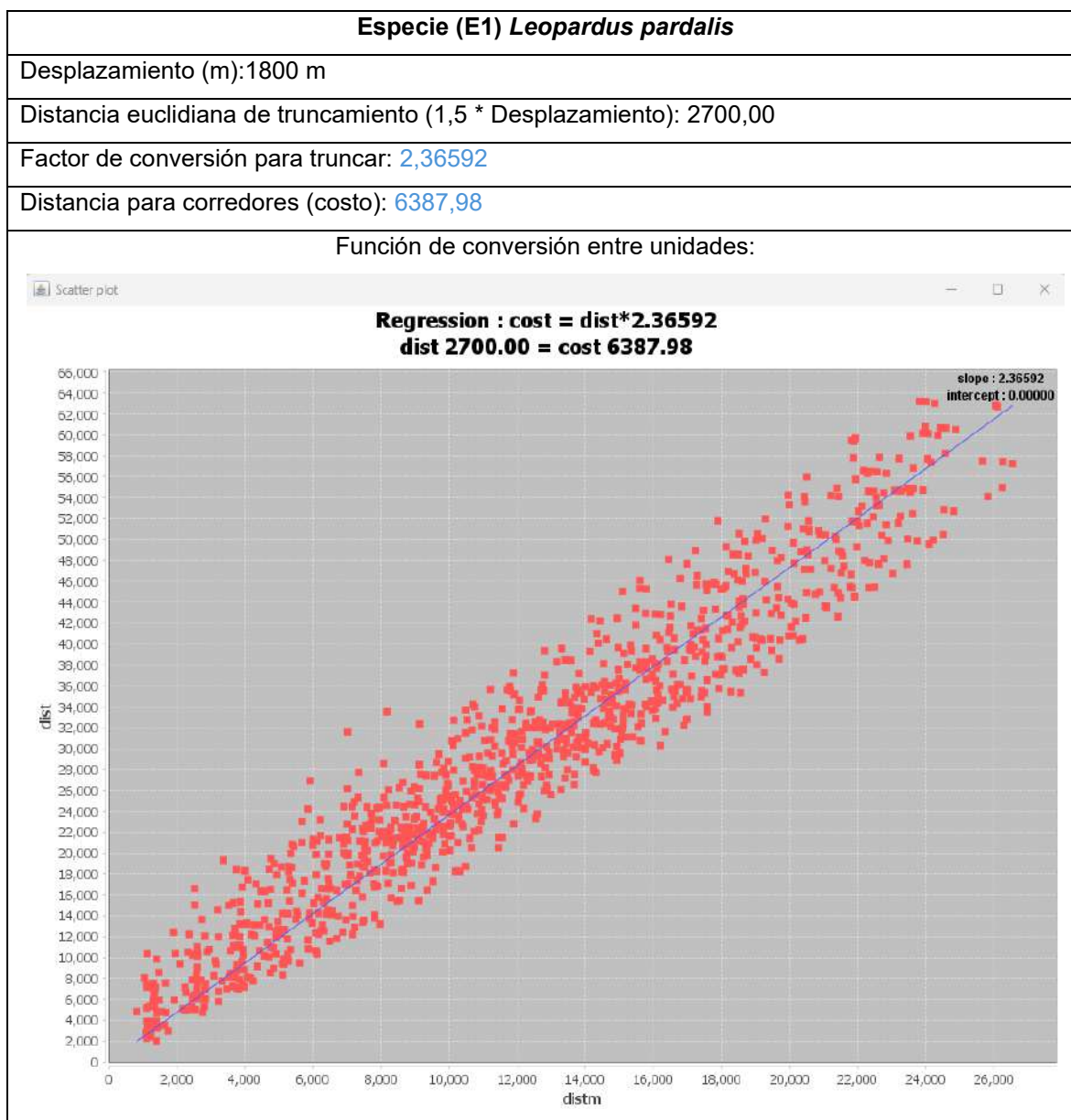
Tabla 5.2.2.17. Datos de desplazamiento diario disponibles para la especie E1 y E2

Nombre científico	Nombre común	Datos de Movimiento (desplazamiento)	Desplazamiento en metros (m)	Desplazamiento (m) * factor de truncado 1,5
<i>Leopardus pardalis</i>	Tigrillo u ocelote	1,8-7,6 km diarios	1800	2700,00
<i>Oedipomidas leucopus</i>	Tití gris o tamarín	783-2387 m diarios	783	1174,50

Fuente: Integral S.A., 2025

En las Tabla 5.2.2.18 y Tabla 5.2.2.19 se presentan los resultados de la herramienta de conversión para cada una de las especies:

Tabla 5.2.2.18. Cálculos de corredores de costo para la E1) *Leopardus pardalis*



Fuente: Integral S.A., 2026

Tabla 5.2.2.19. Cálculos de corredores de costo para la E2 *Oedipomidas leucopus*

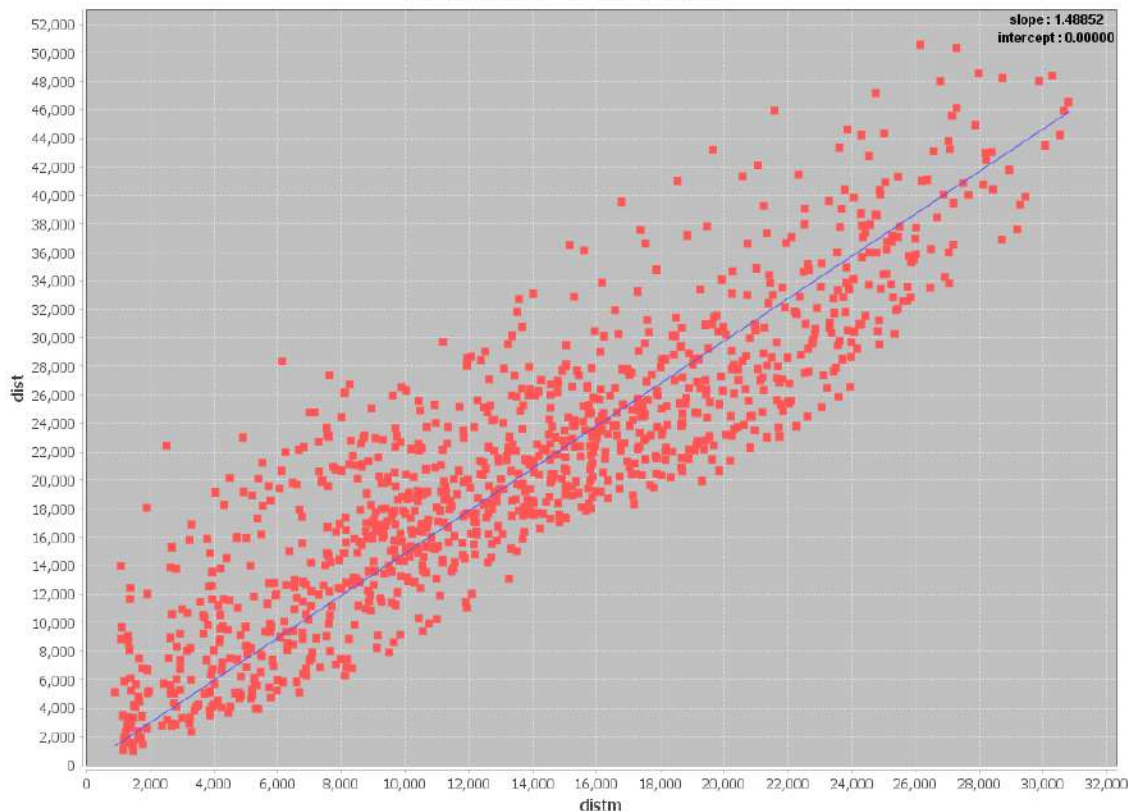
Especie (E2) <i>Oedipomidas leucopus</i>
Desplazamiento (m): 783 m
Distancia euclidiana de truncamiento (1,5 * Desplazamiento): 1174,50

Factor de conversión para truncar: 1,48852

Distancia para corredores (costo): 1748,26

Función de conversión entre unidades:

Regression : cost = dist*1.48852
dist 1174.50 = cost 1748.26



Fuente: Integral S.A., 2026

I. Resultados modelación de escenarios analíticos

A continuación, se presentan los resultados de las matrices de resistencia y de la red topológica de conectividad para las dos escalas de análisis: regional y local. Para el área de estudio a escala regional se incluyen los resultados de índices utilizados para la estimación de la conectividad: Delta de Probabilidad de Conectividad (dPC), Delta del Índice Integral de Conectividad (dIIC) y el Índice de Correlación de Conectividad (CCor). Este último se presenta para los tres escenarios analíticos: sin proyecto (0SP), con proyecto licenciado (1CPL) y con el proyecto correspondiente a la presente modificación de licencia (2CPM).

De igual forma, para el área de estudio a escala local se presentan los resultados de los siguientes índices: Probabilidad de Conectividad (PC), Delta de Probabilidad de Conectividad (dPC), Fracciones del Delta de Probabilidad de Conectividad (dPCintra, dPCiflux y dPCconnector), Índice Integral de Conectividad (IIC), Delta del Índice Integral de Conectividad (dIIC), Índice de Correlación de Conectividad (CCor) y el Índice de

Conectividad Equivalente. Estos resultados también se muestran para los escenarios sin proyecto (0SP), con proyecto licenciado (1CPL) y con el proyecto de la modificación de licencia (2CPM).

En términos generales, la segmentación para la identificación de los elementos relevantes para la conectividad se realizó mediante el método Natural Breaks (Jenks), un algoritmo de clasificación estadística diseñado para agrupar valores con comportamientos similares y maximizar las diferencias entre grupos o clases (Smith M., 2023). Este enfoque identifica puntos de quiebre naturales en la distribución de los datos, minimizando la variabilidad interna dentro de cada clase y maximizando la variabilidad entre clases. Como resultado, el método proporciona una representación más realista, robusta y estadísticamente consistente de los patrones subyacentes en los datos, lo que favorece una interpretación más precisa de los elementos que influyen en la conectividad ecológica, al identificar claramente aquellos datos que sobresalen de la muestra estadística.

I. Resultados de la modelación del área de conectividad regional

Para el análisis a escala regional, se presentan las matrices de resistencia, así como los resultados de la red de conectividad teórica y sus índices de conectividad, correspondientes a la especie E1 *Leopardus pardalis* y a la especie E2 *Oedipomidas leucopus*.

i. Matriz de resistencia

A continuación, se presenta la calificación de las variables bióticas y abióticas y la matriz de resistencia final para la especie E1 *L. pardalis* y la especie E2 *O. leucopus* en el escenario sin proyecto 0SP.

- Variable biótica

En la Figura 5.2.2.34 y Figura 5.2.2.35 se muestra la espacialización de la variable biótica NDVI para las especies E1 y E2. También se espacializa la localización del proyecto para una mejor ubicación geográfica.

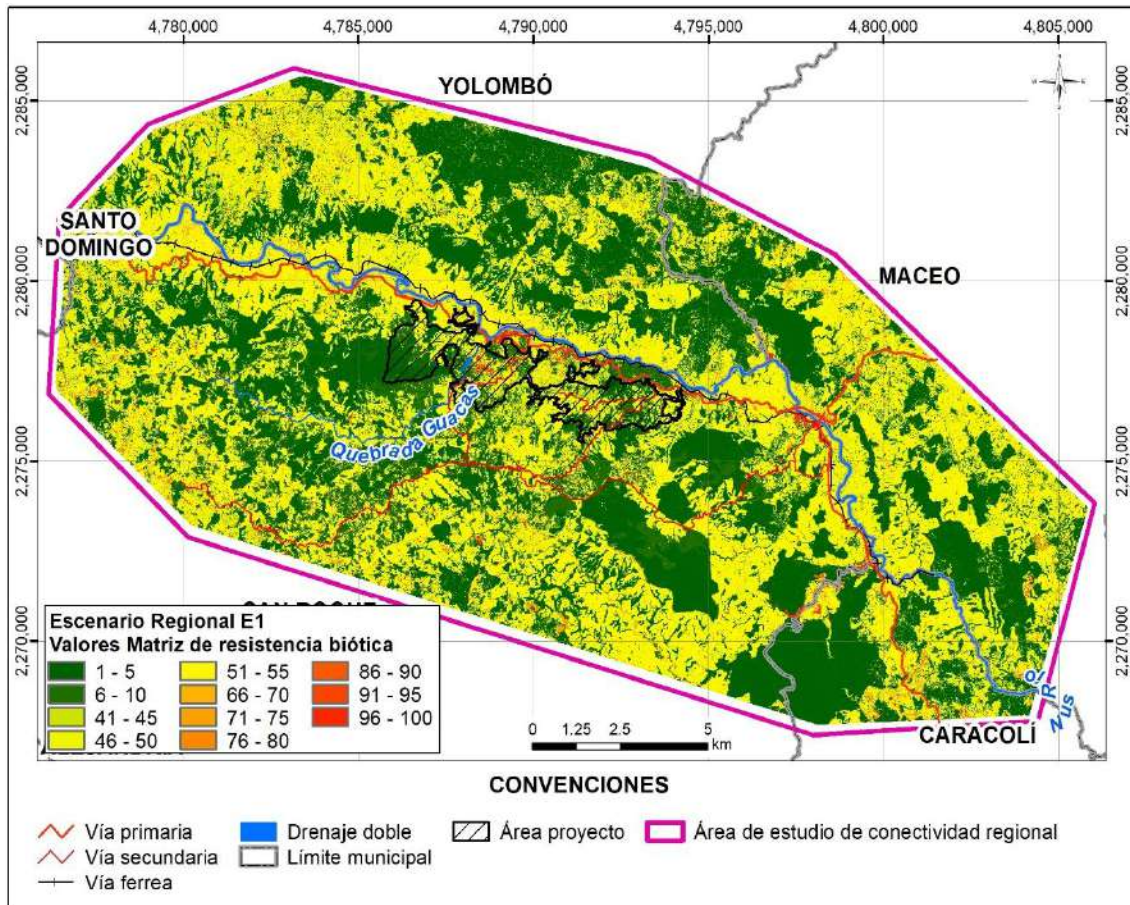


Figura 5.2.2.34. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E1) *Leopardus pardalis* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

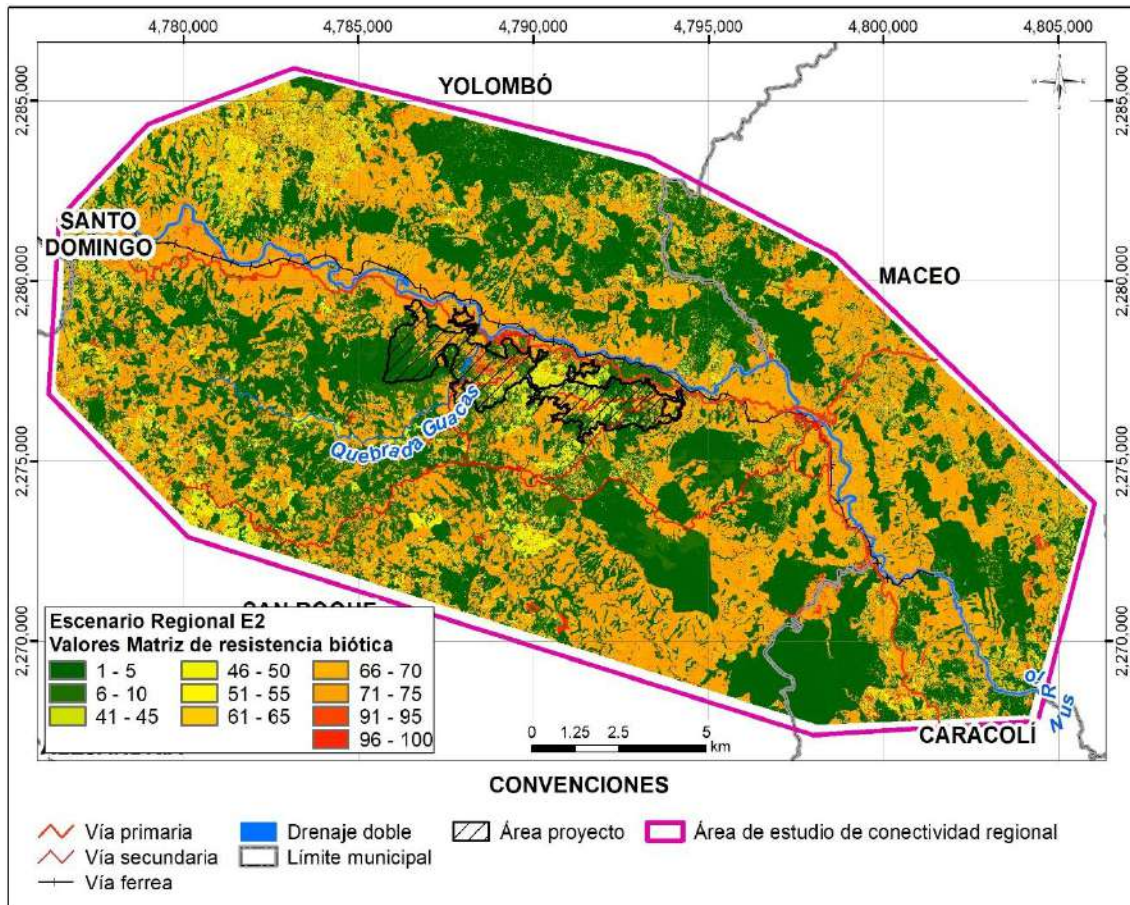


Figura 5.2.2.35. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

- Variables abióticas
 - **Variable Construcciones**

En la Figura 5.2.2.36 y Figura 5.2.2.37 se muestra la espacialización de la variable abiótica construcciones para las especies E1 y E2. También se espacializa la localización del proyecto para ubicación geográfica. La calificación muestra los elementos más restrictivos en amarillo, naranja y rojo que son precisamente las construcciones, mostrando como la restricción disminuye cuando se aleja de esos elementos por la función de atenuación.

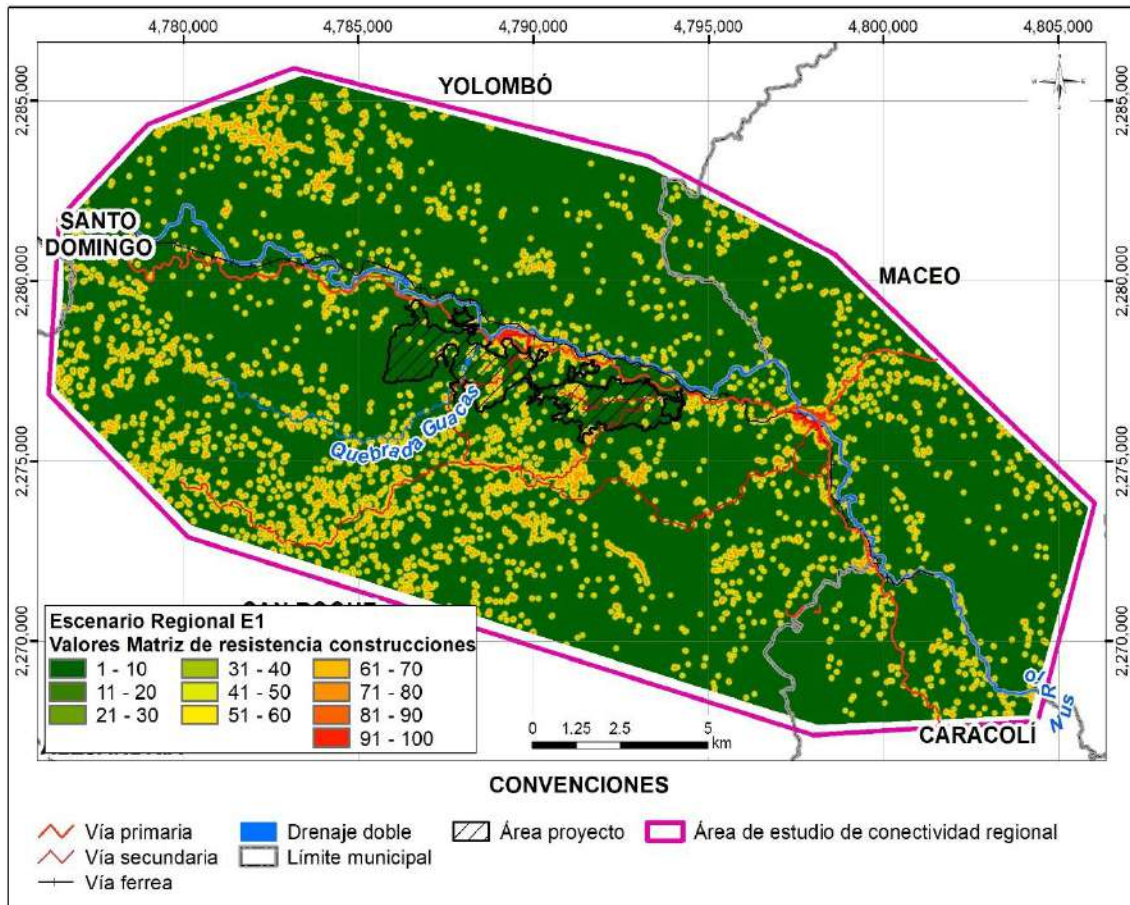


Figura 5.2.2.36. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E1) *Leopardus pardalis* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

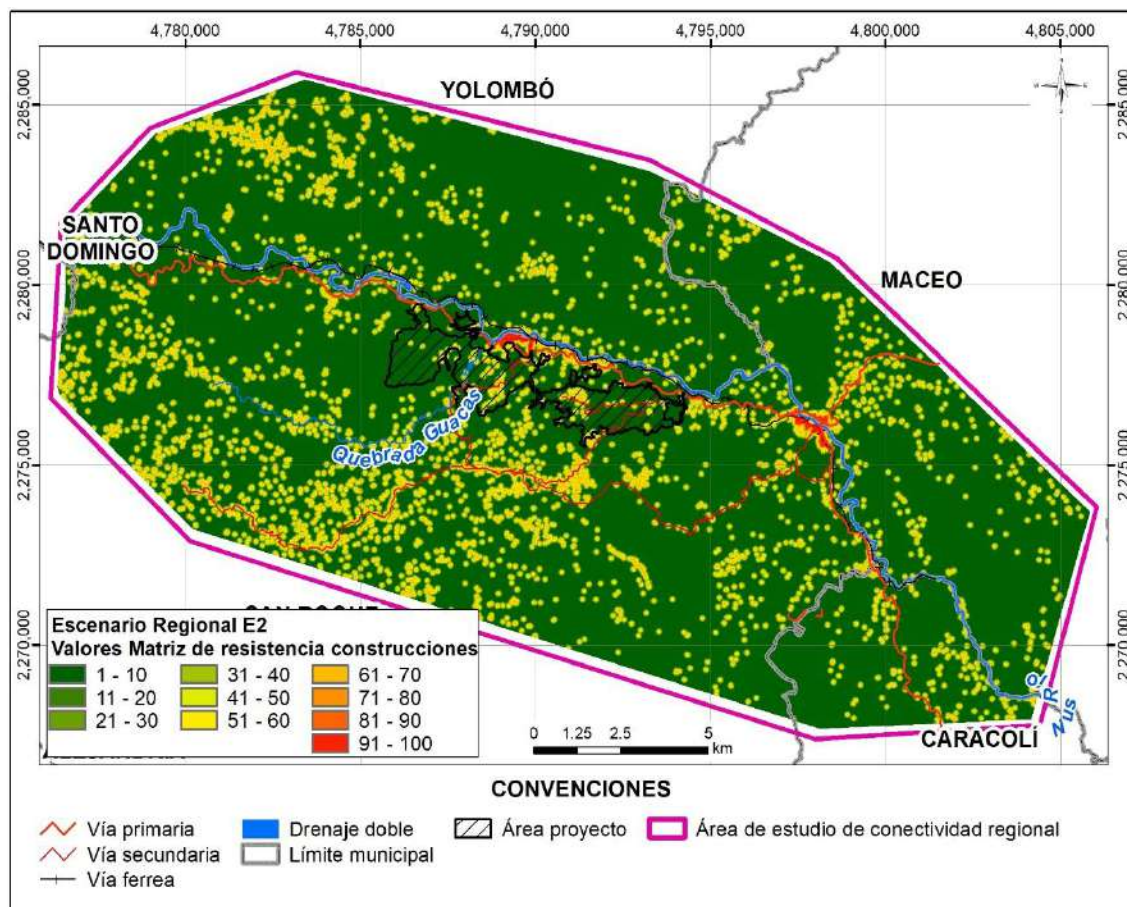


Figura 5.2.2.37. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

- **Variable Vías**

En la Figura 5.2.2.38 y Figura 5.2.2.39 se muestra la espacialización de la variable abiótica vías para las especies E1 y E2. También se espacializa la localización del proyecto para ubicación geográfica. En esta representación de calificación de la variable, los elementos más restrictivos son precisamente las vías, mostrando como la restricción disminuye cuando se aleja de esos elementos por la función de atenuación.

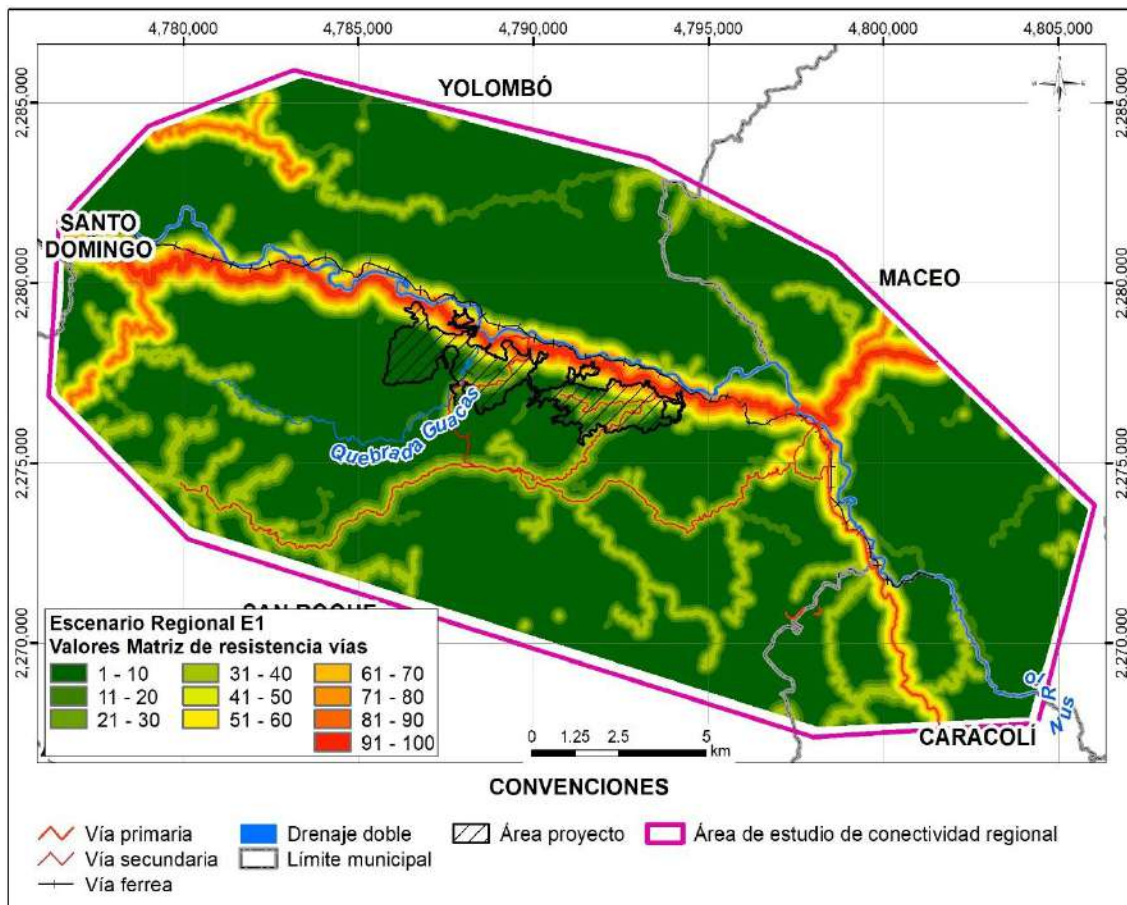


Figura 5.2.2.38. Calificación de la variable abiótica vías para la (E1) *Leopardus pardalis* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

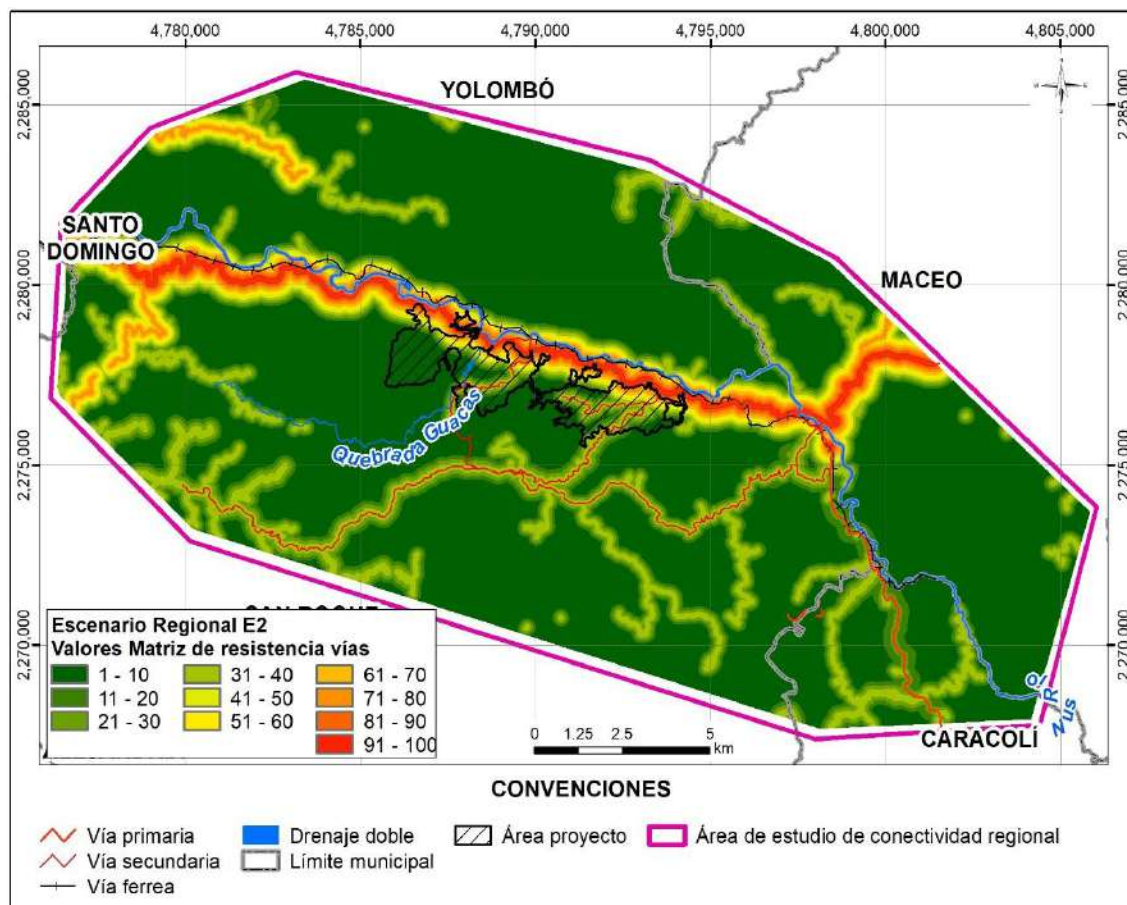


Figura 5.2.2.39. Calificación de la variable abiótica vías para la (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

- **Variable pendientes**

En las Figura 5.2.2.40 y Figura 5.2.2.41 se muestra la espacialización de la variable abiótica pendientes para las especies E1 y E2. También se espacializa la localización del proyecto para ubicación geográfica. En esta representación, los elementos más restrictivos son las pendientes totalmente escarpadas donde se considera que las especies definitivamente no están cómodas o desplazarse por ellas conlleva un gasto energético muy elevado. La restricción disminuye a medida que el terreno se vuelve menos escarpado. Las calificaciones más bajas (menos restrictivas) corresponden a los terrenos planos.

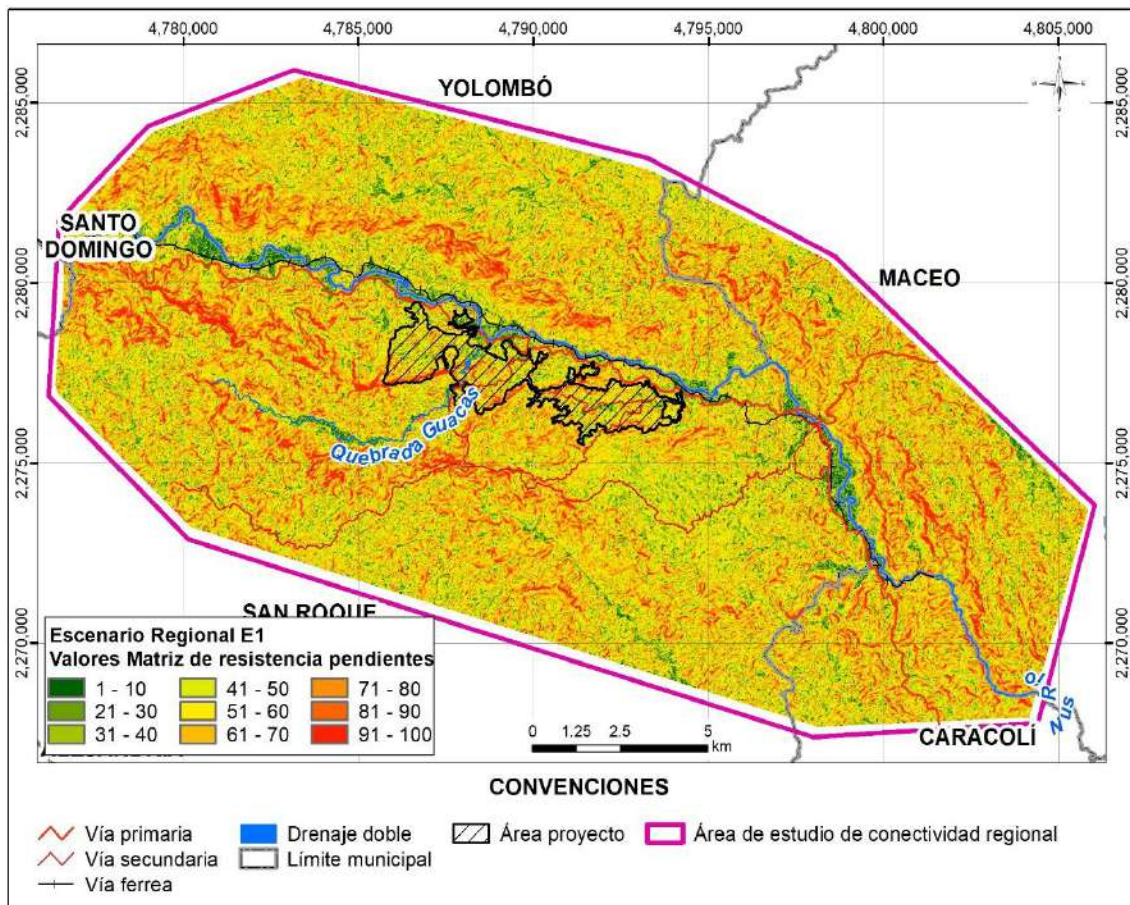


Figura 5.2.2.40. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E1) *Leopardus pardalis* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

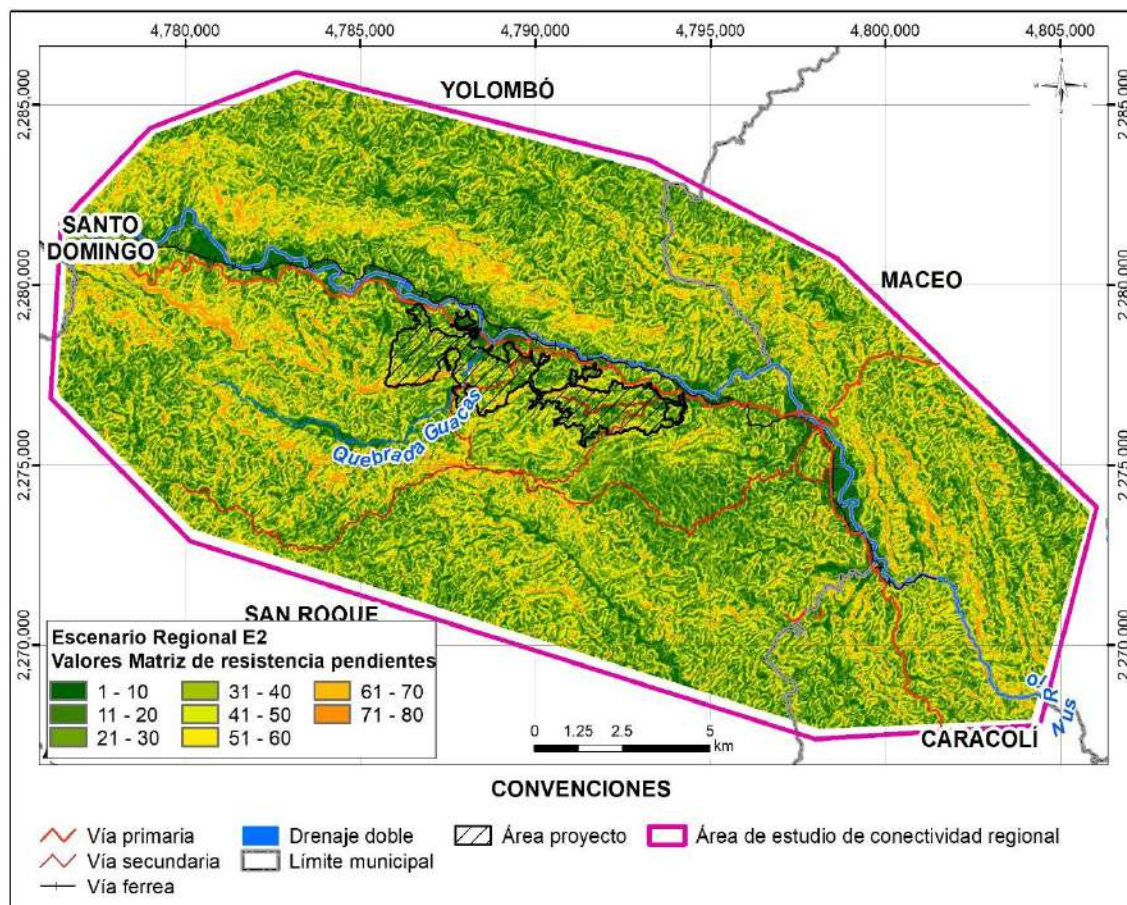


Figura 5.2.2.41. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

- **Variable actividad minera**

En la Figura 5.2.2.42 y Figura 5.2.2.43 se muestra la espacialización de la variable abiótica actividad minera para las especies E1 y E2. También se espacializa la localización del proyecto para ubicación geográfica. En esta representación los elementos más restrictivos son precisamente las zonas con actividad minera, mostrando la restricción y como disminuye cuando se aleja de esos elementos por la función de atenuación.

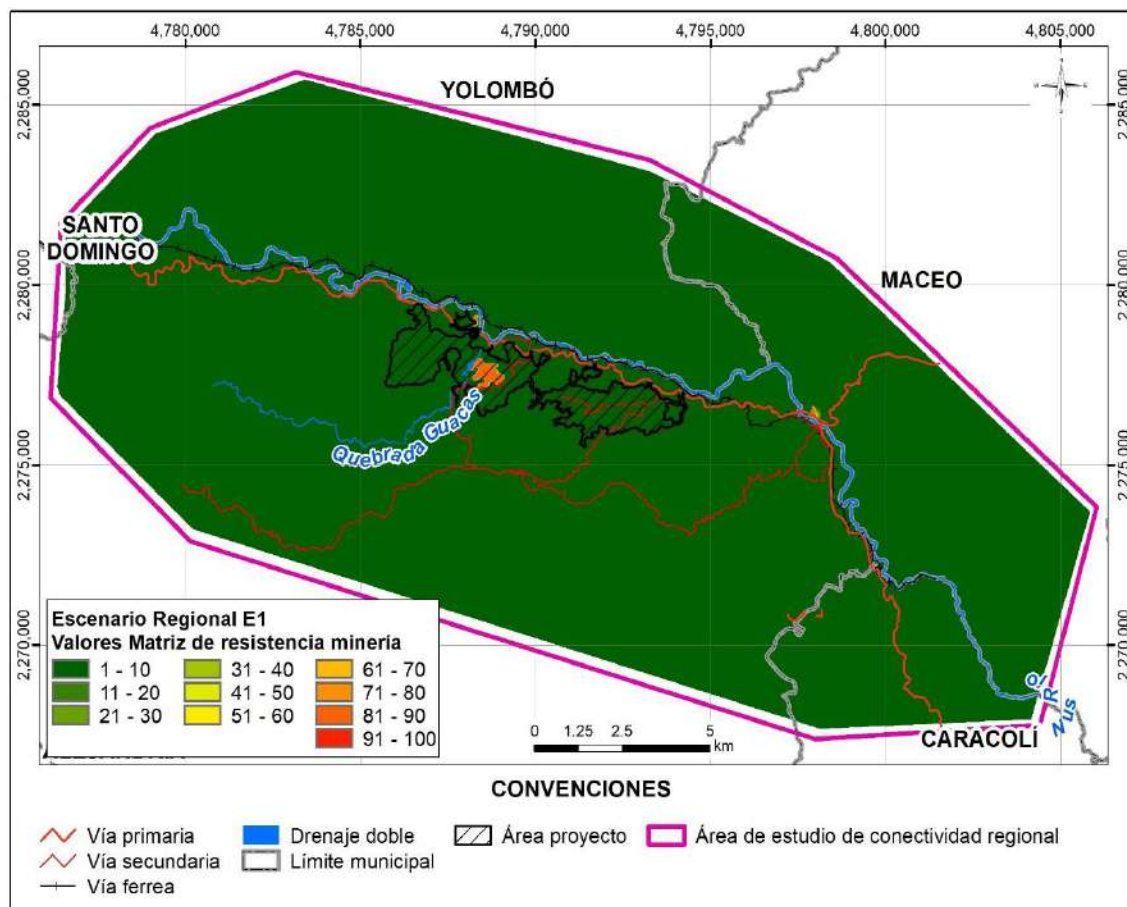


Figura 5.2.2.42. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E1) *Leopardus pardalis* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

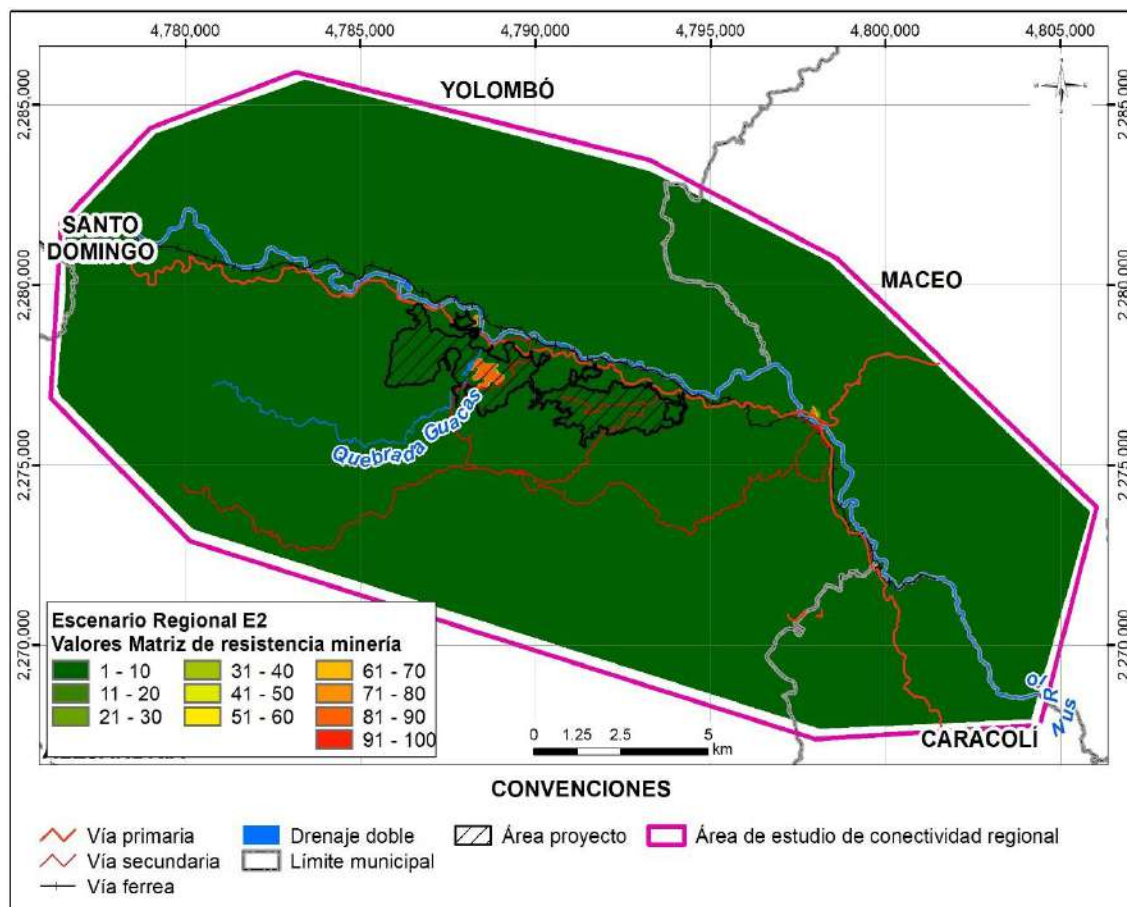


Figura 5.2.2.43. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

- **Resultado de la variable principal abiótica**

Las Figura 5.2.2.44 y Figura 5.2.2.45 presenta las calificaciones de la variable abiótica correspondiente a la suma ponderada de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera para la especie E1 *L. pardalis* y la E2 *O. leucopus*

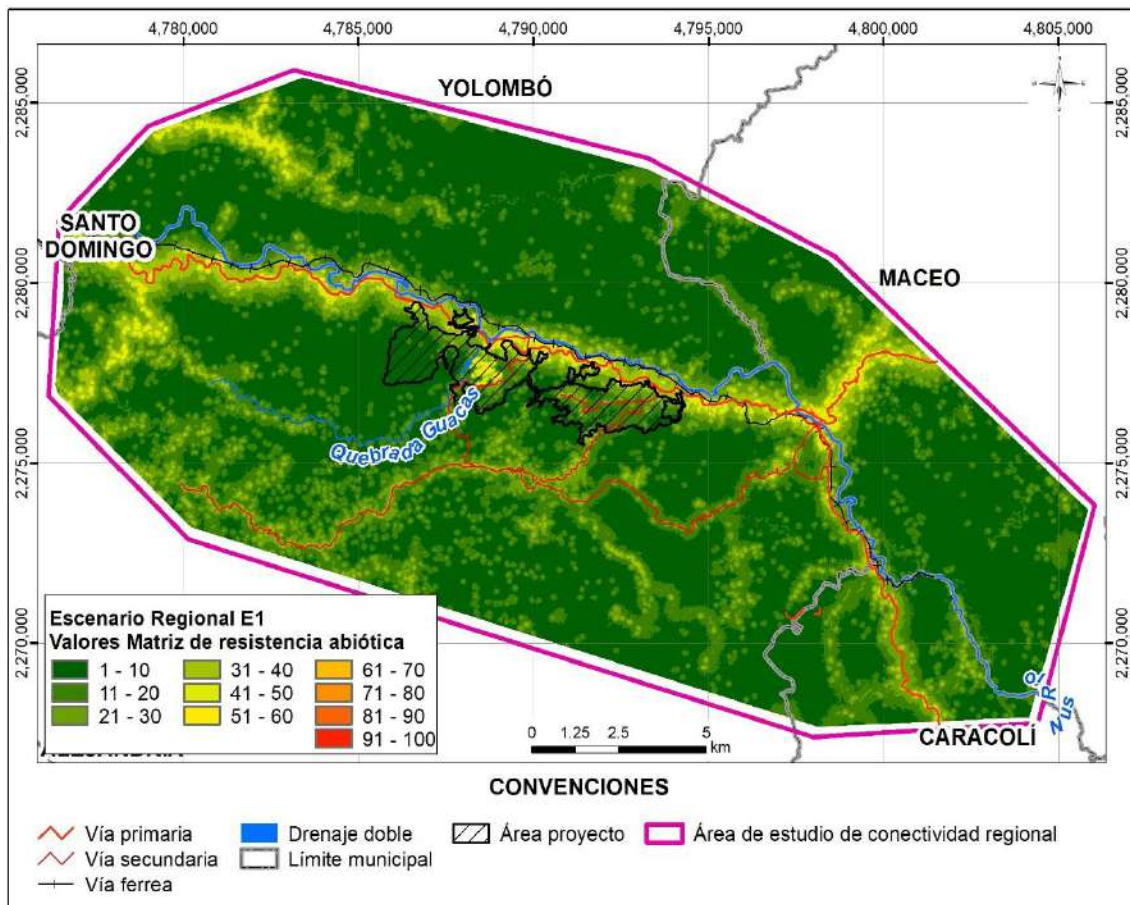


Figura 5.2.2.44. Matriz de resistencia abiótica para la (E1) *Leopardus pardalis* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

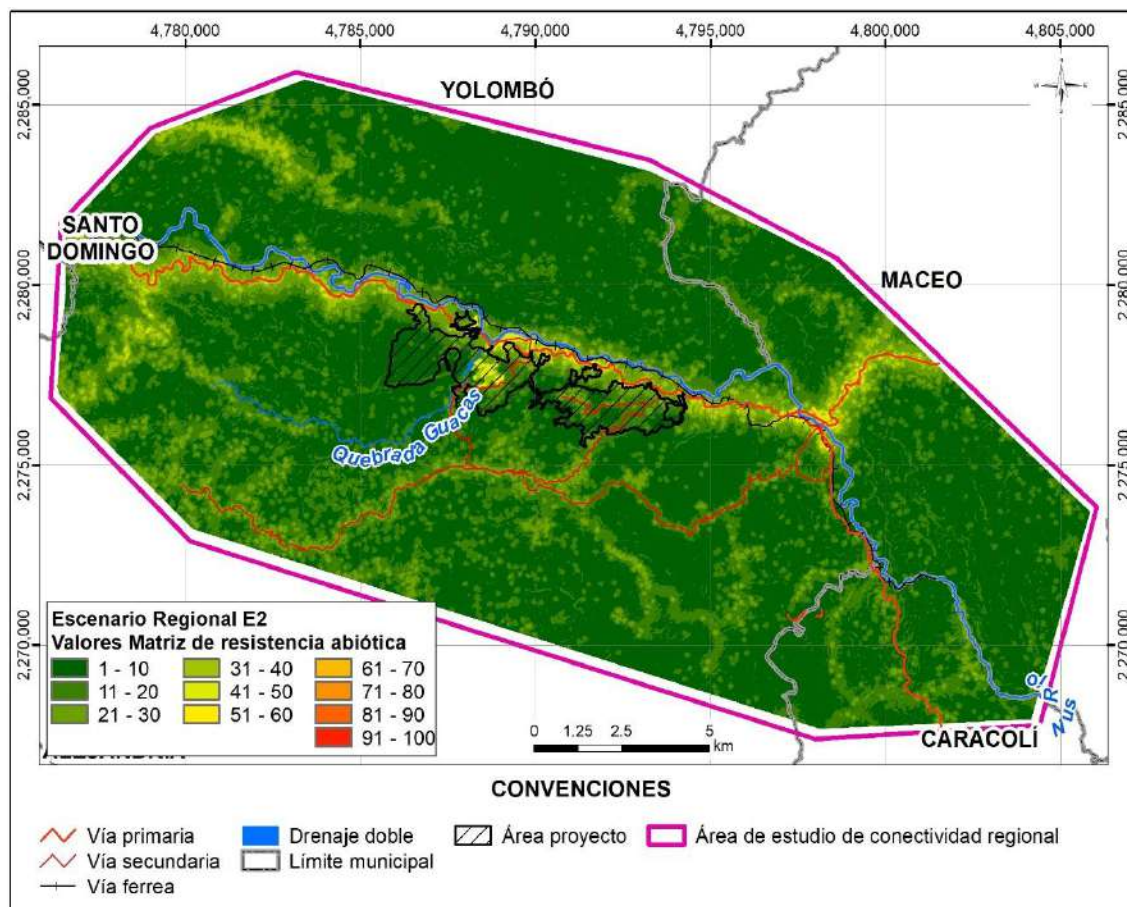


Figura 5.2.2.45. Matriz de resistencia abiótica para la (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

- Matriz de resistencia total

A continuación, se muestran los resultados de las matrices de resistencia totales para el escenario regional, la cual es el resultado de la ponderación de la calificación de las variables bióticas y abióticas para cada especie objeto de estudio y se muestran en la Figura 5.2.2.46 para la especie E1 *L. pardalis* y en la Figura 5.2.2.47 para la especie E2 *O. leucopus*

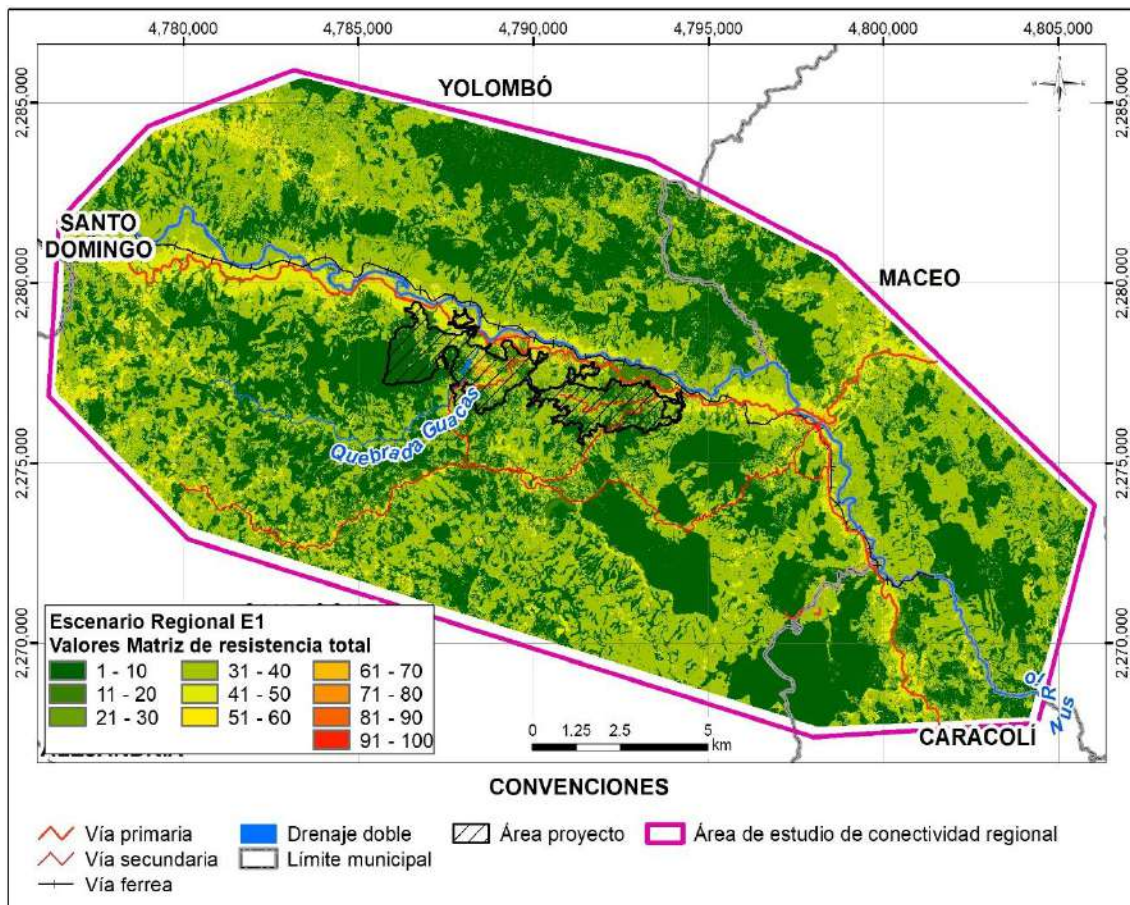


Figura 5.2.2.46. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) *Leopardus pardalis* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

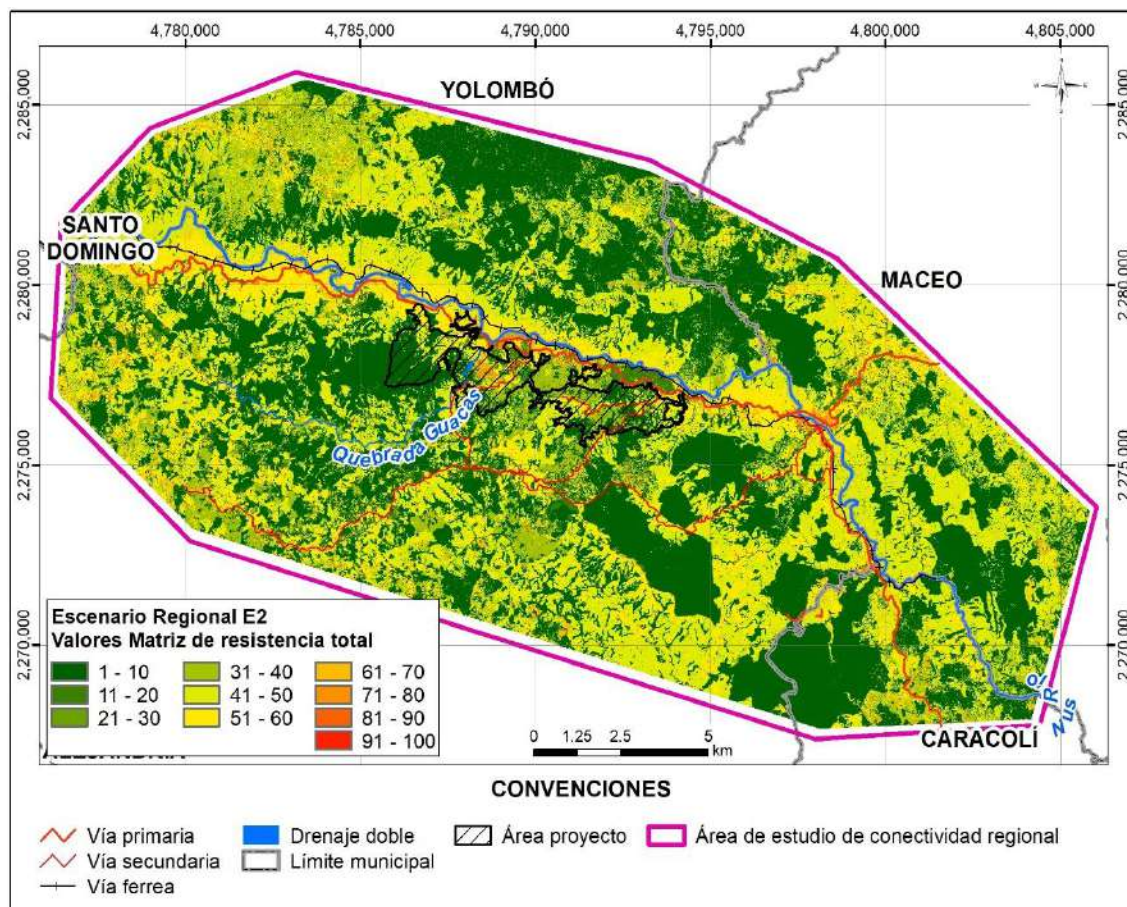


Figura 5.2.2.47. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

De la comparación de las matrices de resistencia totales para las dos especies, se evidencia que el territorio es más restrictivo para *E2 O. leucopus* en comparación que para *E1 L. pardalis*. Lo anterior es coherente con las características del territorio y la ecología de la especie arborícola E2, en donde las amplias extensiones de pastos se convierten en áreas de mayor costo de desplazamiento, mientras que para E1, al ser una especie terrestre, estas extensiones de pastos no suponen un alto costo de desplazamiento.

- Matrices de resistencia para escenarios 1CPL y 2CPM

A continuación, se presentan como resultados las matrices de resistencia total correspondientes a los escenarios 1CPL y 2CPM. Estas matrices fueron elaboradas siguiendo los mismos lineamientos metodológicos definidos para la matriz de resistencia del escenario 0SP, incorporando los efectos específicos asociados a las obras y actividades del proyecto en el escenario del proyecto licenciado y en el escenario de la modificación actual, respectivamente. El detalle del proceso de elaboración de las matrices de resistencia para cada uno de estos escenarios se presenta en el literal **C. Resultados de la modelación del área de conectividad local** de este documento.

En la Figura 5.2.2.48 y Figura 5.2.2.49, se presentan las matrices de resistencia totales correspondientes a la especie E1 *L. pardalis* y a la especie E2 *O. leucopus* para el escenario 1CPL.

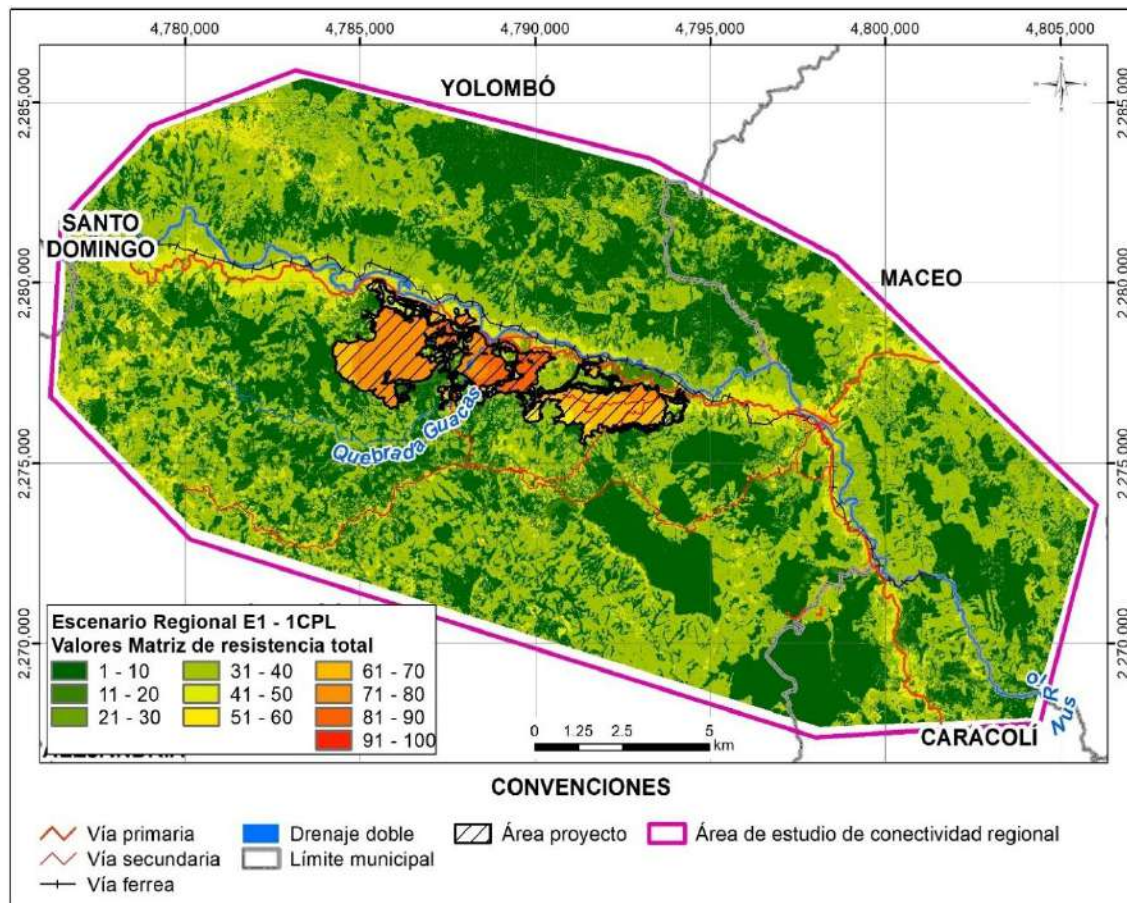


Figura 5.2.2.48. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) *Leopardus pardalis* escala regional 1CPL.

Fuente: Integral S.A., 2025

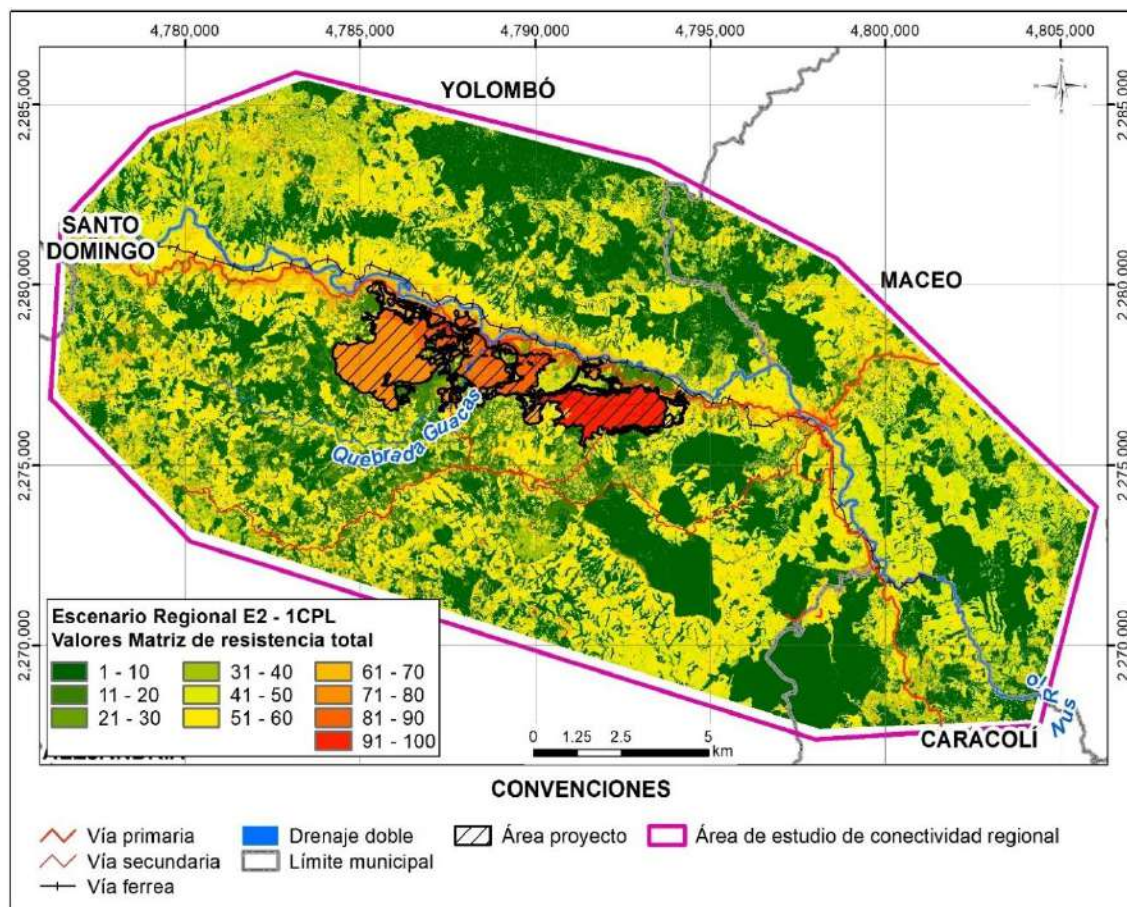


Figura 5.2.2.49. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional 1CPL.

Fuente: Integral S.A., 2025

Por su parte, en la Figura 5.2.2.50 y Figura 5.2.2.51, se muestran las matrices de resistencia totales para ambas especies en el escenario 2CPM.

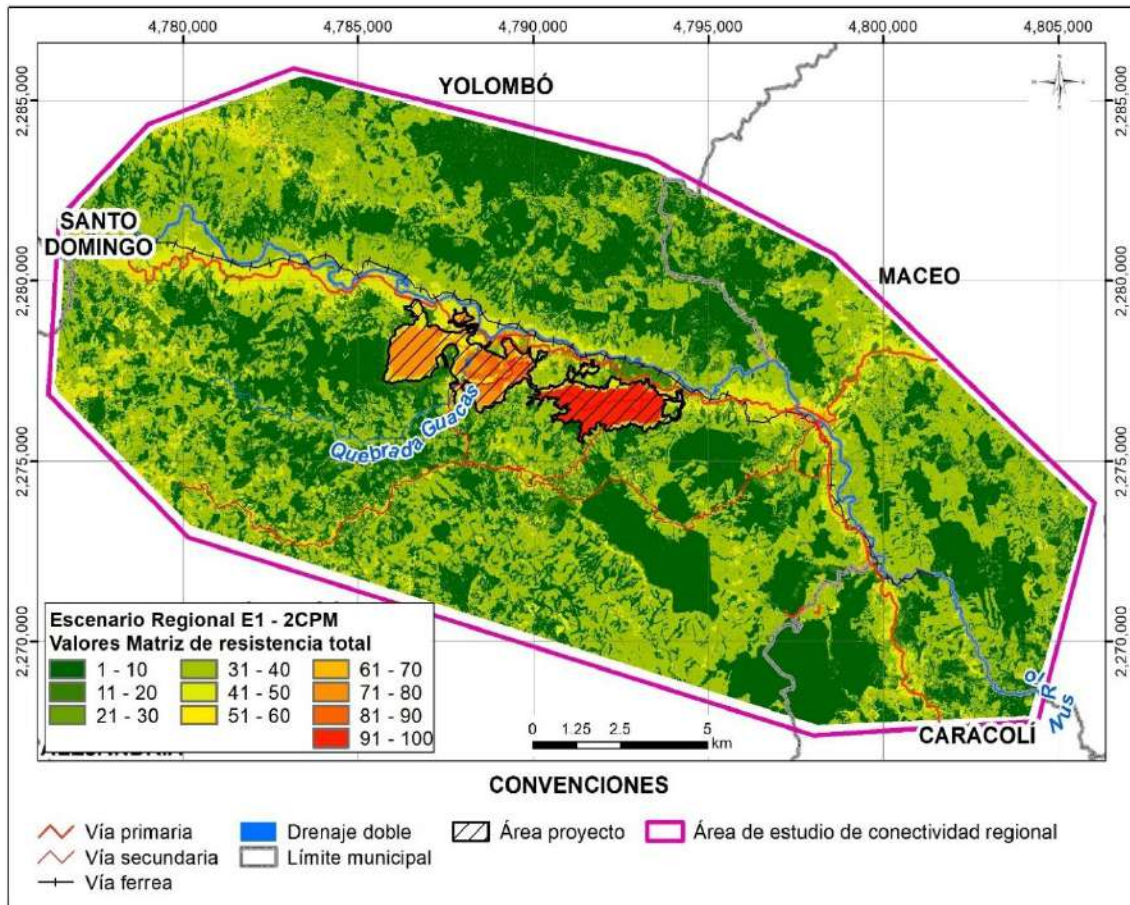


Figura 5.2.2.50. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) *Leopardus pardalis* escala regional 2CPM.

Fuente: Integral S.A., 2025

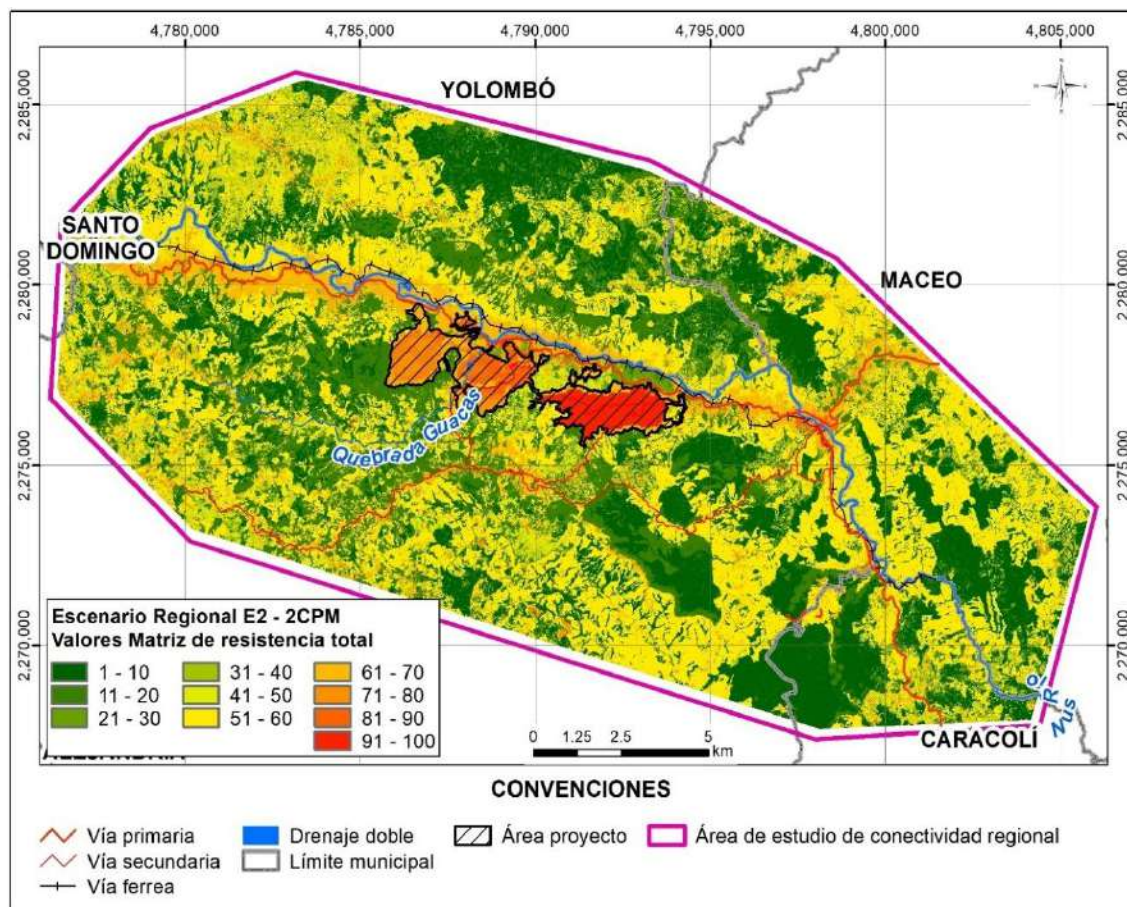


Figura 5.2.2.51. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional 2CPM.

Fuente: Integral S.A., 2025

De la observación de las matrices de resistencia para los escenarios analíticos con proyecto (1CPL, 2CPM) se puede ver cómo las obras y actividades del proyecto en cada uno de los escenarios modifica el costo de desplazamiento. Se observan valores de restricción máxima en el tailing (presa y manejo de colas), convirtiéndose este elemento en una barrera para el desplazamiento de ambas especies.

m. Red de conectividad regional

La red de conectividad se calcula a partir de la teoría de grafos (Foltête J.-C., 2021). A continuación, se presentan los resultados en grafos y vista realista, y los resultados de la estimación de conectividad a través de los índices delta de probabilidad de conectividad (dPC), delta del índice integral de conectividad (dIIC) y el índice de correlación de conectividad (CCor), para el escenario regional.

Como se ha dicho, el análisis regional busca identificar las características de la conectividad ecológica funcional en una escala muy amplia y evidenciar las posibles relaciones entre la conectividad y las áreas de importancia ecológica como lo son las áreas protegidas y los

ecosistemas estratégicos. En este sentido, los enlaces producto de las modelaciones regionales no se han truncado a valores de desplazamiento según la ecología de las especies, porque lo que se pretende es obtener el panorama a una escala de región.

I. Red topológica

En la Figura 5.2.2.52, se muestra la red topológica de conectividad en grafos para la E1 *L. pardalis* y la Figura 5.2.2.53 para la E2 *O. leucopus* para el escenario 0SP.

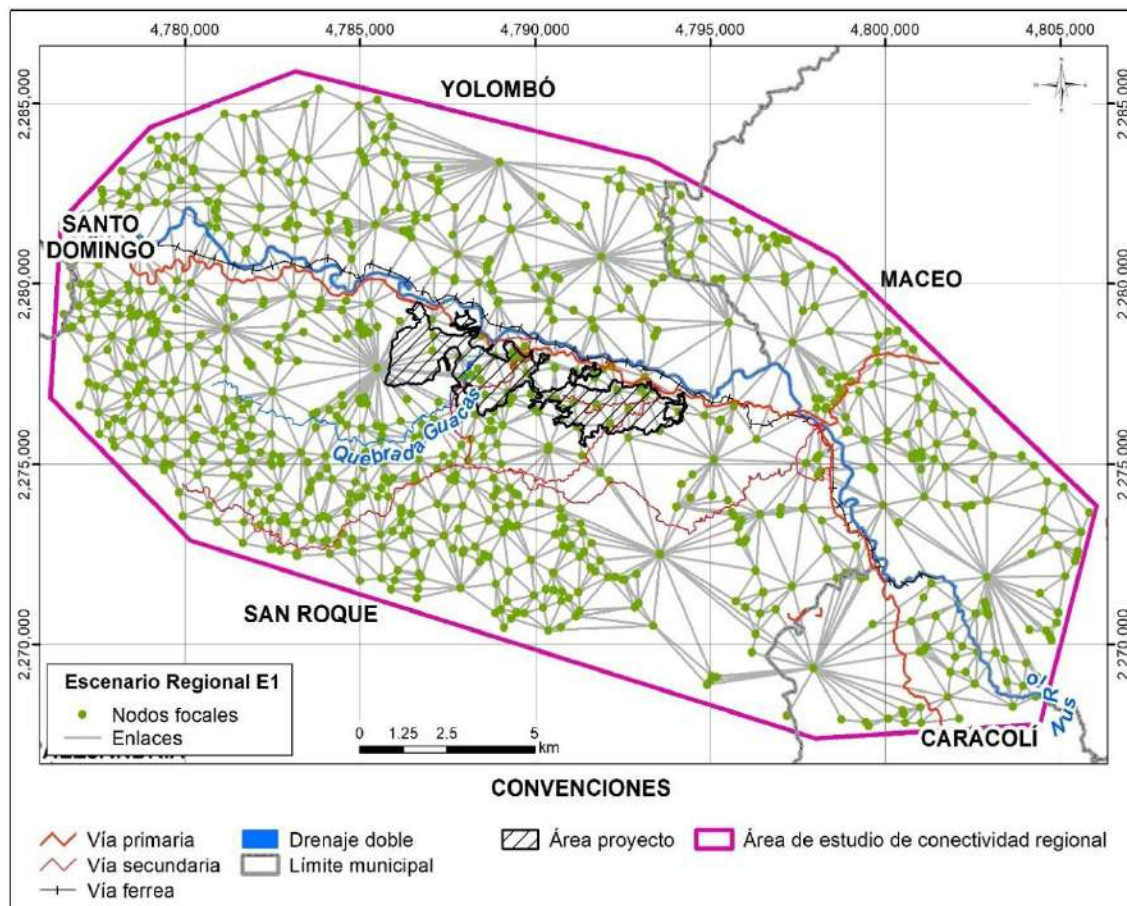


Figura 5.2.2.52. Red de conectividad de nodos y enlaces teóricos en grafos, para la especie (E1) *Leopardus pardalis* escala regional 0SP.

Fuente: Integral S.A., 2025

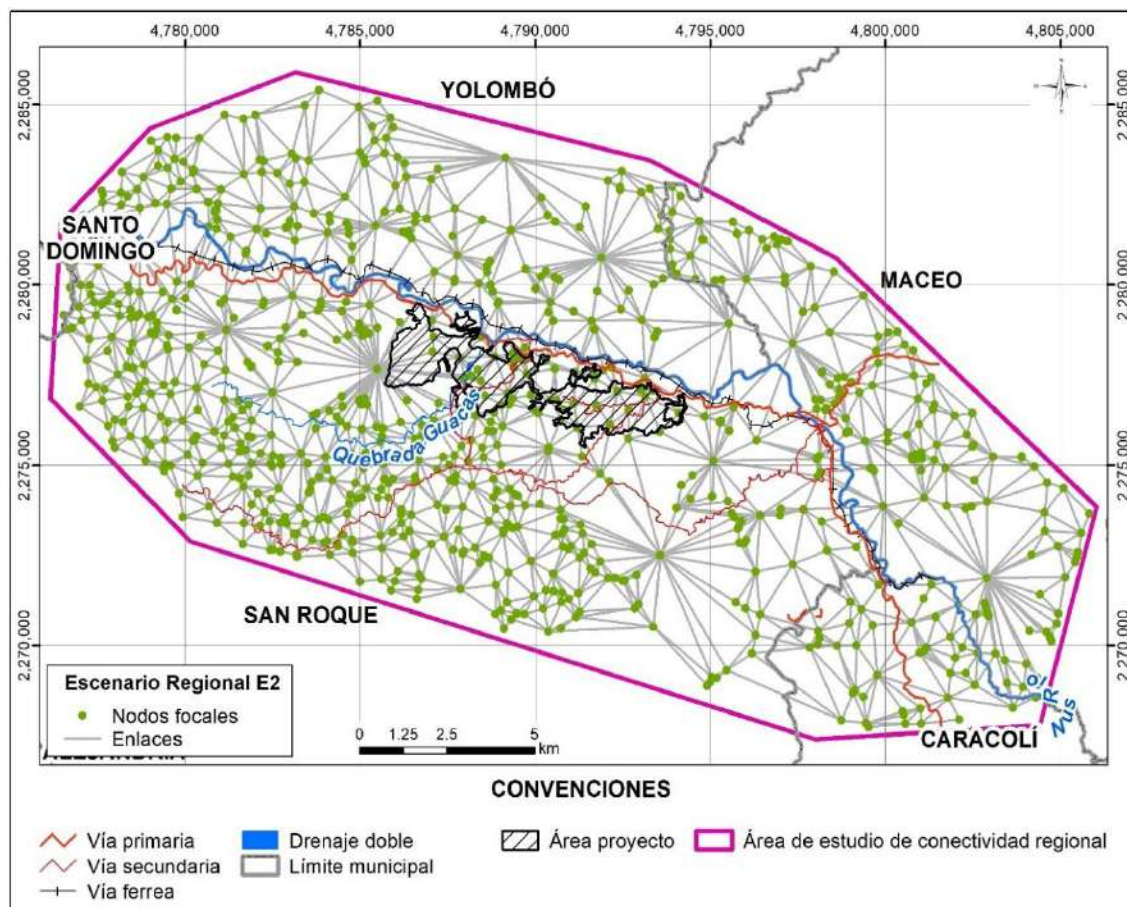


Figura 5.2.2.53. Red de conectividad de nodos y enlaces teóricos en grafos, para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional OSP.

Fuente: Integral S.A., 2025

Por otro lado, la vista realista de las redes de conectividad muestra los nodos de hábitat y los enlaces teóricos entre estos nodos de hábitat en el paisaje actual regional. En la Figura 5.2.2.54 se muestran los nodos y enlaces para la E1 *L. pardalis* y la Figura 5.2.2.55 para la E2 *O. leucopus*.

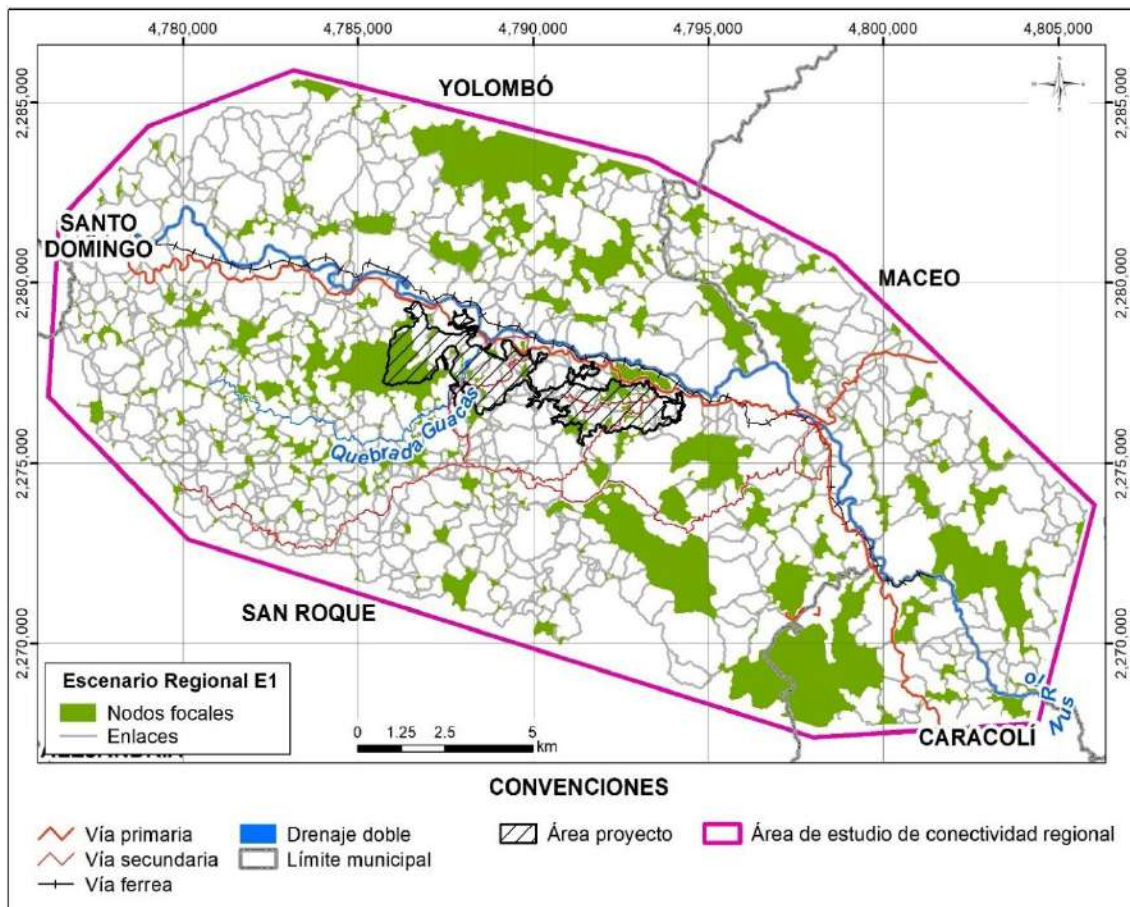


Figura 5.2.2.54. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* escala regional OSP.

Fuente: Integral S.A., 2025

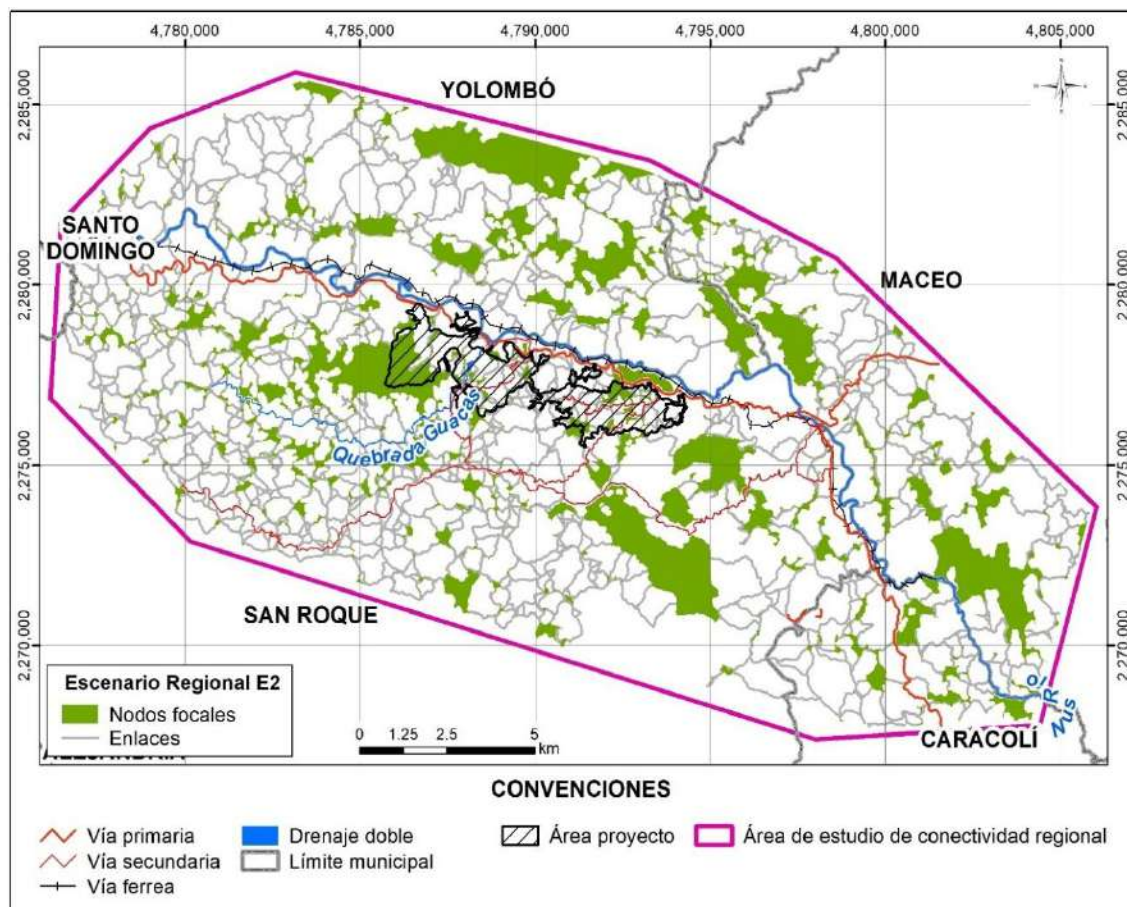


Figura 5.2.2.55. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional 0SP.

Fuente: Integral S.A., 2025

II. Índices de estimación de conectividad

En la Figura 5.2.2.56, se muestra el índice delta de probabilidad de conectividad (dPC) para la E1 *L. pardalis* y la Figura 5.2.2.57 para la E2 *O.leucopus* para el escenario 0SP.

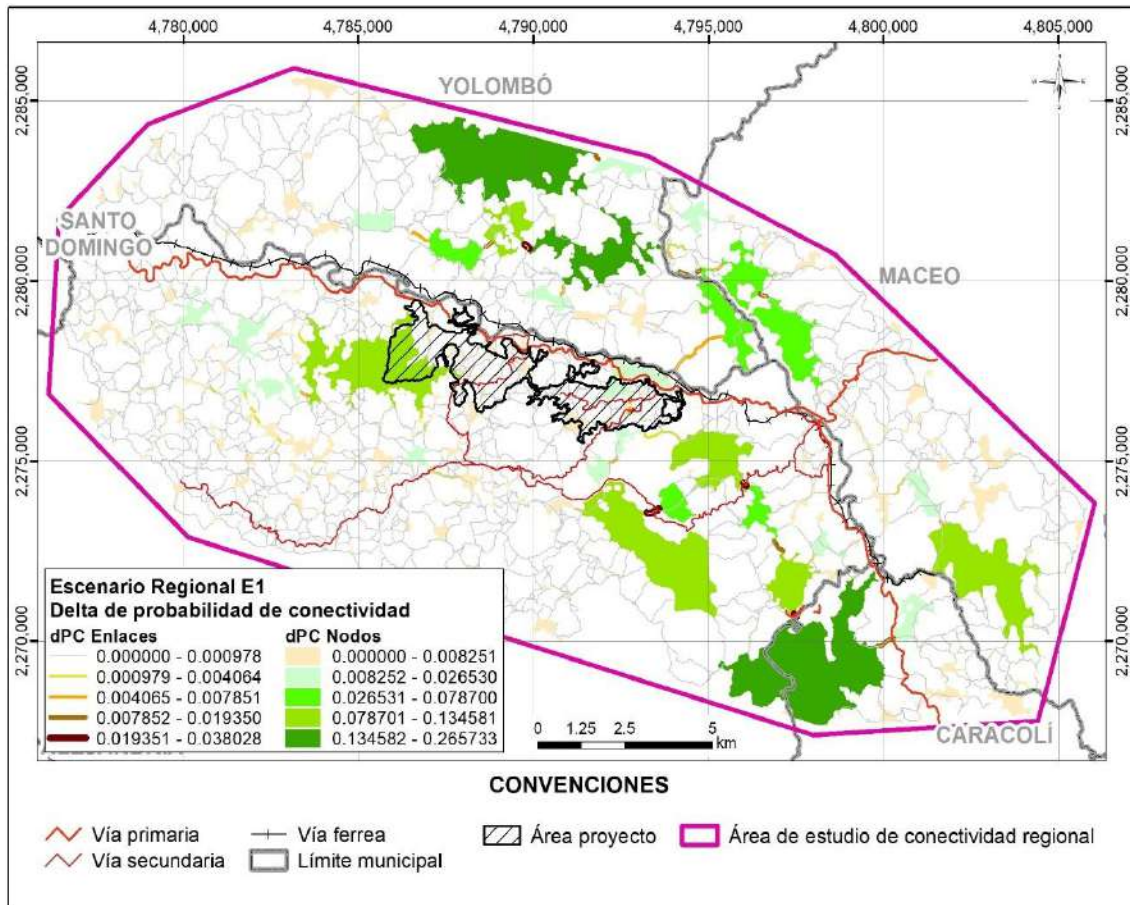


Figura 5.2.2.56. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* escala regional OSP.

Fuente: Integral S.A., 2025

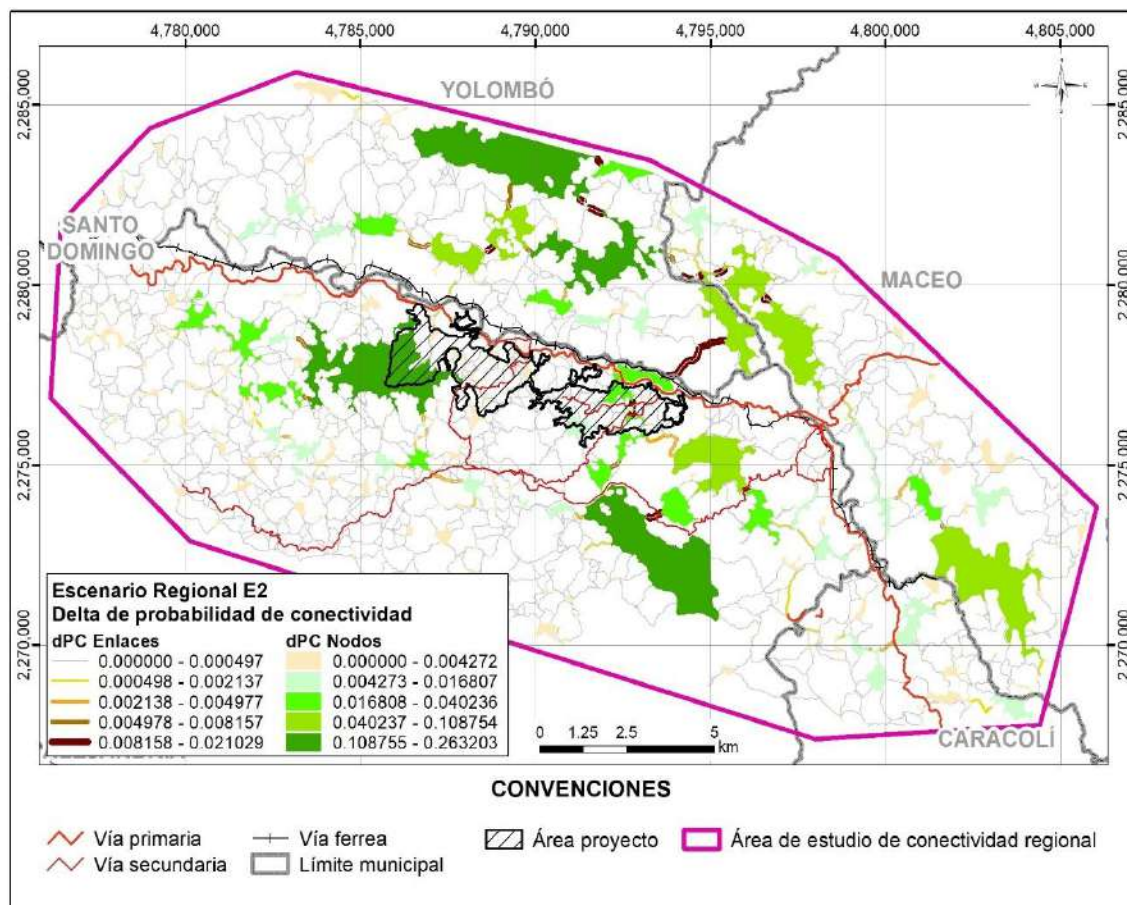


Figura 5.2.2.57. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional 0SP.

Fuente: Integral S.A., 2025

En la Figura 5.2.2.58, se muestra el índice delta del índice integral de conectividad (dIIC) para la E1 *L. pardalis* y la Figura 5.2.2.59 para la E2 *O.leucopus* para el escenario 0SP.

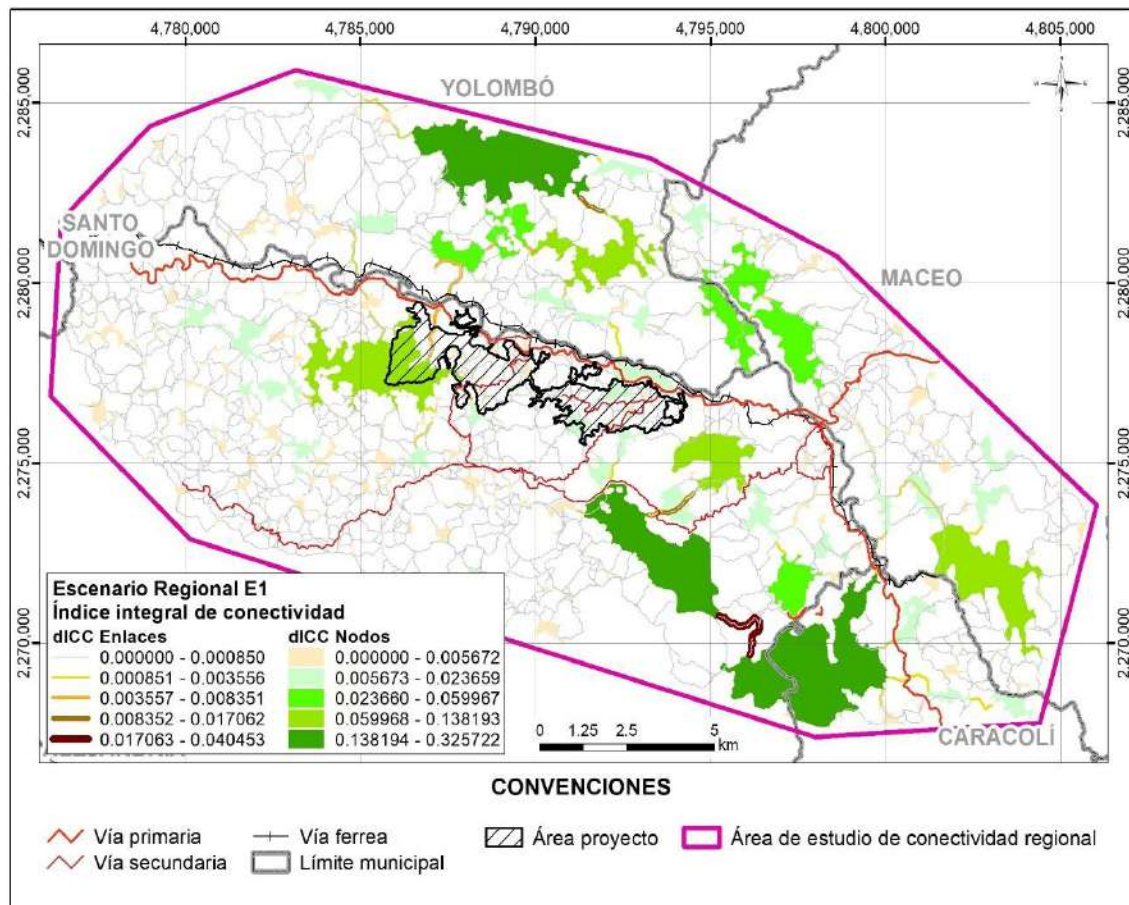


Figura 5.2.2.58. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* escala regional OSP.

Fuente: Integral S.A., 2025

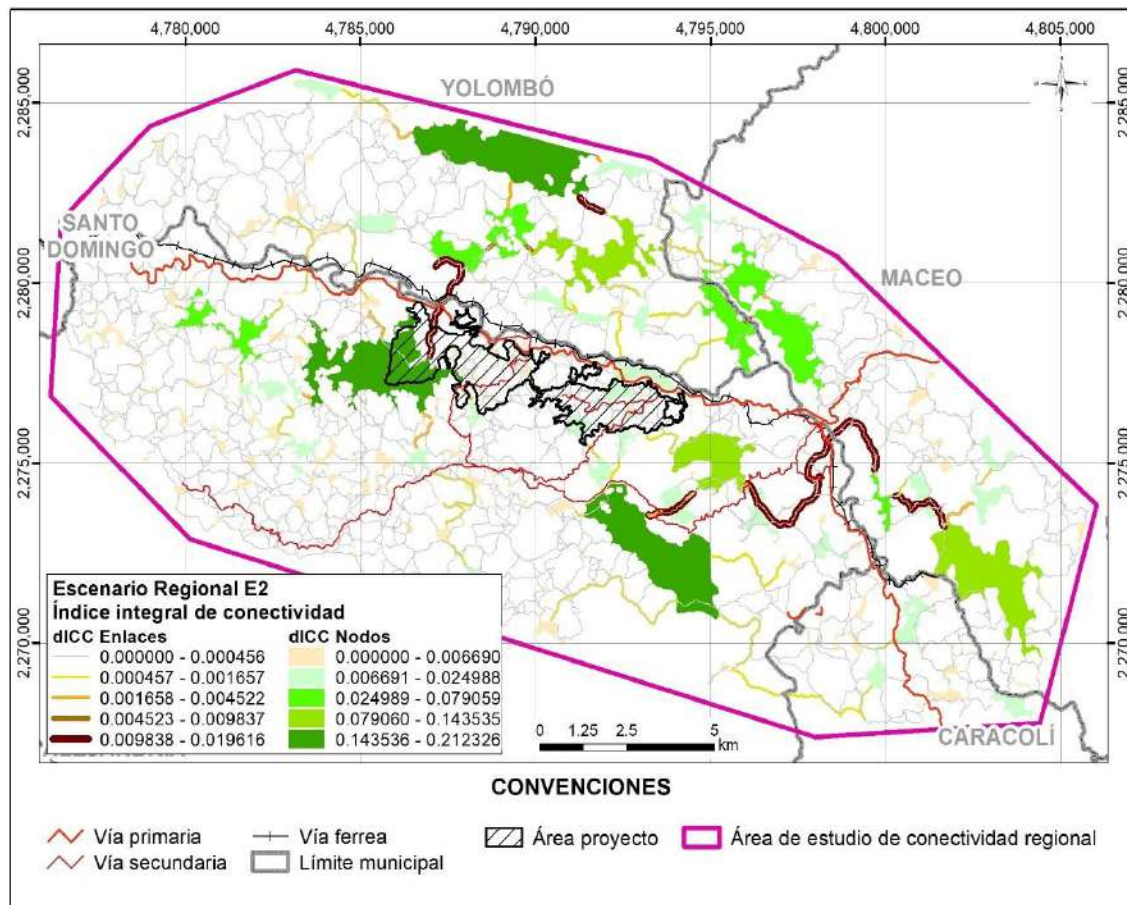


Figura 5.2.2.59. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional OSP.

Fuente: Integral S.A., 2025

En la Figura 5.2.2.60, Figura 5.2.2.61 y Figura 5.2.2.62, se muestra el índice de correlación de conectividad (CCor), para la E1 *L. pardalis* y en las Figura 5.2.2.63, Figura 5.2.2.64 y Figura 5.2.2.65 para la E2 *O. leucopus*. Es importante mencionar que este índice se calculó para los escenarios sin proyecto (OSP), con proyecto licenciado (1CPL) y con proyecto de esta modificación de licencia (2CPM), ya que estos resultados se utilizarán para la delimitación del área de estudio local, lo cual se expondrá en numerales posteriores.

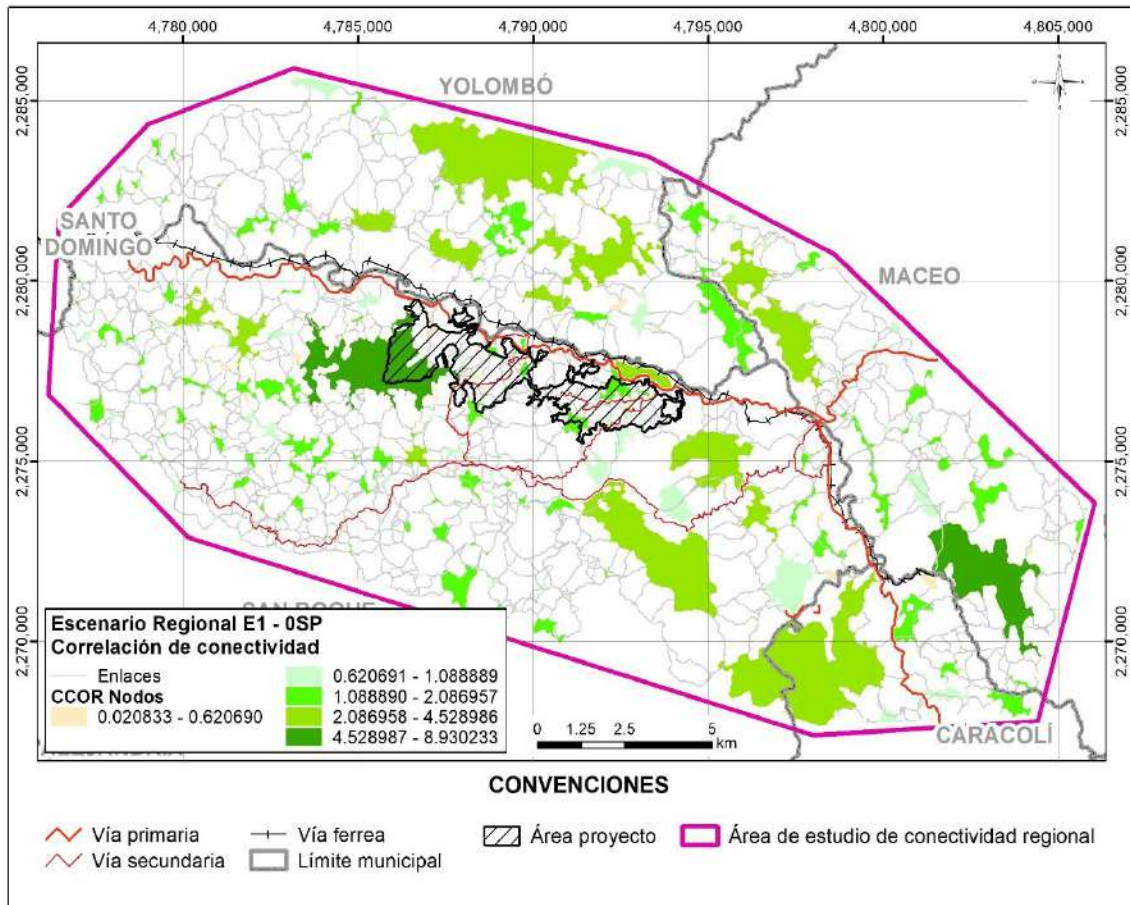


Figura 5.2.2.60. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* escala regional OSP.

Fuente: Integral S.A., 2025

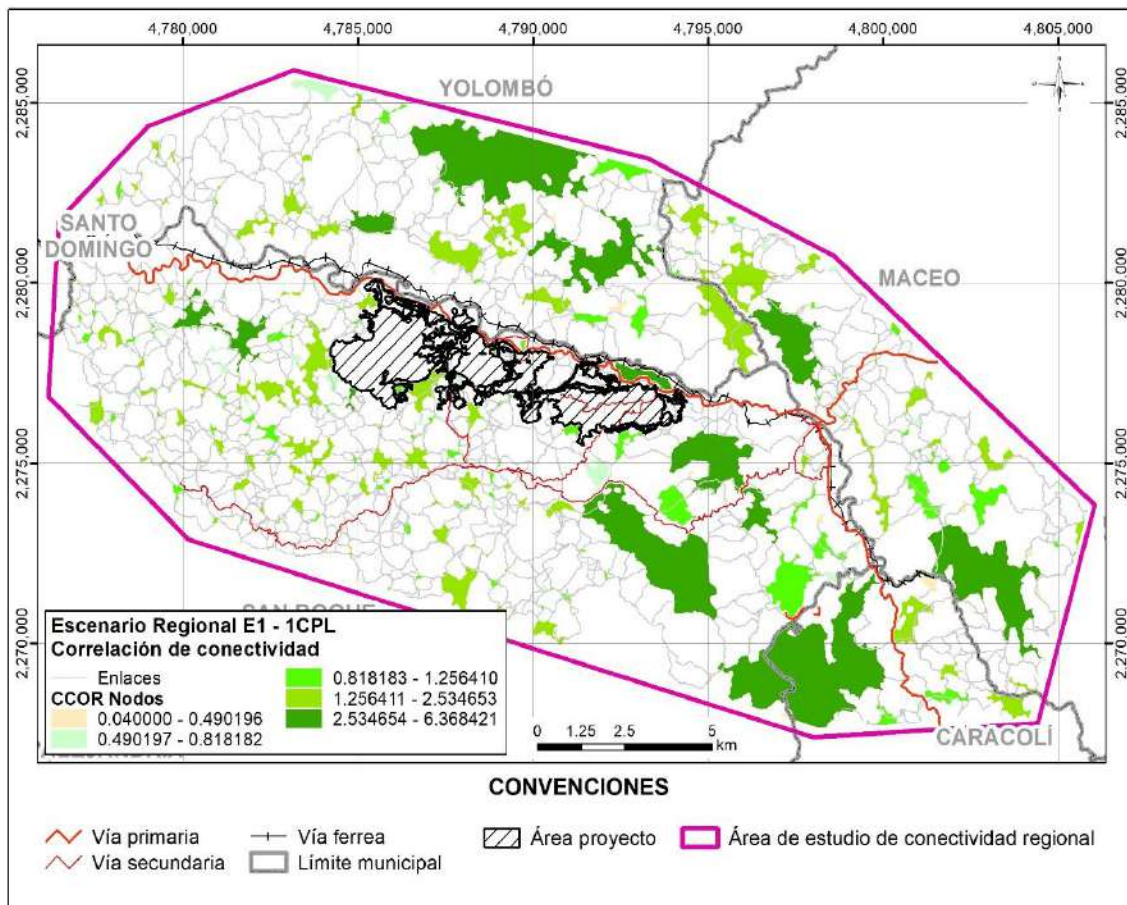


Figura 5.2.2.61. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* escala regional 1CPL.

Fuente: Integral S.A., 2025

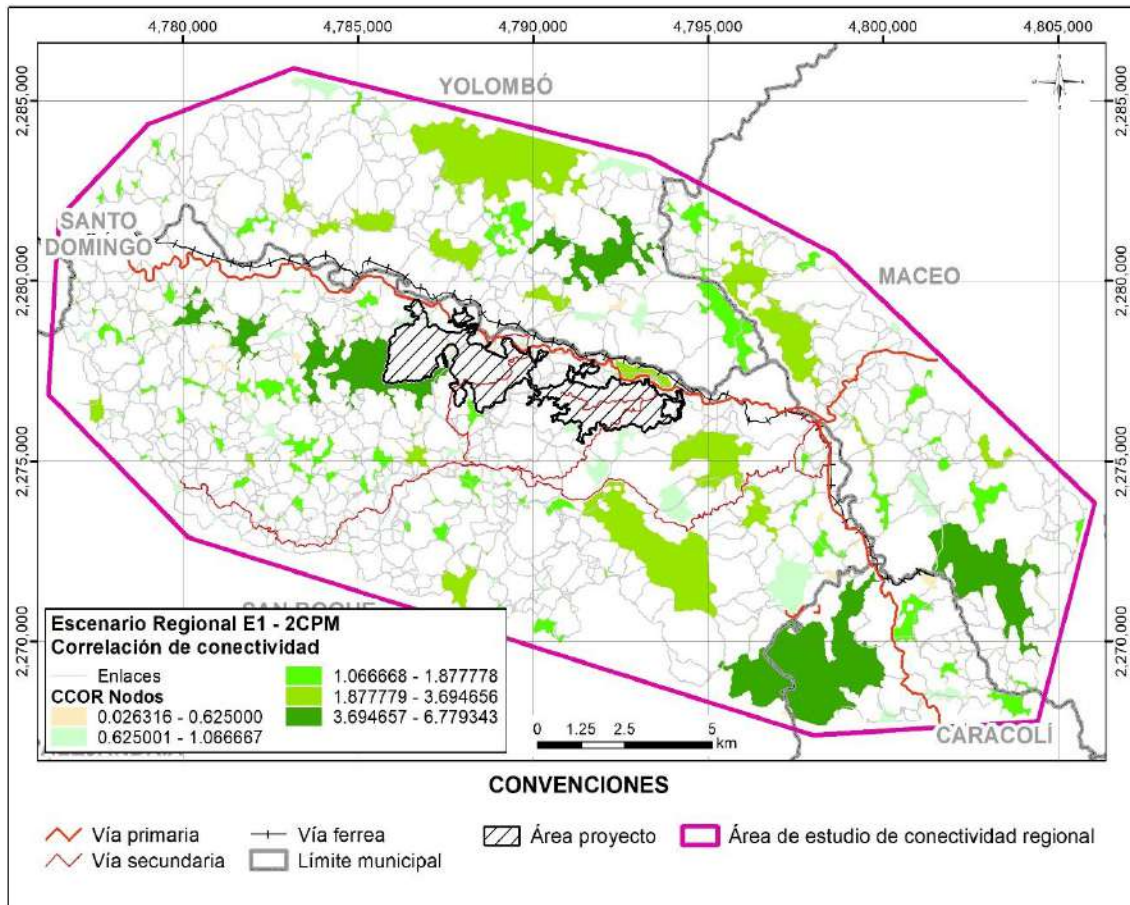


Figura 5.2.2.62. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* escala regional 2CPM.

Fuente: Integral S.A., 2025

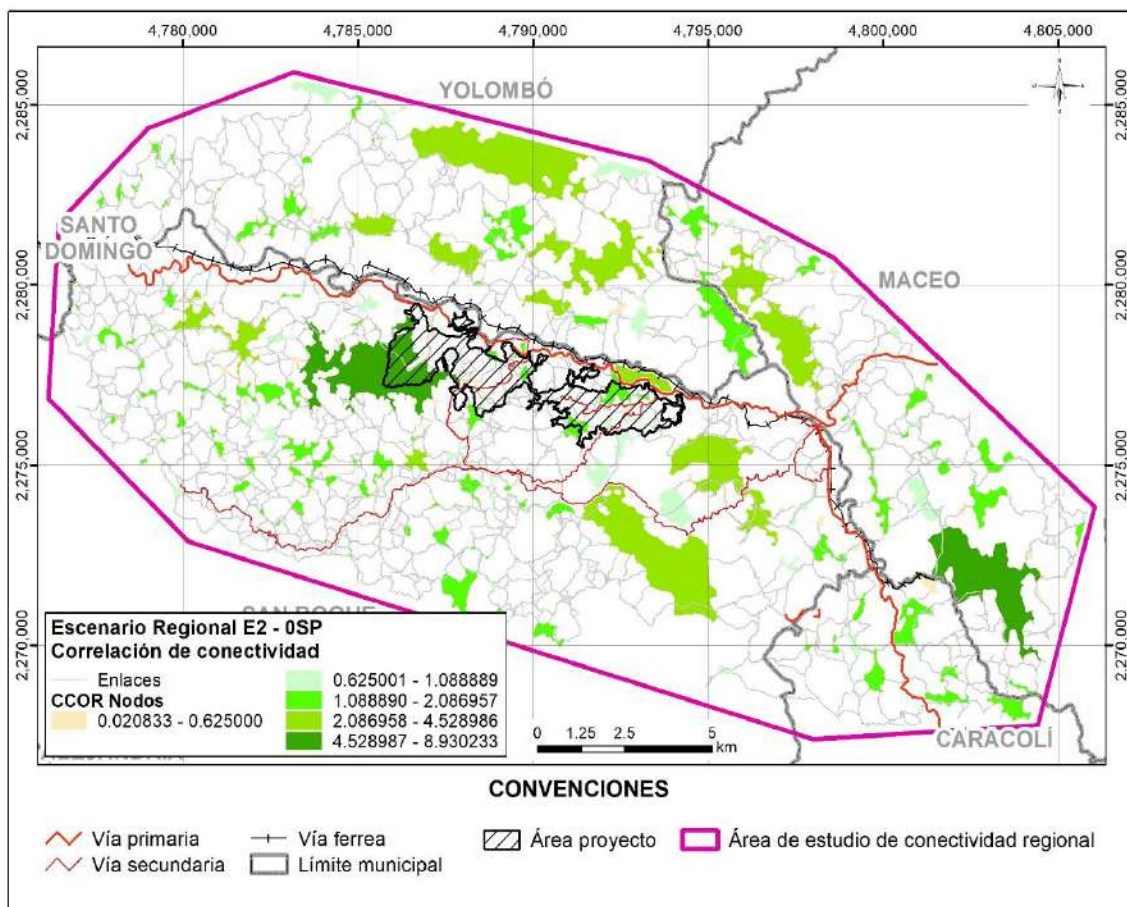


Figura 5.2.2.63. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional 0SP.

Fuente: Integral S.A., 2025

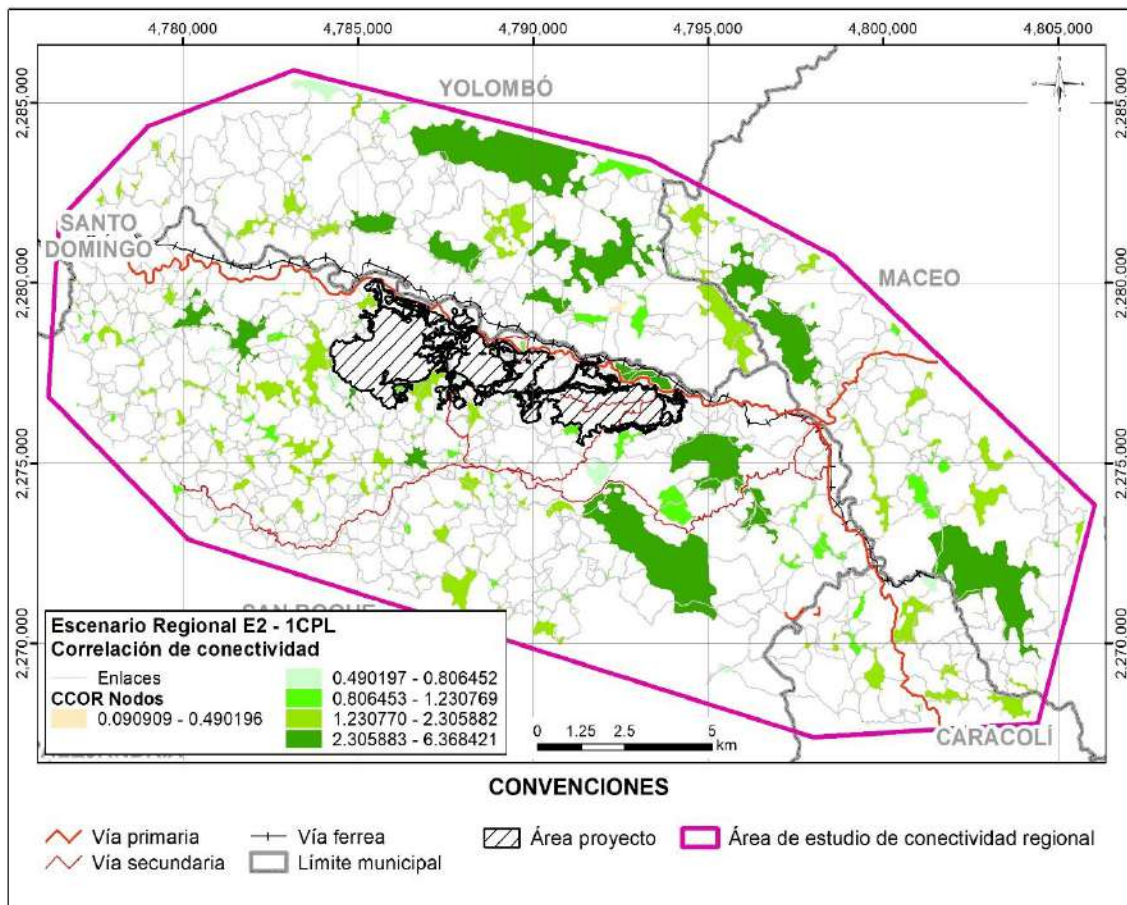


Figura 5.2.2.64. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional 1CPL.

Fuente: Integral S.A., 2025

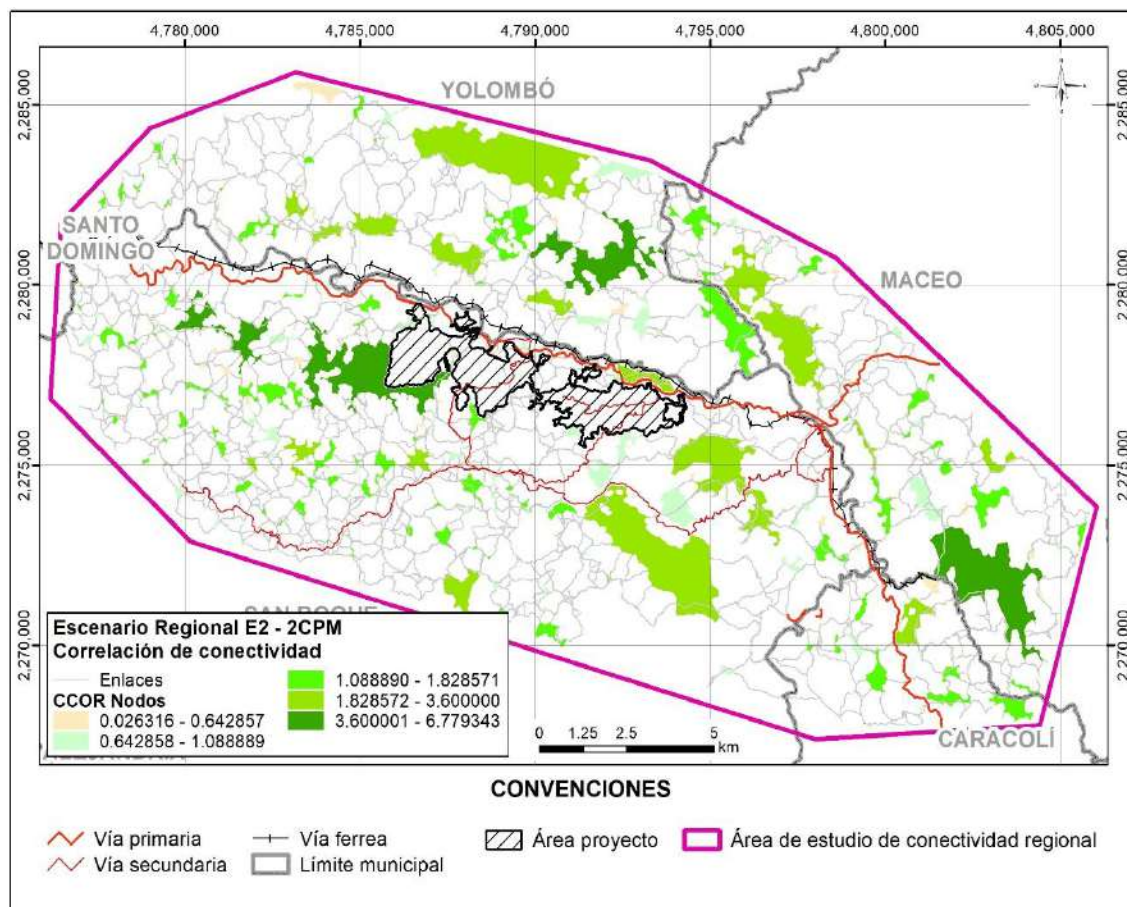


Figura 5.2.2.65. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* escala regional 2CPM.

Fuente: Integral S.A., 2025

n. Análisis de la modelación del área de conectividad regional

Los resultados de las redes de conectividad del escenario regional se comparan con elementos de importancia para la conectividad como los son las áreas de interés ambiental o áreas especial importancia ecológica -en adelante AEI- presentes en el territorio.

I. Red topológica

Con respecto a la red topológica, se identifican elementos de las Áreas de Especial Interés (AEI) que coinciden con los nodos de la red de conectividad, entre ellos la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña, declarada por CORNARE mediante el Acuerdo Corporativo 312 del 4 de septiembre de 2014, como área protegida destinada al uso sostenible de los recursos naturales. En la Figura 5.2.2.66 y Figura 5.2.2.67, se observa la especialización de los elementos de la red topológica y las AEI presentes en el territorio para la E1 *L. pardalis* y la E2 *O. leucopus* respectivamente, evidenciándose que dichas áreas se localizan por fuera del área del proyecto.

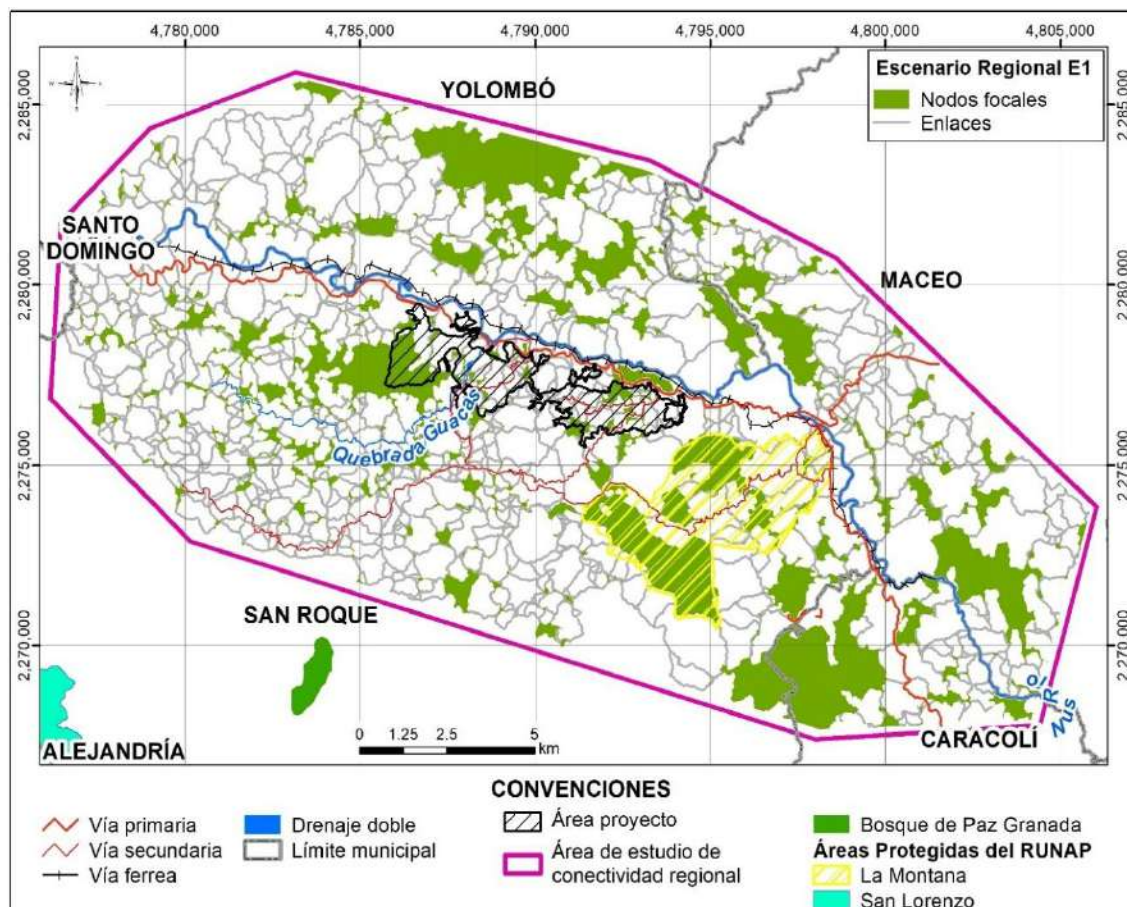


Figura 5.2.2.66. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* y las áreas de especial importancia ecológica escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

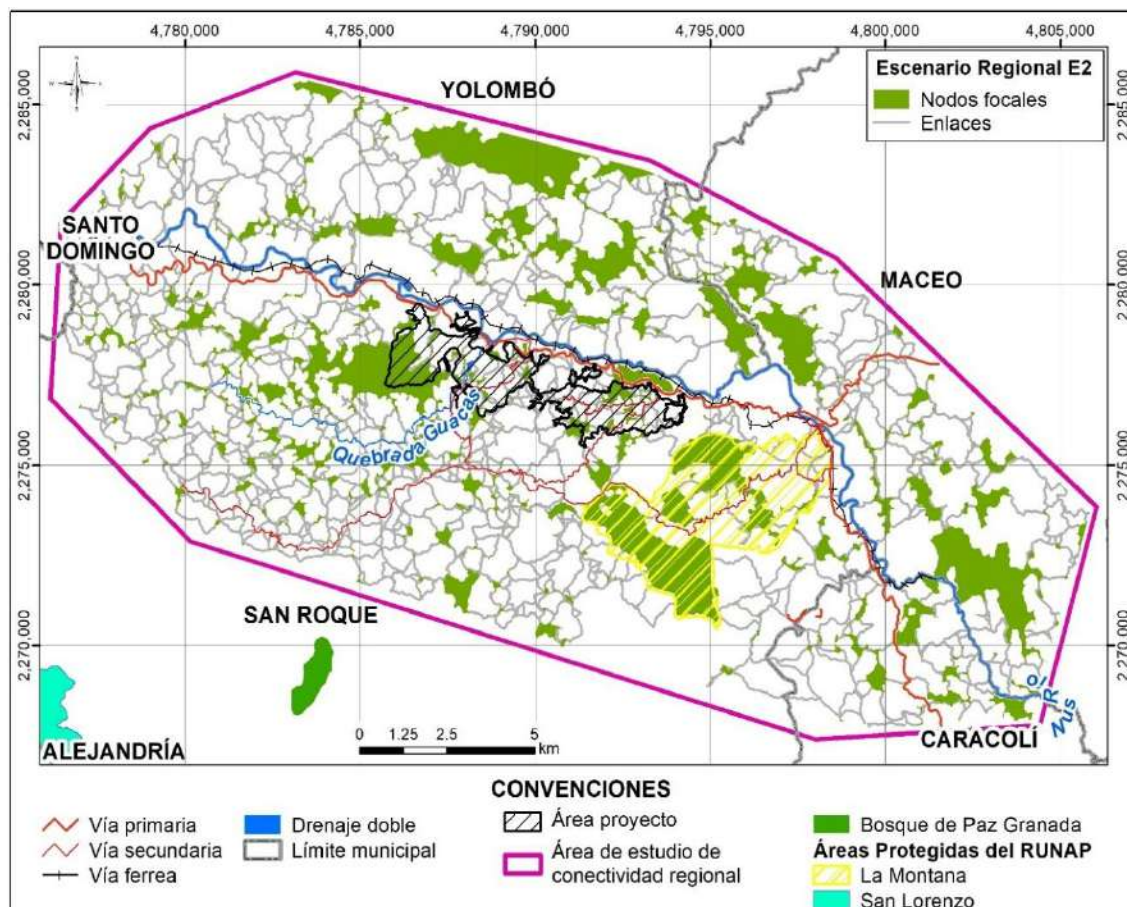


Figura 5.2.2.67. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* y las áreas de especial importancia ecológica escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

II. Índices de estimación de conectividad

El delta de probabilidad de conectividad dPC estima la importancia del nodo según la probabilidad de conectividad y considera tanto la cantidad de hábitat como su accesibilidad en la red de hábitats, así como la probabilidad de dispersión entre parches. Las salidas gráficas que representan este índice muestran los valores tanto para los nodos como para los enlaces; la identificación de los elementos más relevantes para la conectividad se realizó mediante el método de clasificación Natural Breaks (Jenks) (Smith M., 2023). En la Figura 5.2.2.68 y Figura 5.2.2.69, se observa que los valores del índice dPC son, en su mayoría, inferiores a 0,001 para los enlaces; no obstante, el AEI correspondiente a la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña se encuentra asociado a nodos con valores de dPC comprendidos entre 0,026 y 0,134 para la E1 *L. pardalis* y entre 0.016 y 0.109 para la E2 *O. leucopus*. Esto indica que dicho elemento cumple un papel relevante en la conectividad funcional del paisaje, actuando como un nodo estratégico para el mantenimiento de los flujos de movimiento de las especies evaluadas.

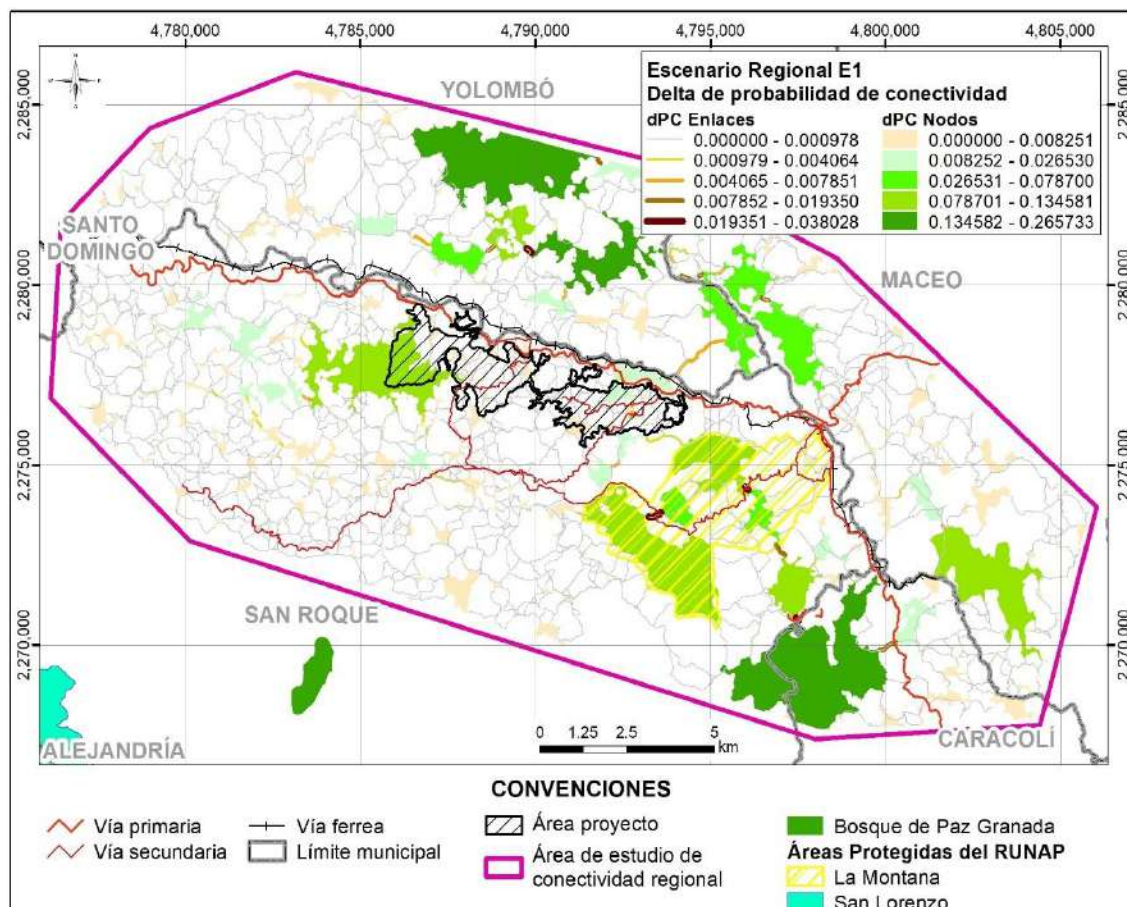


Figura 5.2.2.68. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* y las áreas de especial importancia ecológica escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

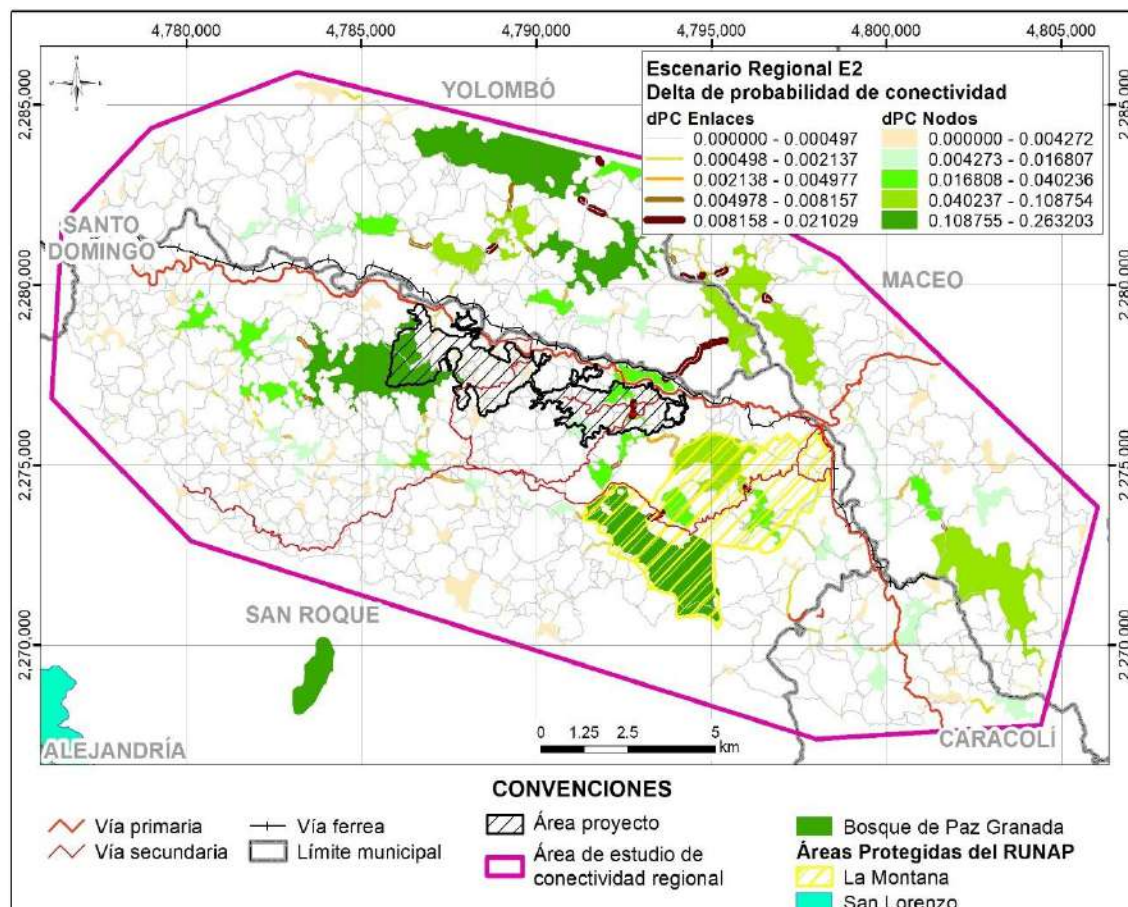


Figura 5.2.2.69. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* y las áreas de especial importancia ecológica escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

Por su parte, el delta del índice integral de conectividad (dIIC) estima la importancia de cada parche considerando tanto la cantidad de hábitat como su accesibilidad dentro de la red de hábitats, así como los enlaces entendidos como eventos potenciales de dispersión entre parches. Las salidas gráficas que representan este índice muestran igualmente valores para nodos y enlaces, y su clasificación se realizó mediante el método Natural Breaks (Jenks). En la Figura 5.2.2.70 y Figura 5.2.2.71 se observa que los valores del índice dIIC son mayoritariamente inferiores a 0,001 para los enlaces; no obstante, el AEI correspondiente a la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña se asocia a nodos con valores de dIIC comprendidos entre 0,0056 y 0,3257 para la E1 *L. pardalis* y entre 0,0066 y 0,2123 para la E2 *O. leucopus*, lo que evidencia nuevamente su relevancia como elemento clave para la conectividad estructural y funcional del paisaje.

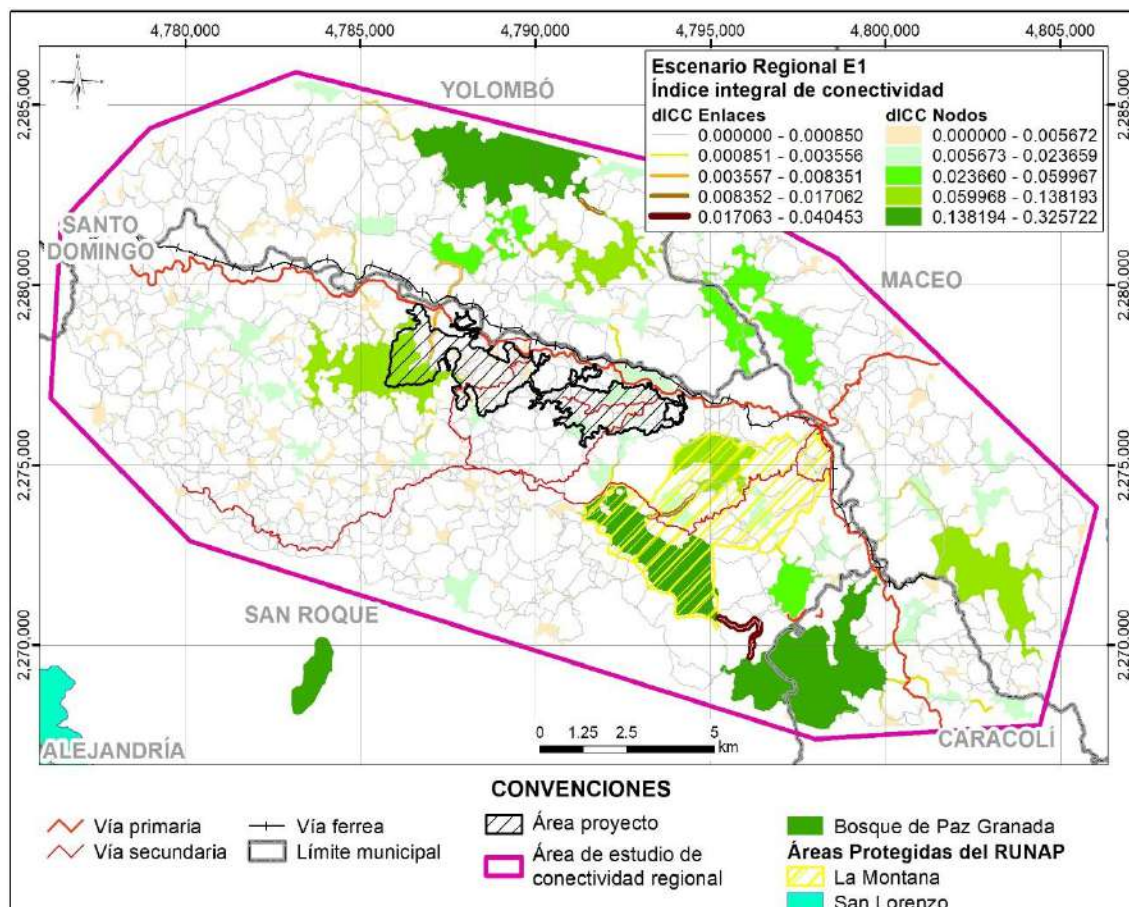


Figura 5.2.2.70. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* y las áreas de especial importancia ecológica escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

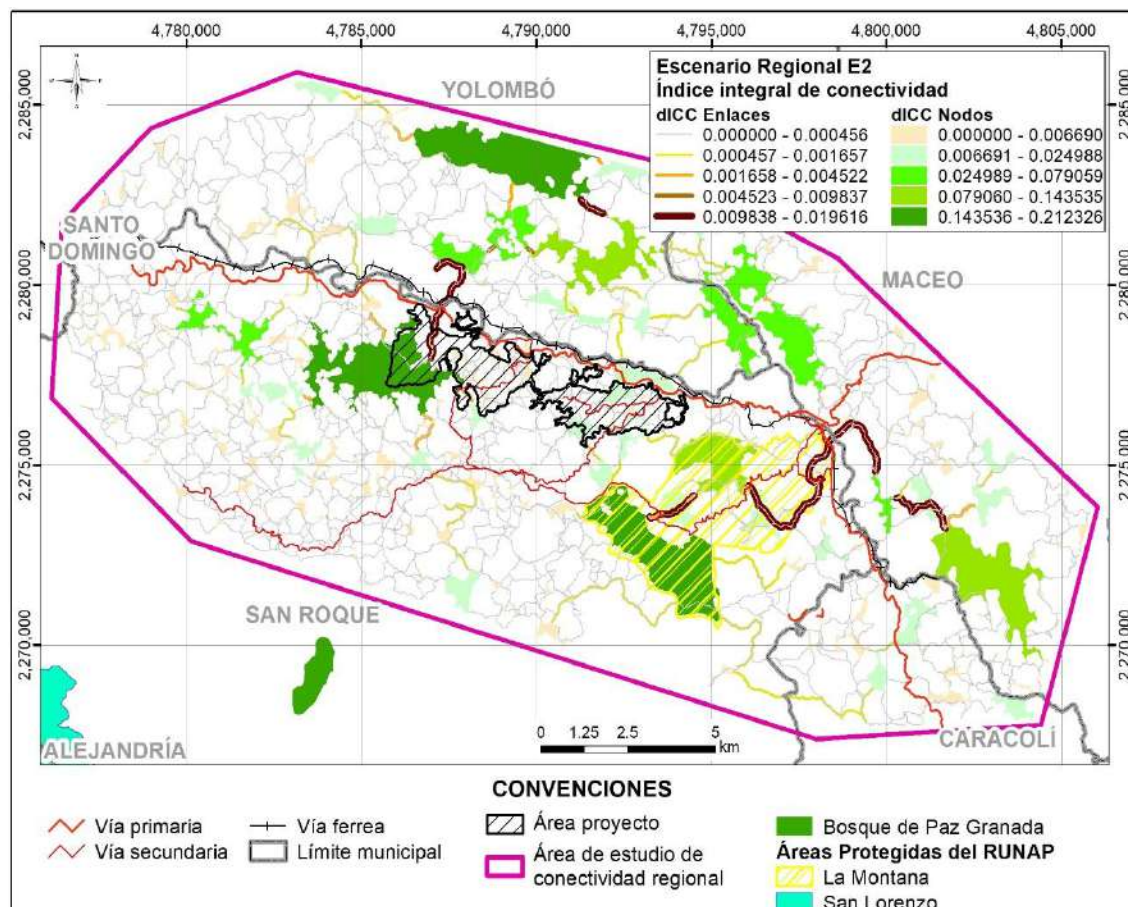


Figura 5.2.2.71. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* y las áreas de especial importancia ecológica escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

En complemento a estos resultados, el índice CCor permite interpretar la organización interna de la red de conectividad, al revelar si los parches con mayor nivel de conectividad (hubs) se encuentran agrupados entre sí o distribuidos entre parches menos conectados. Esta estructura incide directamente en procesos ecológicos clave, como la dispersión y el flujo génico, donde valores positivos del CCor asociados a la agrupación de hubs favorecen movimientos más rápidos y de mayor alcance, fortaleciendo la conectividad funcional. No obstante, esta misma configuración puede incrementar la vulnerabilidad del sistema frente a la propagación de disturbios, dado que redes con hubs altamente conectados facilitan la expansión de enfermedades o especies invasoras. En contraste, valores negativos del CCor reflejan una estructura más compartimentada, que contribuye a aislar perturbaciones, reducir efectos en cascada y aumentar la resiliencia y robustez del sistema frente a la pérdida de parches. En síntesis, el análisis del CCor resulta fundamental para evaluar el equilibrio entre una conectividad ecológica adecuada —clave para la conservación y la dispersión de las especies— y el riesgo asociado a la propagación de impactos negativos dentro del paisaje.

En las figuras Figura 5.2.2.72, Figura 5.2.2.73, Figura 5.2.2.74, Figura 5.2.2.75, Figura 5.2.2.76, Figura 5.2.2.77 se presenta la especialización de los resultados para las especies E1 *L. pardalis* y E2 *O. leucopus*, considerando los escenarios sin proyecto (0SP), con proyecto licenciado (1CPL) y con proyecto de esta modificación de licencia (2CPM). En este contexto, se evidencia que el AEI correspondiente a la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña se asocia a nodos con valores de CCor superiores a 0,06, lo cual indica que este elemento concentra parches altamente conectados y cumple un papel determinante en la organización de la red, actuando como un hub funcional que favorece la conectividad del paisaje y la persistencia de los flujos de dispersión de las especies evaluadas.

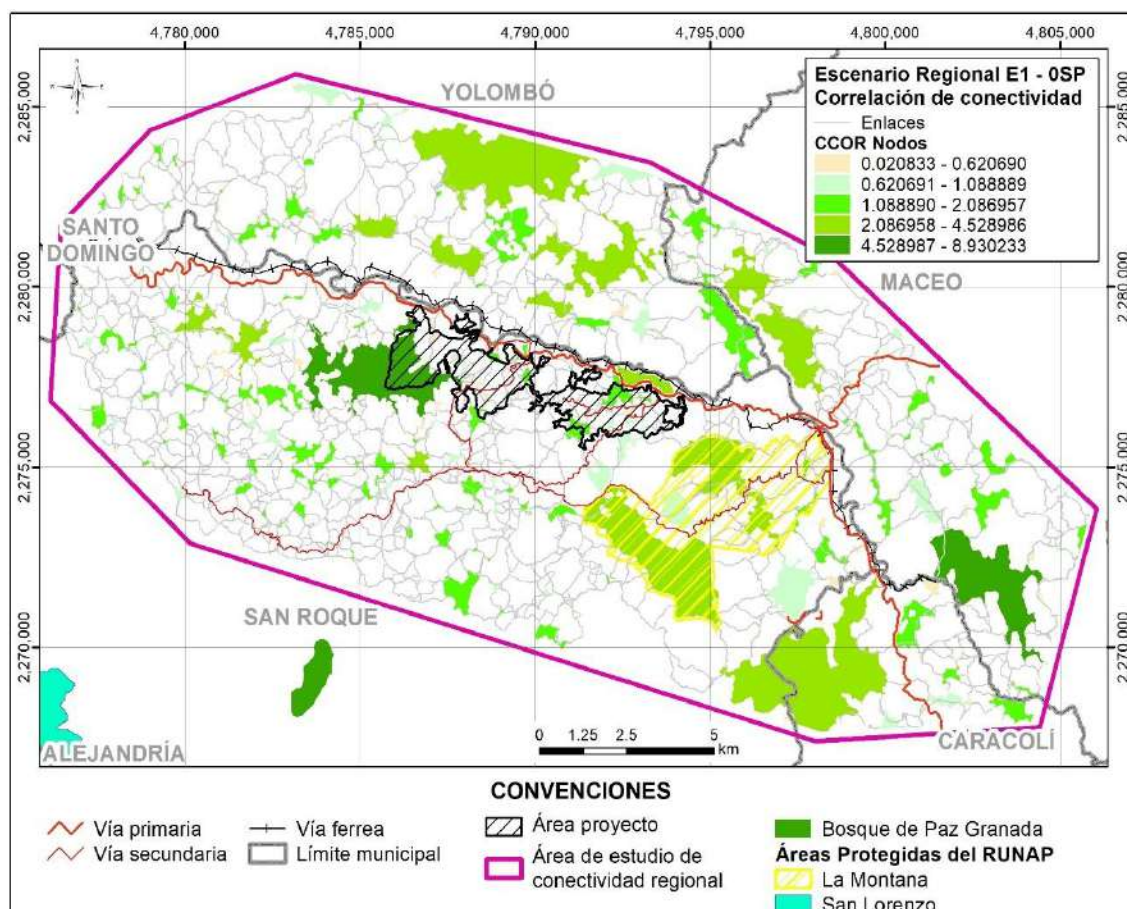


Figura 5.2.2.72. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* y las áreas de especial importancia ecológica escenario 0SP escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

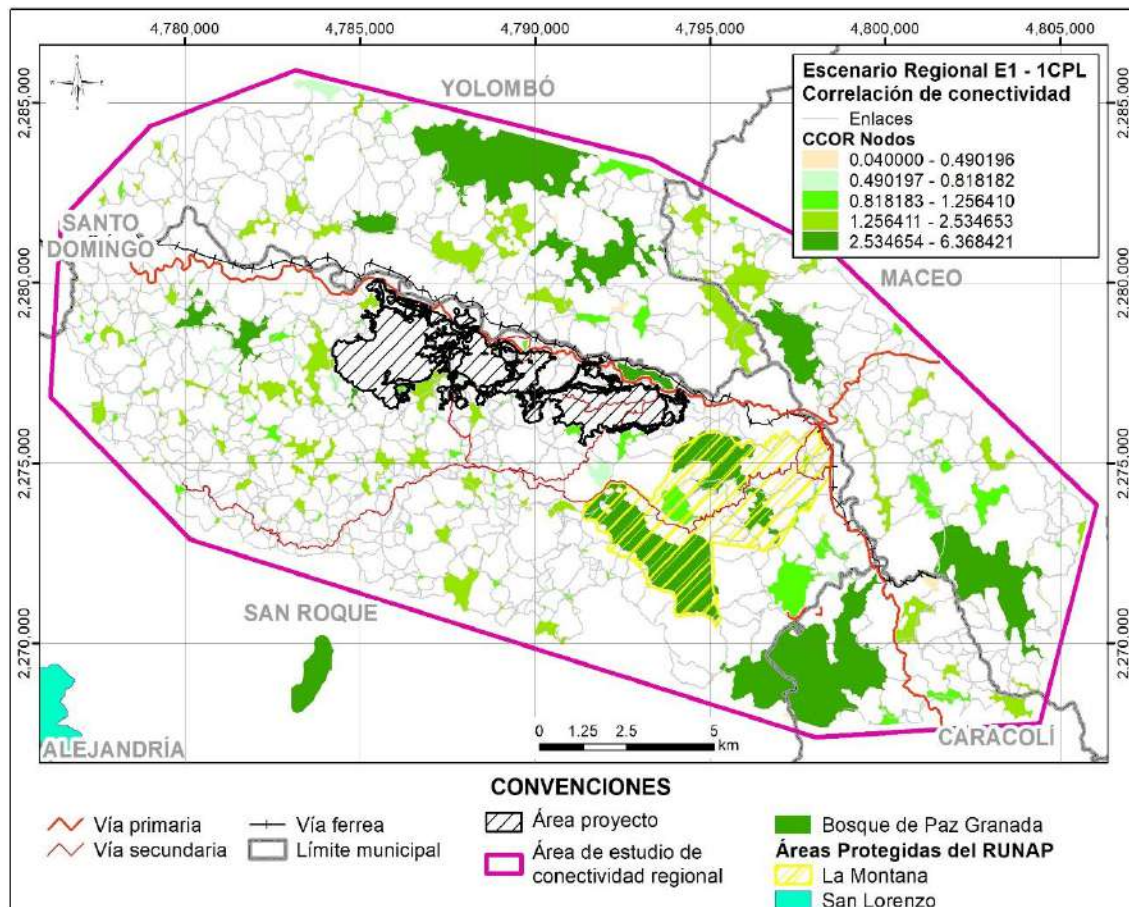


Figura 5.2.2.73. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* y las áreas de especial importancia ecológica escenario 1CPL escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

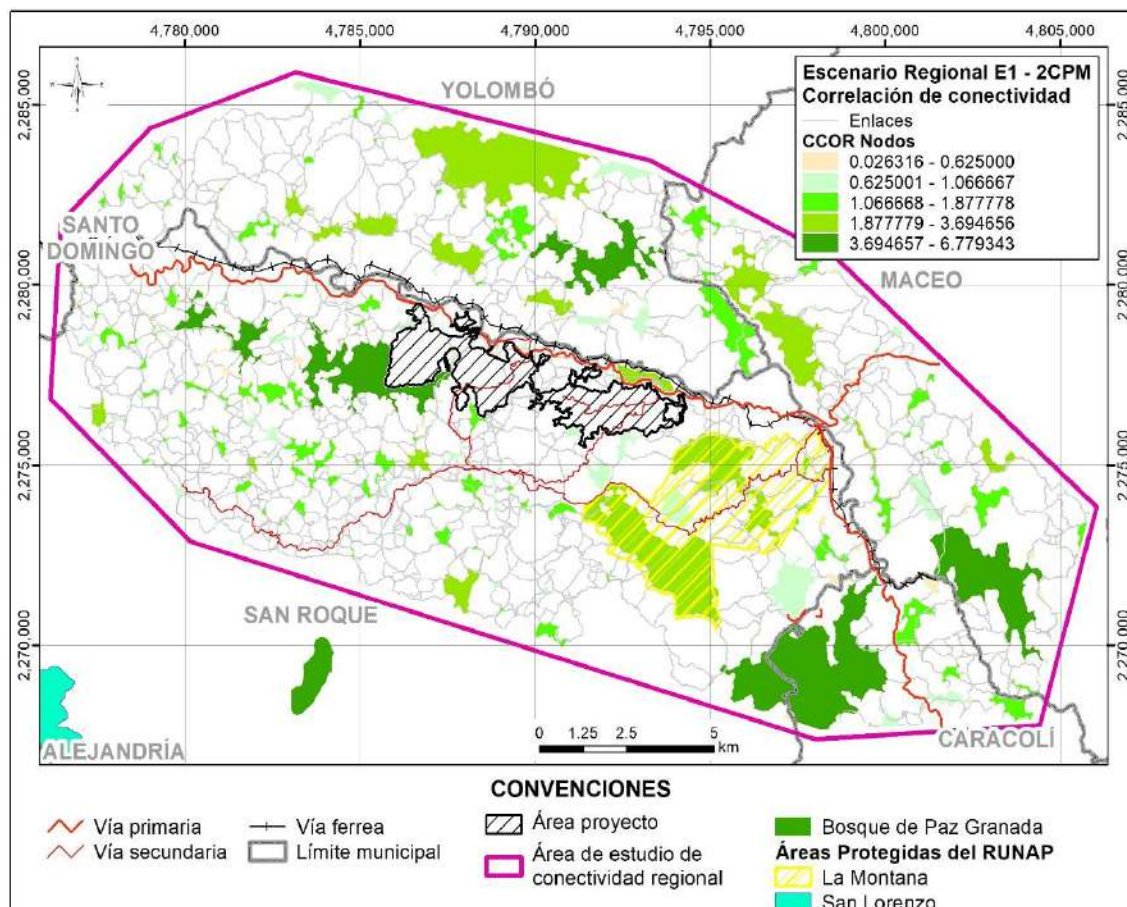


Figura 5.2.2.74. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* y las áreas de especial importancia ecológica escenario 2CPM escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

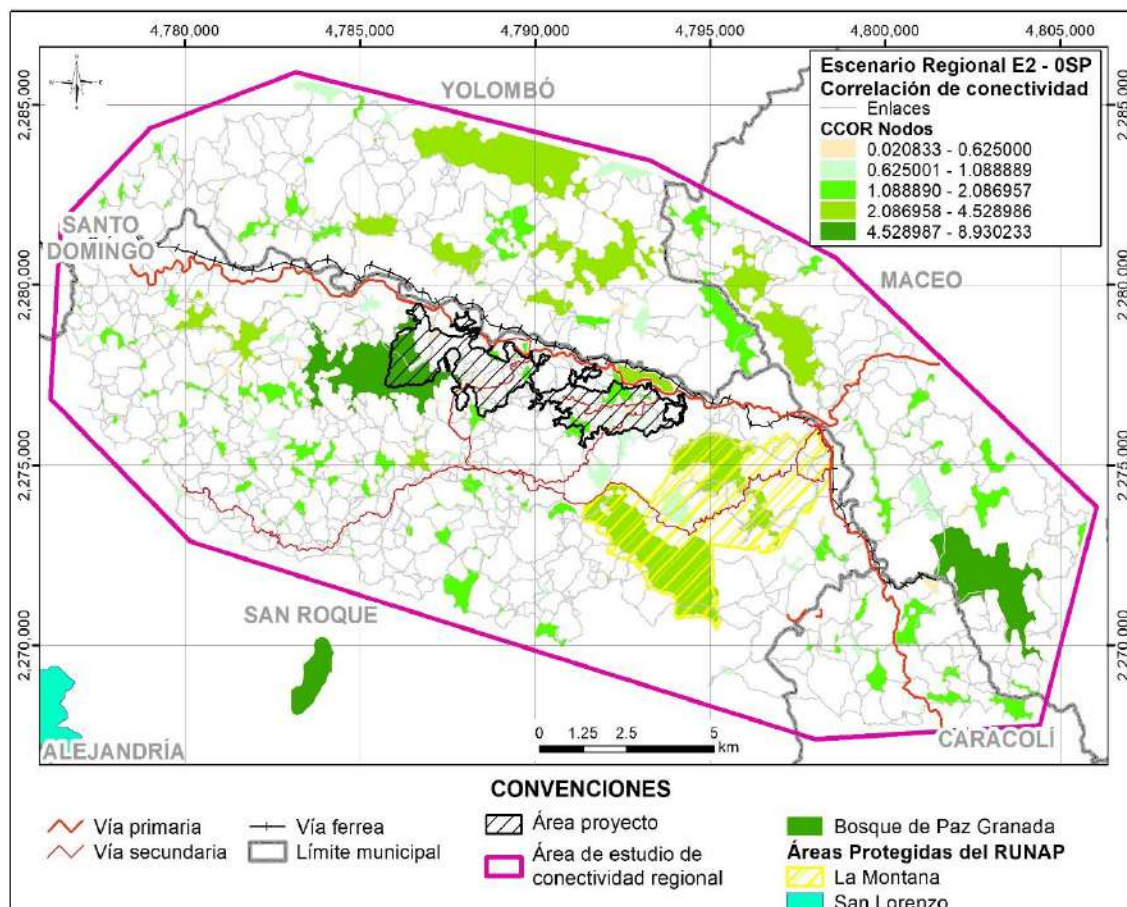


Figura 5.2.2.75. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* y las áreas de especial importancia ecológica escenario 0SP escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

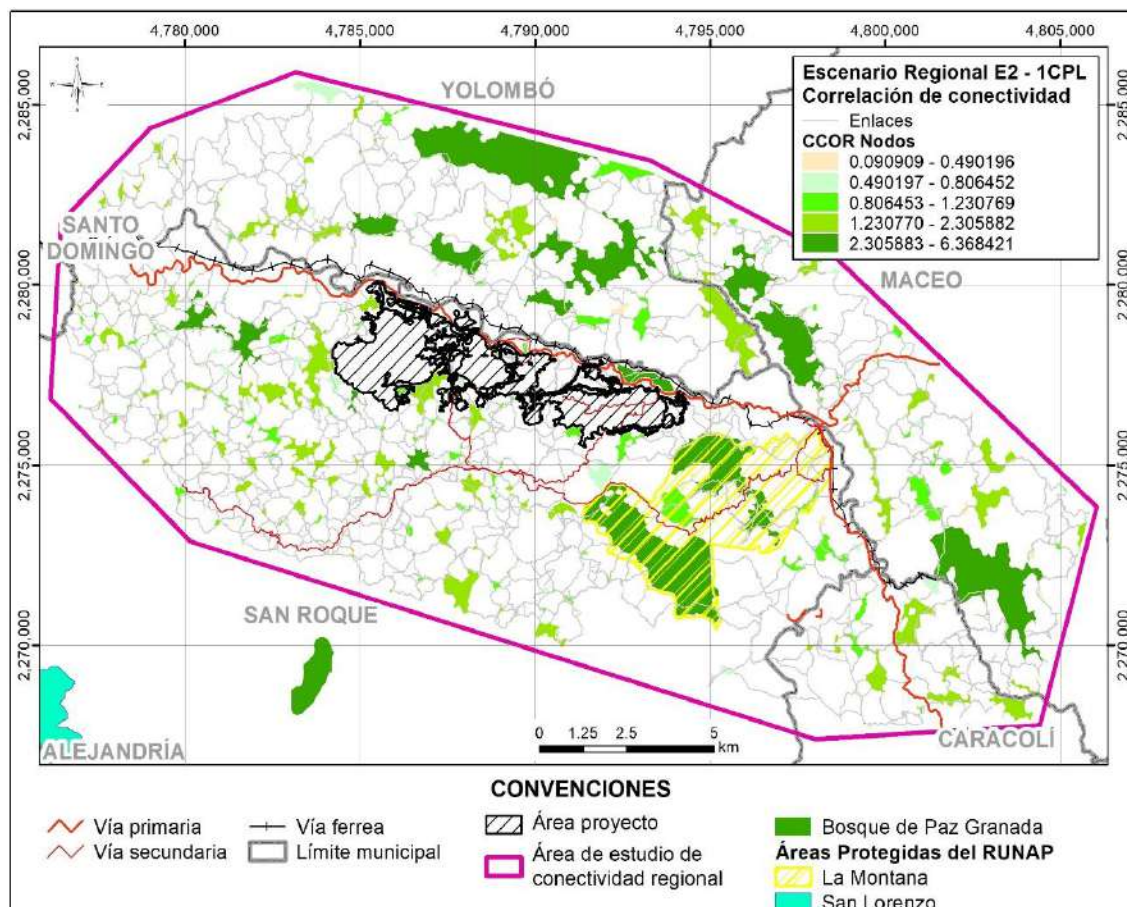


Figura 5.2.2.76. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* y las áreas de especial importancia ecológica escenario 1CPL escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

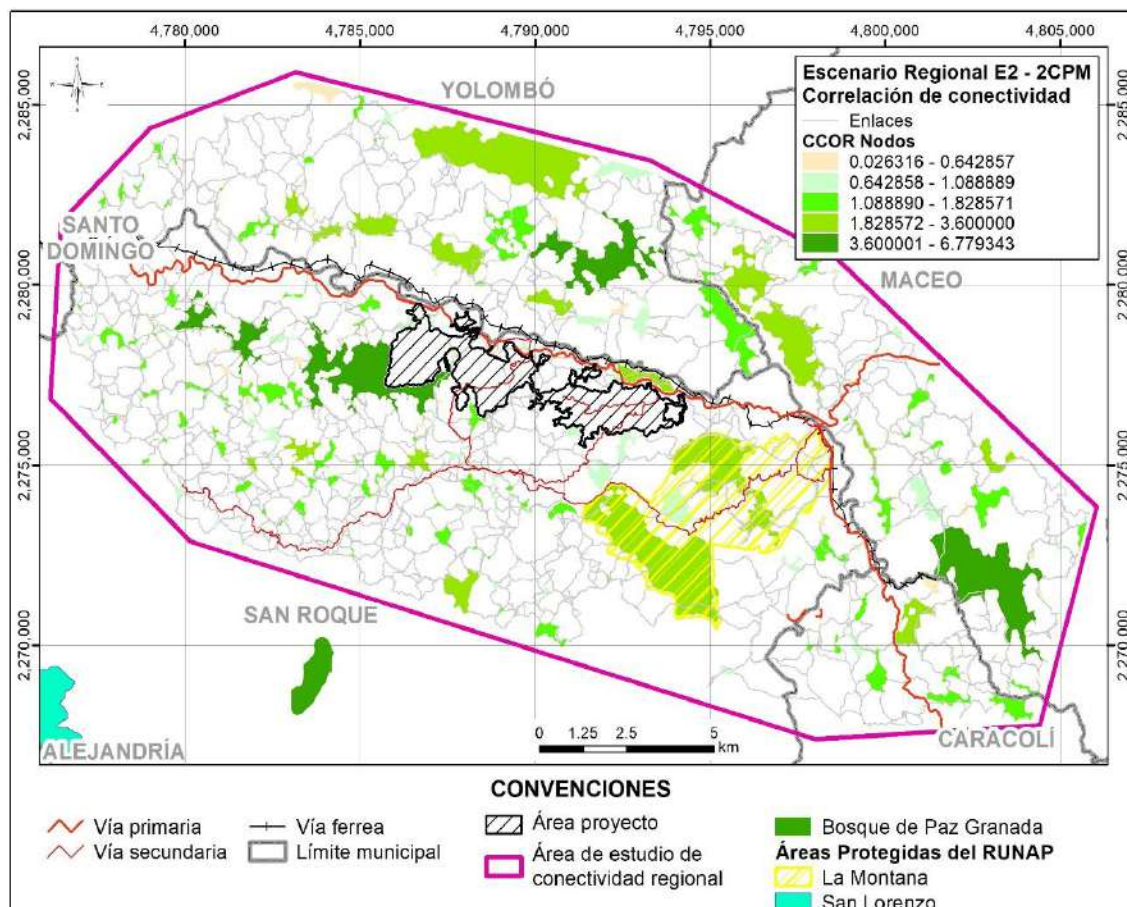


Figura 5.2.2.77. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* y las áreas de especial importancia ecológica escenario 2CPM escala regional.

Fuente: Integral S.A., 2025

De manera integrada, los resultados de los índices dPC y dIC evidencian que la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña constituye un elemento prioritario dentro de la red de conectividad del paisaje, al concentrar nodos con valores elevados tanto de probabilidad de conectividad como de accesibilidad del hábitat para las especies evaluadas. Esta condición resalta su importancia no solo en términos de conectividad funcional, asociada a la probabilidad de movimiento y dispersión entre parches, sino también en la conectividad estructural, vinculada a la cantidad y disposición del hábitat dentro de la red.

Sobre esta base, el análisis del índice CCor complementa la interpretación al permitir evaluar cómo se organiza dicha conectividad dentro del paisaje, particularmente en relación con la disposición de los parches más conectados. Los valores de CCor asociados a la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña, superiores a 0,06 en los distintos escenarios analizados (OSP, 1CPL y 2CPM) y para ambas especies (E1 *L. pardalis* y E2 *O. leucopus*), indican una tendencia a la agrupación de hubs, lo que refuerza el papel de este AEI como un nodo funcional dominante dentro de la red. En conjunto, estos resultados sugieren que la reserva no solo incrementa la conectividad del paisaje, sino que también

estructura la red de manera que favorece los flujos de dispersión y el mantenimiento de procesos ecológicos clave, aspecto central para la conservación de las especies evaluadas y para la evaluación de los efectos de los diferentes escenarios del proyecto sobre la conectividad ecológica.

III. Definición y delimitación del área de estudio local

Con el fin de identificar y delimitar el área de estudio de la conectividad local, se realizó el siguiente análisis sobre la información en la escala regional: se calculó la diferencia en el índice de correlación de la conectividad (CCor) para los escenarios 1CPL–0SP y 2CPM–0SP, para ambas especies evaluadas (E1 *L. pardalis* y E2 *O. leucopus*). Este análisis permitió identificar y cuantificar las variaciones en la red de conectividad, particularmente a nivel de los nodos, y definir el área de influencia local, como el polígono envolvente que integra aquellos elementos de la red que presentan cambios en su comportamiento de conectividad. La definición del área de estudio local permite enfocarse en la porción del territorio donde se espera sucedan los cambios en la conectividad a la escala local, del proyecto.

- **Cambio en la correlación de la conectividad (CCor) de (1CPL-0SP) y (2CPM-0SP)**

En las figuras Figura 5.2.2.78, Figura 5.2.2.79, Figura 5.2.2.80 y Figura 5.2.2.81 se representan los cambios espaciales del índice CCor para las especies E1 *L. pardalis* y E2 *O. leucopus* para los escenarios 1CPL–0SP y 2CPM–0SP. En estas salidas gráficas, los nodos que evidencian un aumento en la conectividad se identifican en color verde, aquellos que no presentan variaciones se muestran en color gris, mientras que los nodos que registran una pérdida en la correlación de la conectividad se representan en color coral. De esta manera, se visualiza de forma clara la distribución espacial de los efectos del proyecto sobre la conectividad y la conformación del área de estudio local, la cual integra exclusivamente los elementos de la red que presentan algún tipo de cambio.

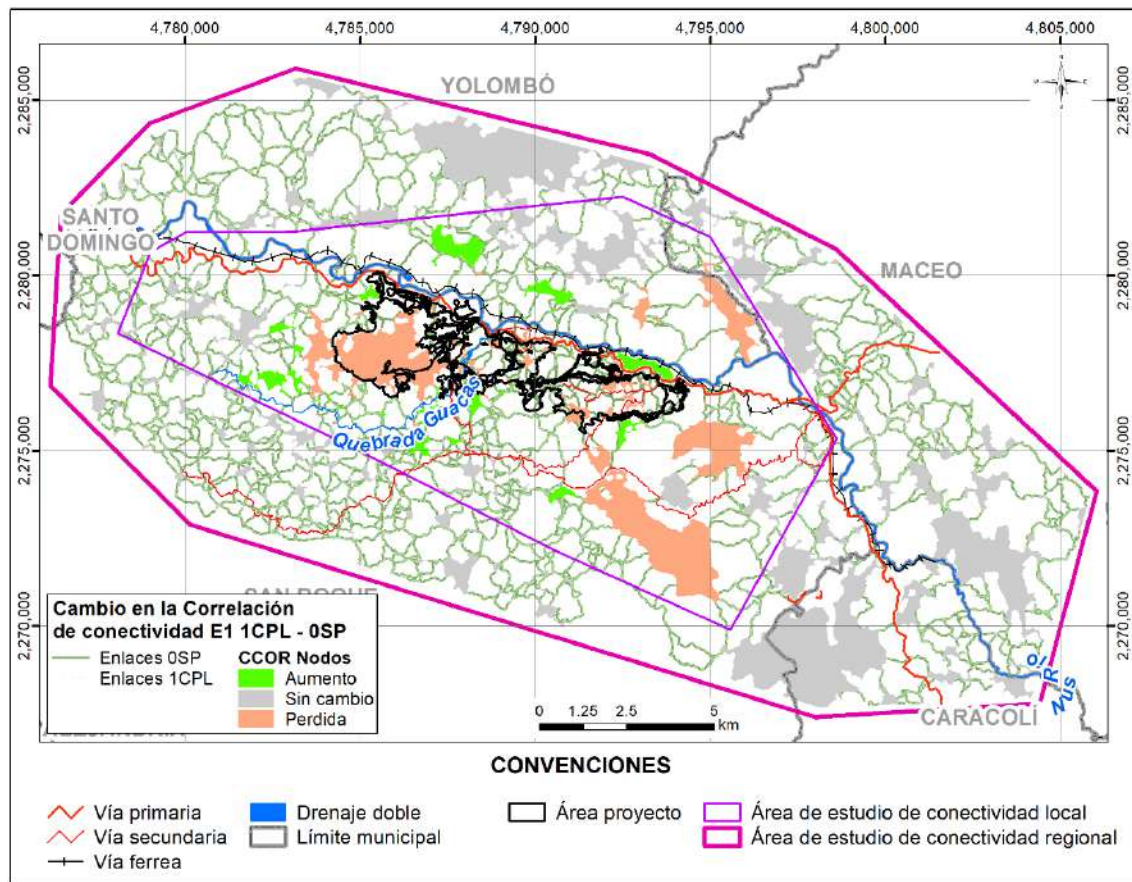


Figura 5.2.2.78. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 1CPL-0SP en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.

Fuente: Integral S.A., 2026

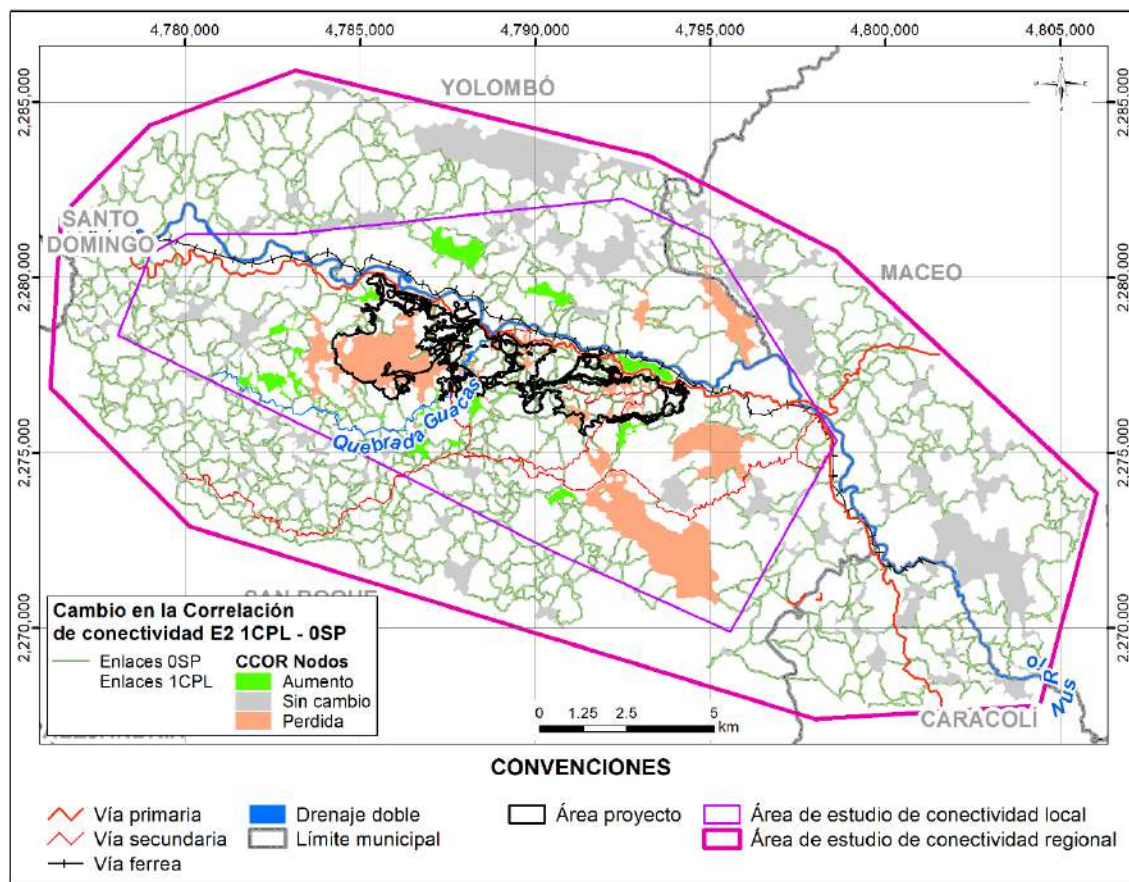


Figura 5.2.2.79. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 1CPL-0SP en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.

Fuente: Integral S.A., 2026

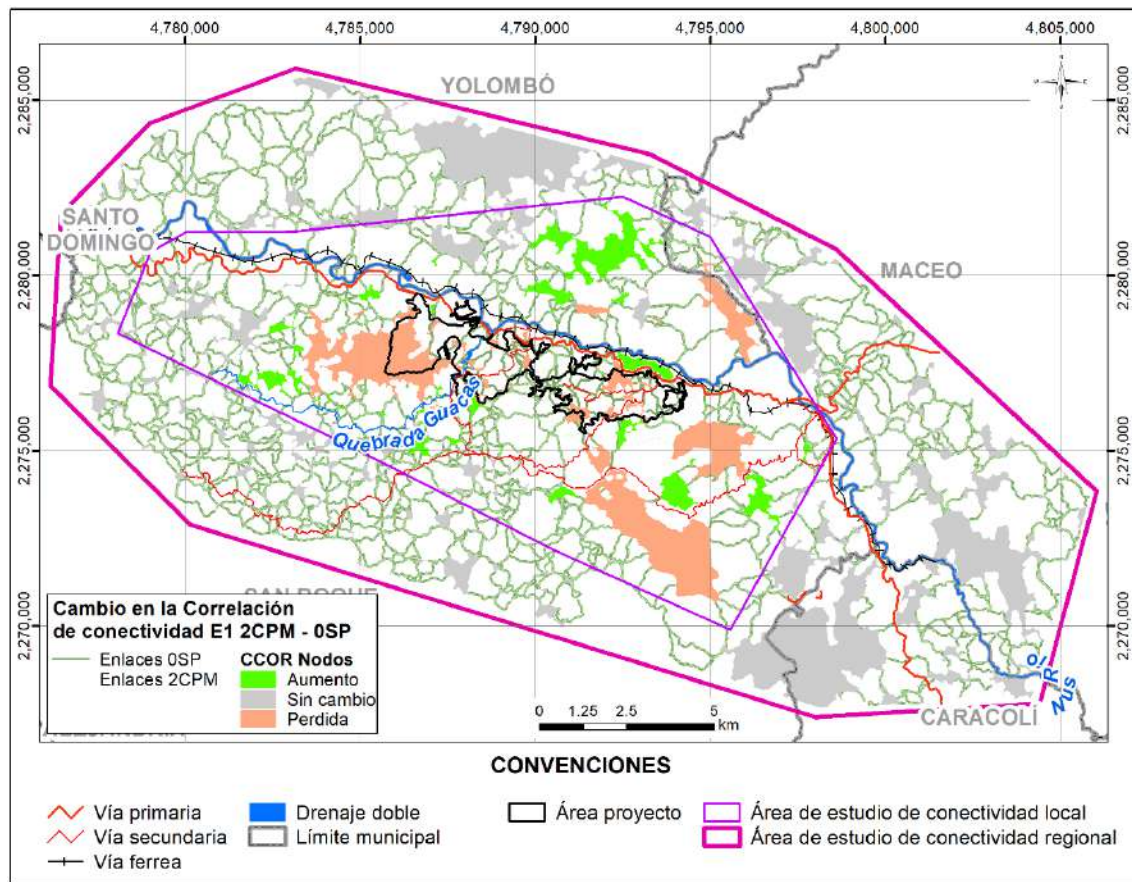


Figura 5.2.2.80. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 2CPM-OSP en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.

Fuente: Integral S.A., 2026

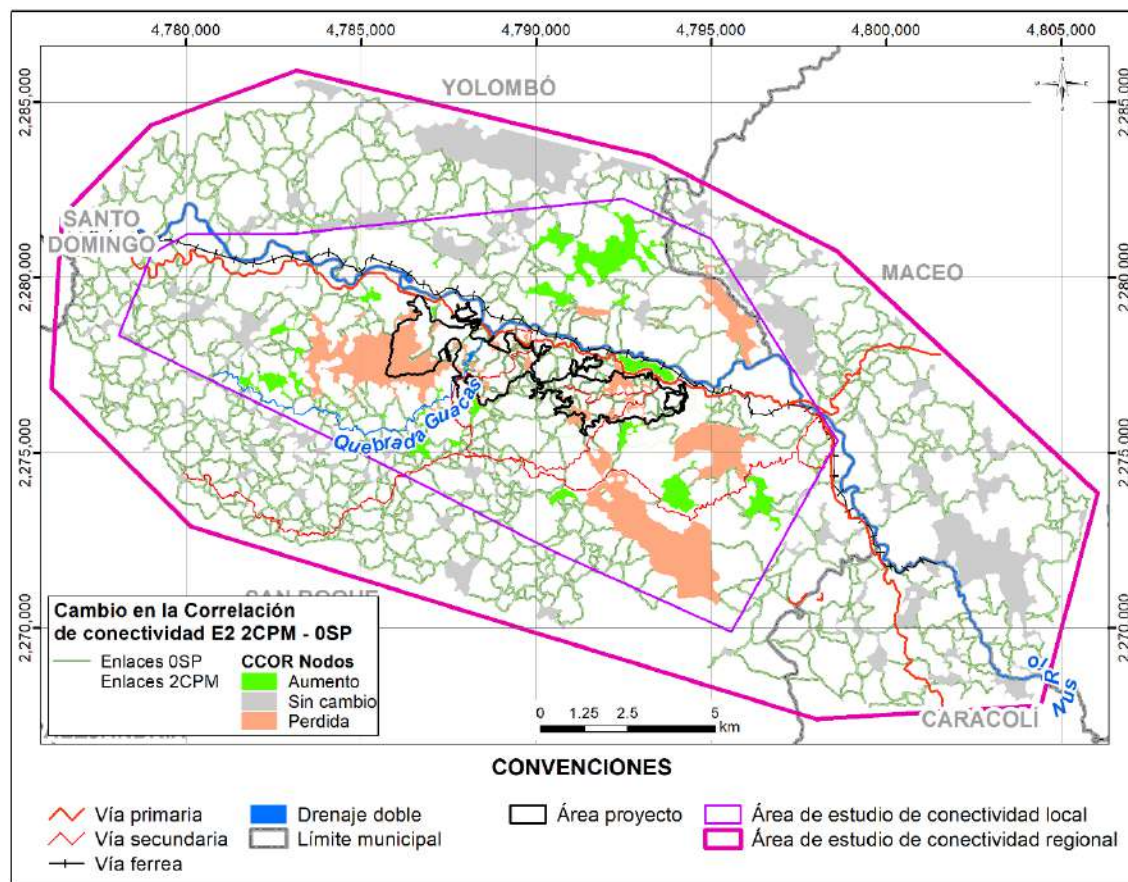


Figura 5.2.2.81. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 2CPM-0SP en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.

Fuente: Integral S.A., 2026

- **Cambio en la correlación de la conectividad (CCor) de (1CPL-0SP) y (2CPM-0SP) + AEL**

Adicionalmente, los resultados del cambio en el índice CCor fueron contrastados con elementos de importancia para la conectividad, como las Áreas de Especial Importancia Ecológica (AEI) presentes en el territorio. En particular, se observa que el AEI correspondiente a la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña se asocia a nodos que presentan cambios negativos del índice CCor para ambas especies en el escenario 1CPL-0SP, lo que sugiere una disminución local en la correlación de la conectividad bajo este escenario. No obstante, para el escenario 2CPM-0SP, además de nodos con cambios negativos (color coral), se identifican nodos con incrementos en la conectividad (color verde), lo que indica una respuesta diferenciada de la red y una posible recuperación parcial o redistribución de la conectividad local. El detalle se encuentra en las figuras Figura 5.2.2.82, Figura 5.2.2.83, Figura 5.2.2.84 y Figura 5.2.2.85.

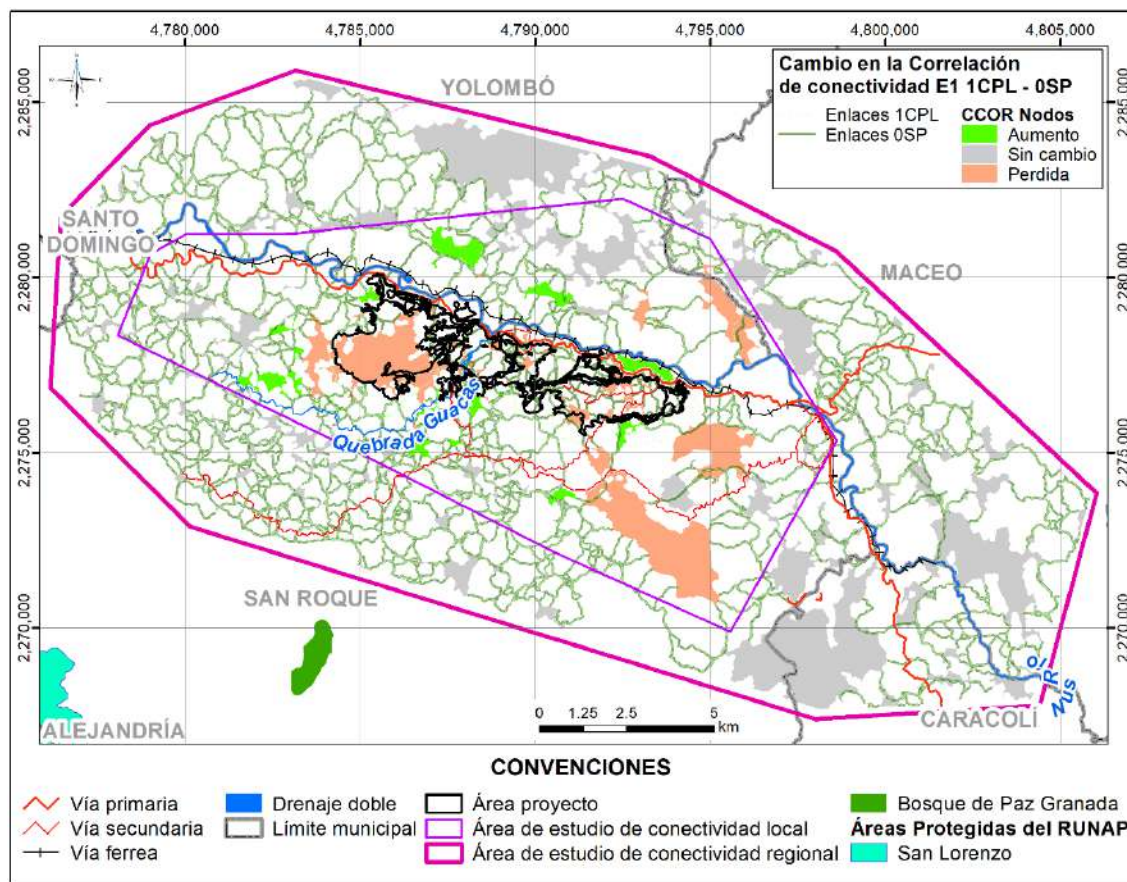


Figura 5.2.2.82. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 1CPL-0SP en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* y las áreas de especial importancia ecológica analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.

Fuente: Integral S.A., 2026

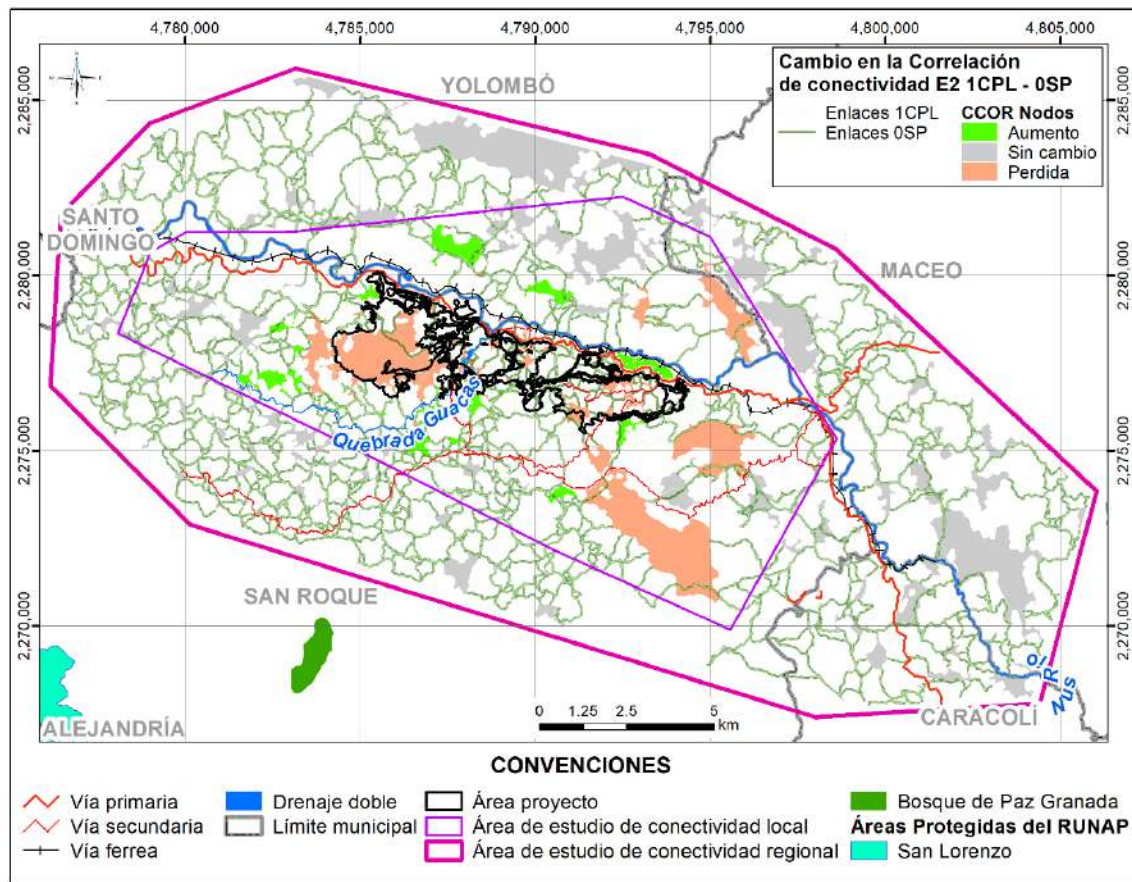


Figura 5.2.2.83. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 1CPL-0SP en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* y las áreas de especial importancia ecológica analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.

Fuente: Integral S.A., 2026

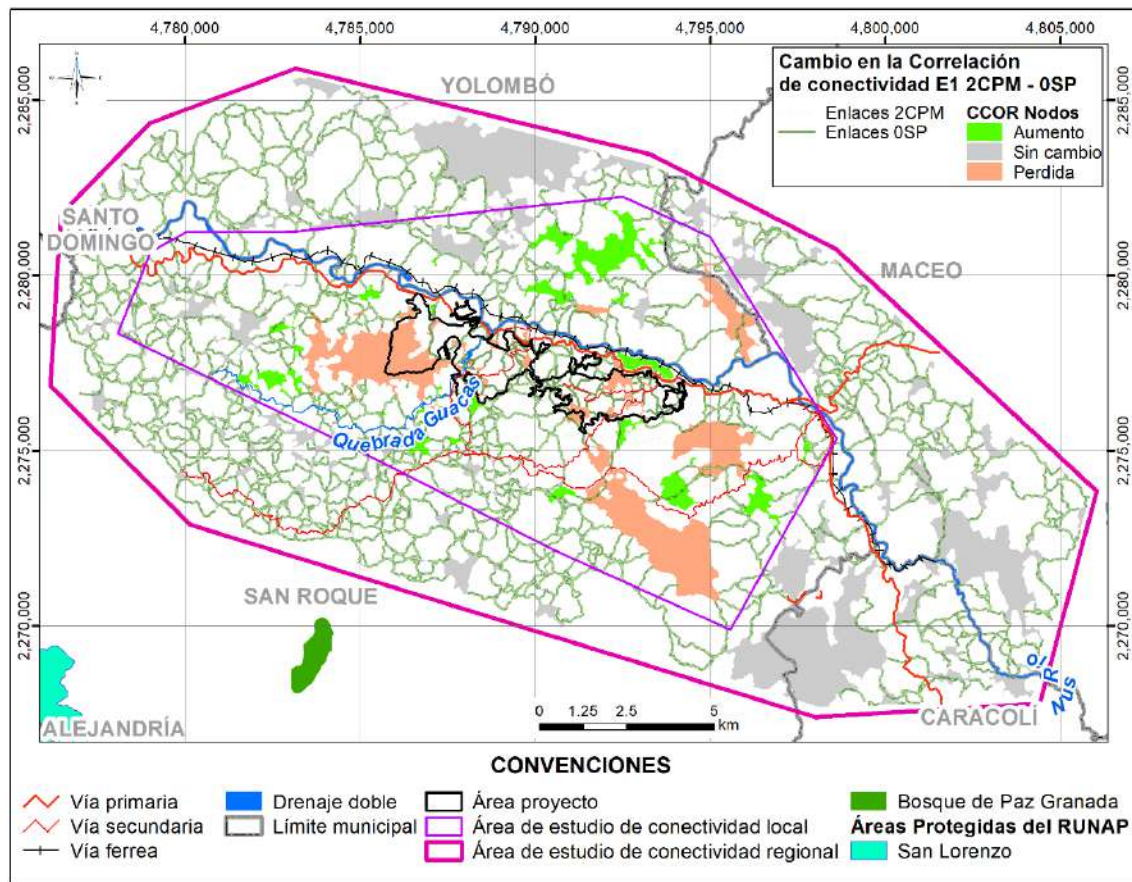


Figura 5.2.2.84. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 2CPM-OSP en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* y las áreas de especial importancia ecológica analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.

Fuente: Integral S.A., 2026

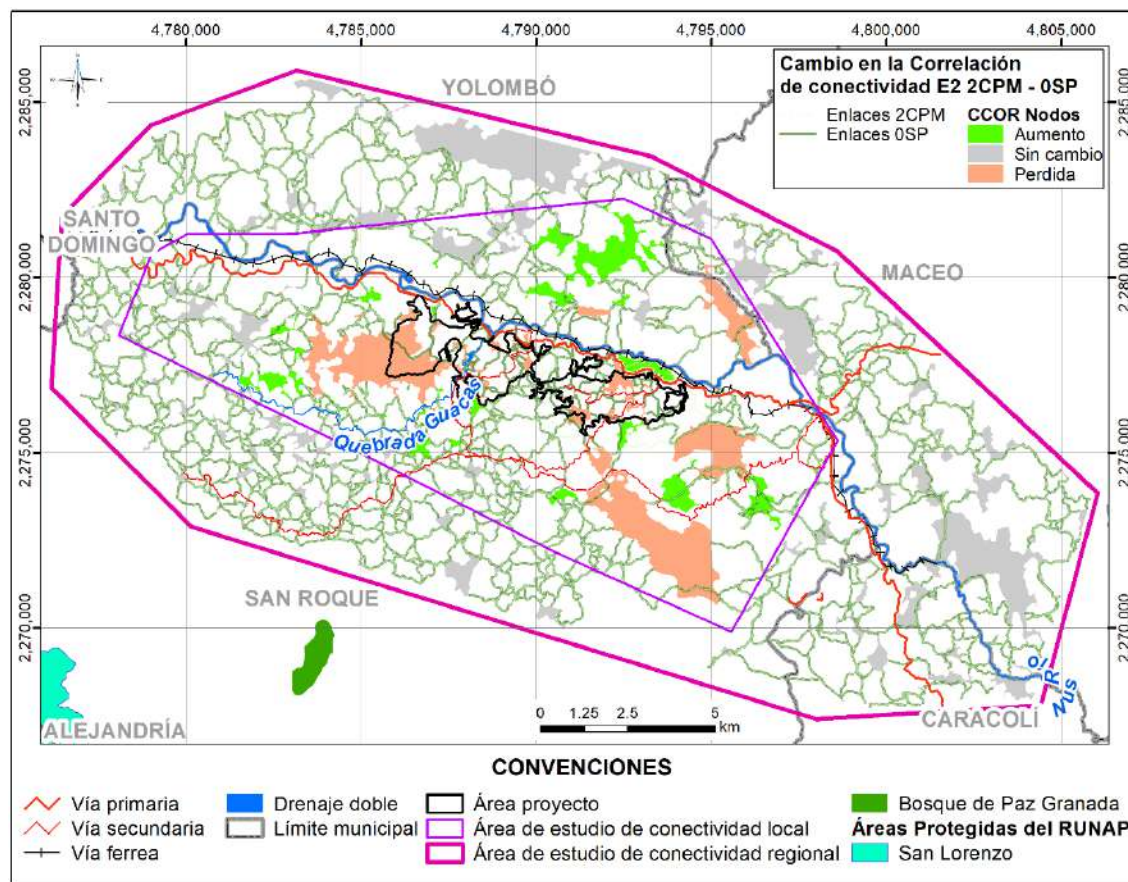


Figura 5.2.2.85. Cambios en el índice de correlación de conectividad (CCor) 2CPM-OSP en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* y las áreas de especial importancia ecológica analizados en la escala regional para definir el área de estudio de conectividad local.

Fuente: Integral S.A., 2026

En conjunto, estos resultados permiten evidenciar que el análisis del índice CCor constituye una herramienta clave para delimitar el área de influencia de la conectividad local y para identificar los sectores del territorio donde el proyecto genera mayores variaciones en la estructura de la red. Asimismo, la relación observada entre los cambios en la conectividad y las AEI, particularmente la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña, resalta la necesidad de considerar estos elementos estratégicos en la evaluación de impactos y en la formulación de medidas de manejo orientadas a mantener y fortalecer la conectividad ecológica del paisaje.

A partir de la identificación de los elementos donde se identifica variaciones en la red de conectividad actual se define y delimita el área de estudio local y se presenta en la Figura 5.2.2.86.

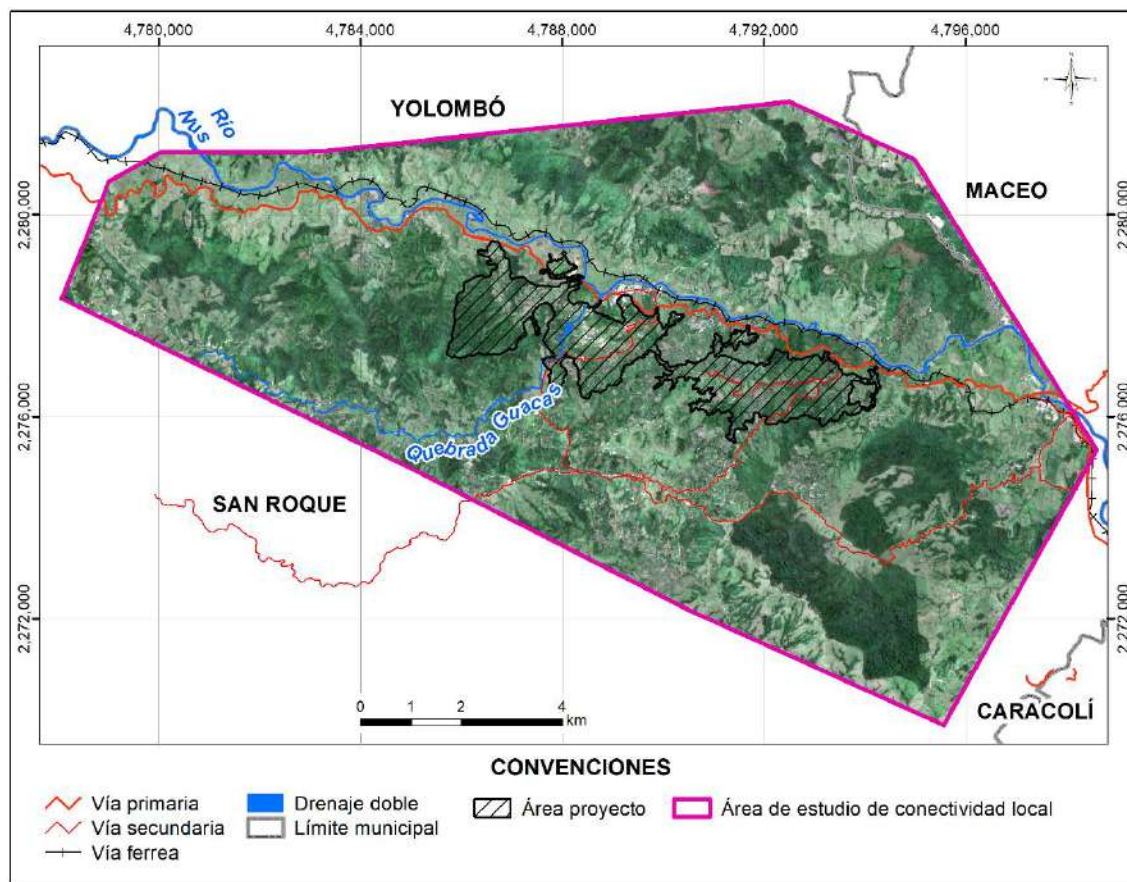


Figura 5.2.2.86. Área de estudio de conectividad local.

Fuente: Integral S.A., 2026

o. Resultados de la modelación del área de conectividad local

Para el análisis a escala local, se presentan las matrices de resistencia, así como los resultados de la red de conectividad teórica y sus índices de conectividad, correspondientes a la especie E1 *Leopardus pardalis* y a la especie E2 *Oedipomidas leucopus*. Los resultados a escala de análisis local serán utilizados tanto para la definición del área de influencia de conectividad como para la caracterización (escenario 0SP).

I. Matriz de resistencia sin proyecto (0SP)

A continuación, se presenta la calificación de las variables bióticas y abióticas y la matriz de resistencia final para el escenario 0SP para la especie E1 *L. pardalis* y la especie E2 *O. leucopus*.

i. Variables bióticas

En las Figura 5.2.2.87 y Figura 5.2.2.88 se muestra la espacialización de la variable biótica NDVI para las especies E1 y E2. También se espacializa la localización del proyecto para ubicación geográfica.

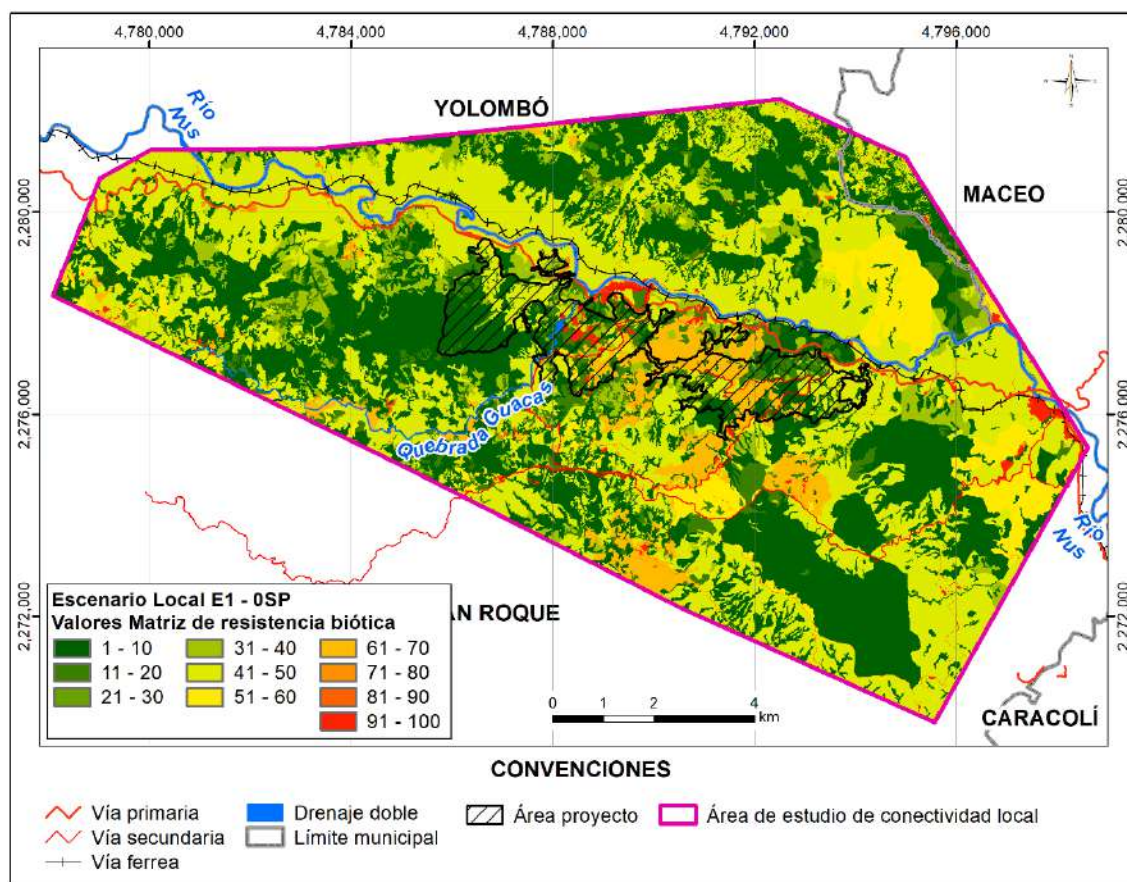


Figura 5.2.2.87. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

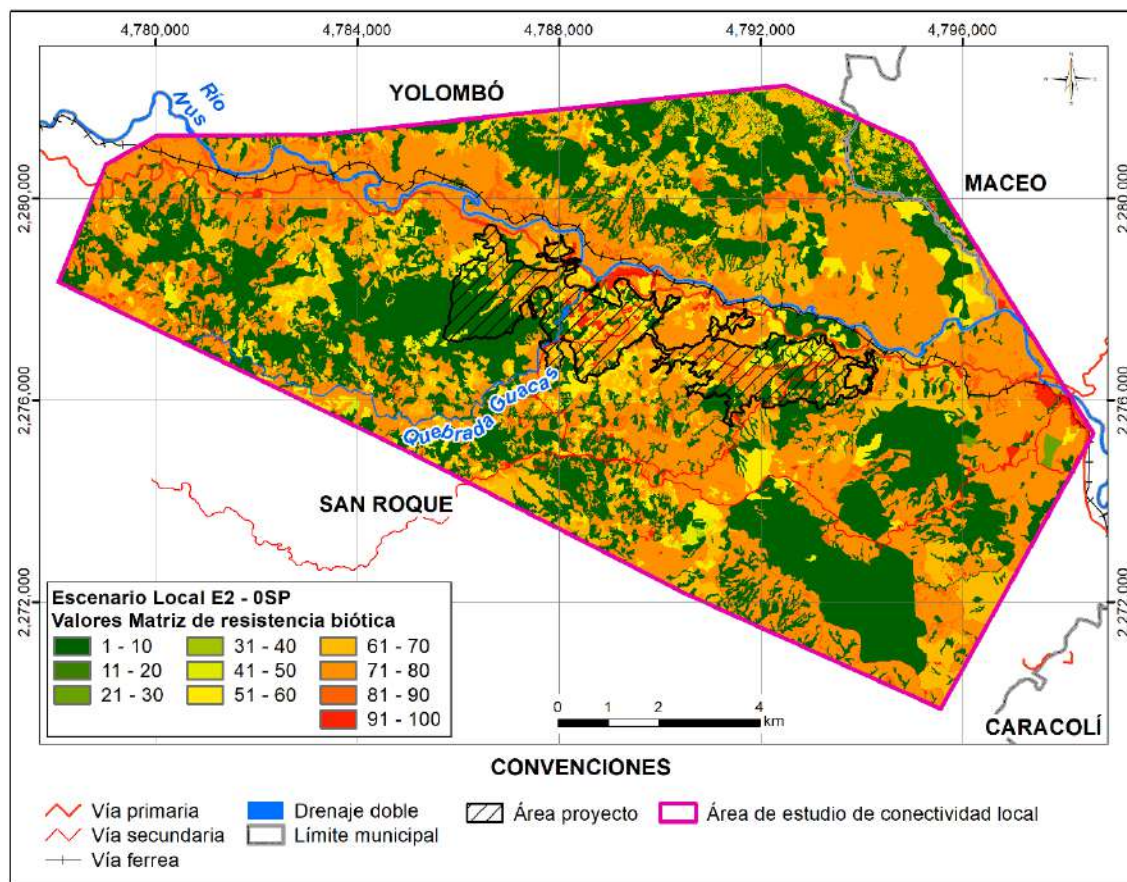


Figura 5.2.2.88. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (OSP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

ii. Variables abióticas

En las Figura 5.2.2.89 y Figura 5.2.2.90 las Figura 5.2.2.36 se muestra la espacialización de la variable abiótica construcciones, en las Figura 5.2.2.91 y Figura 5.2.2.92 se muestra la variable vías, en las Figura 5.2.2.93 y Figura 5.2.2.94 la variable pendientes y en la Figura 5.2.2.95 y Figura 5.2.2.96 la variable actividad minera para las especies E1 y E2.

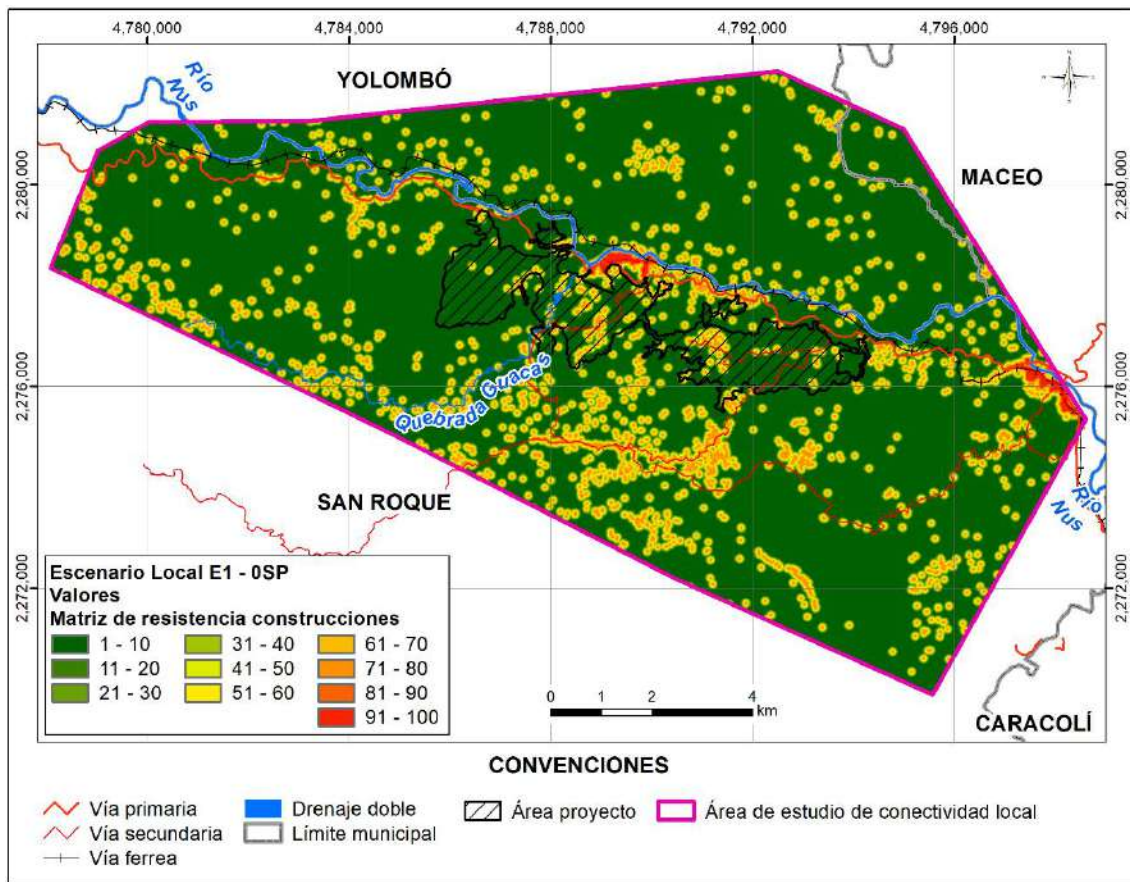


Figura 5.2.2.89. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

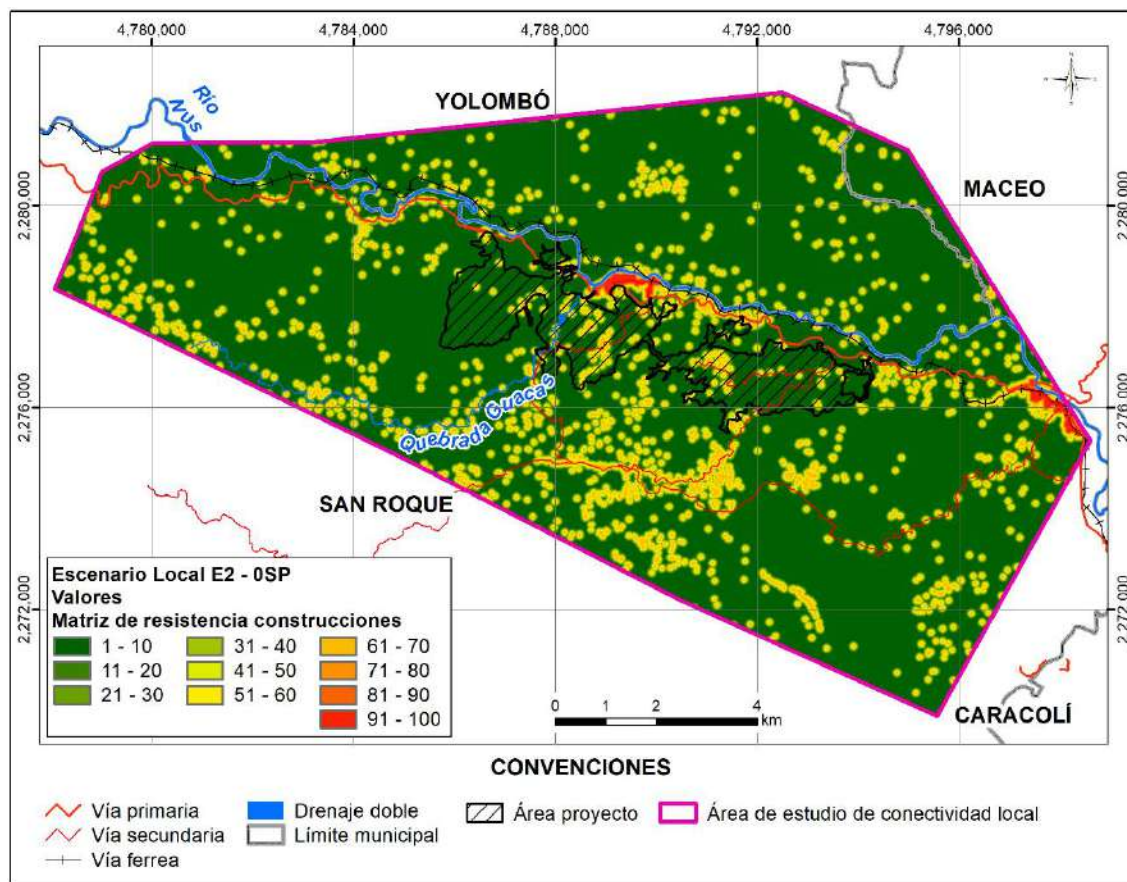


Figura 5.2.2.90. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

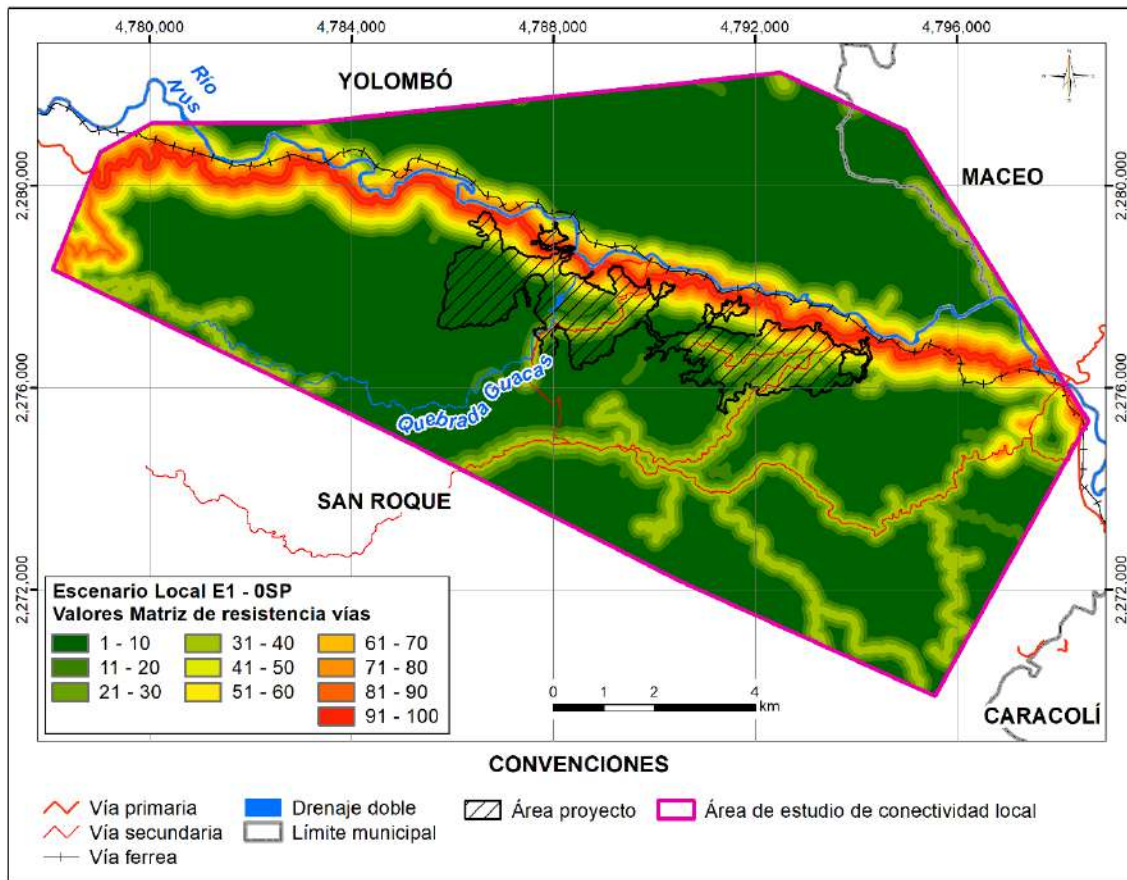


Figura 5.2.2.91. Calificación de la variable abiótica vías para la (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

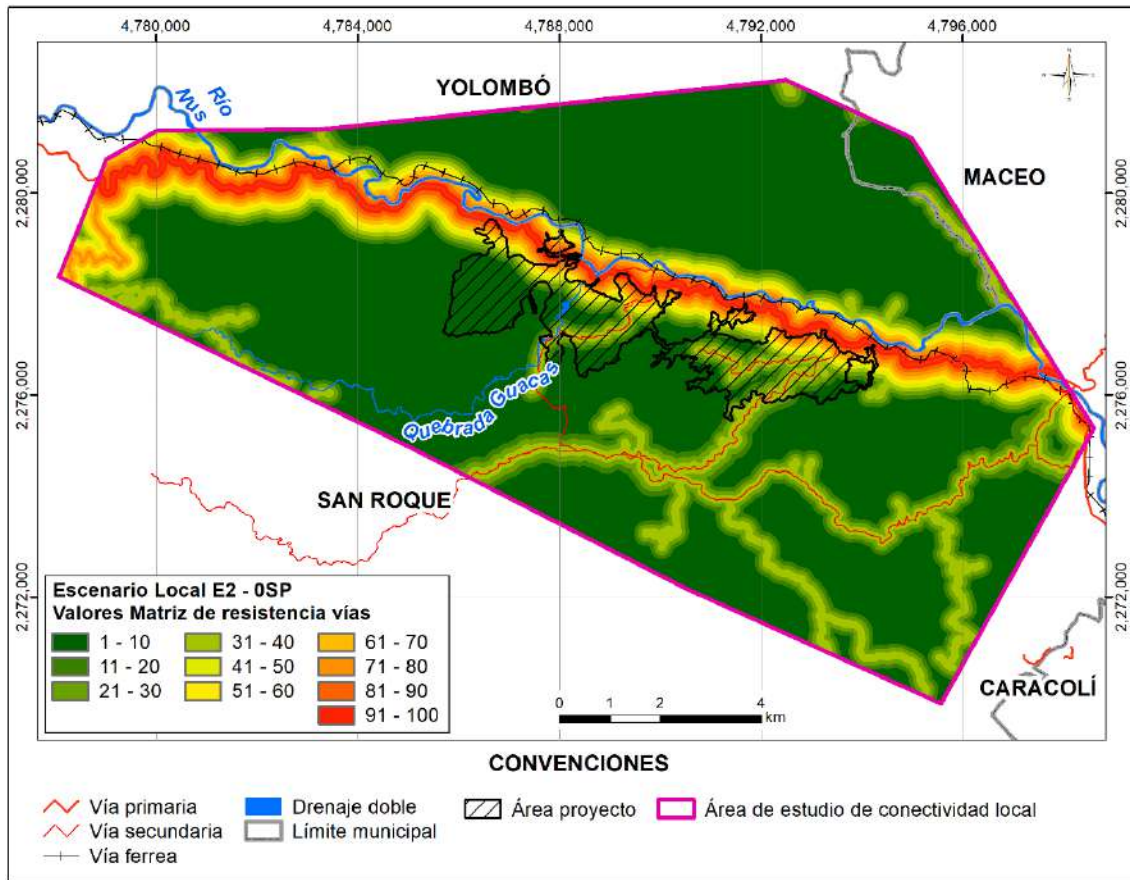


Figura 5.2.2.92. Calificación de la variable abiótica vías para la (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (OSP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

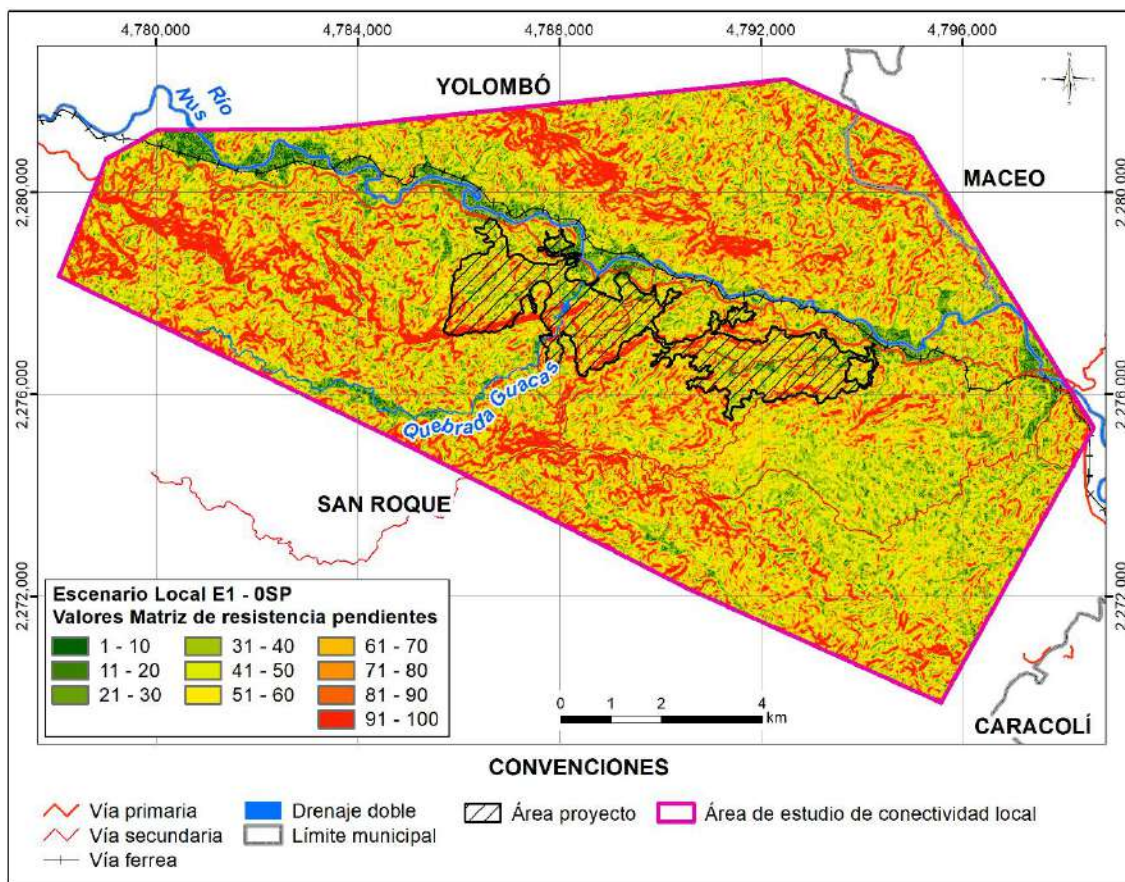


Figura 5.2.2.93. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (OSP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

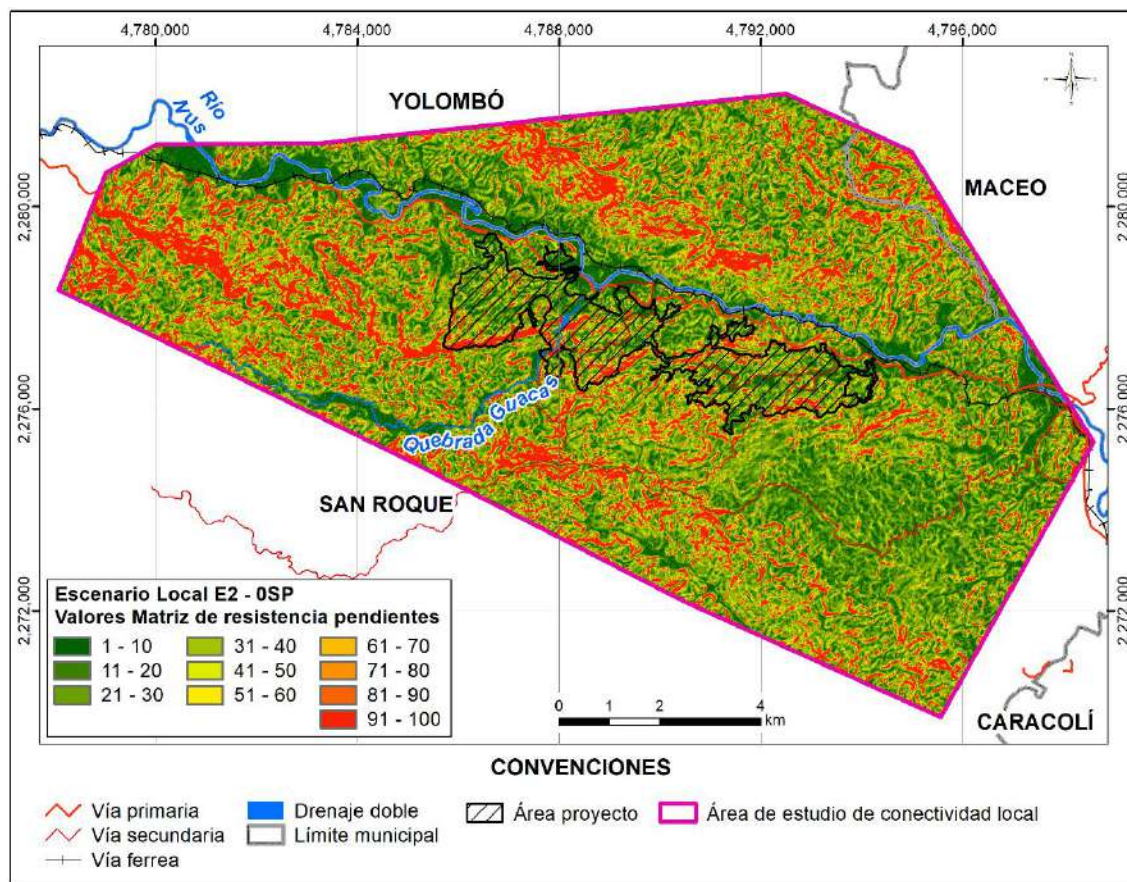


Figura 5.2.2.94. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (OSP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

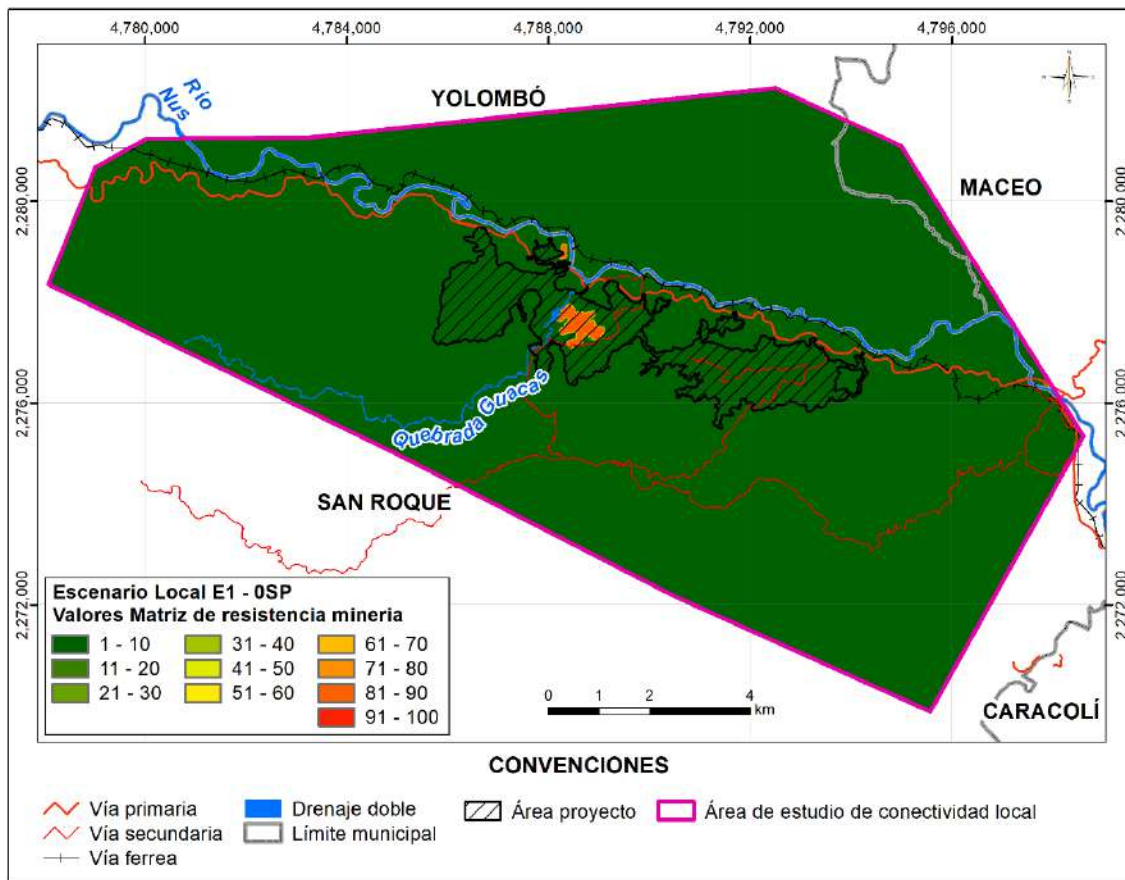


Figura 5.2.2.95. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

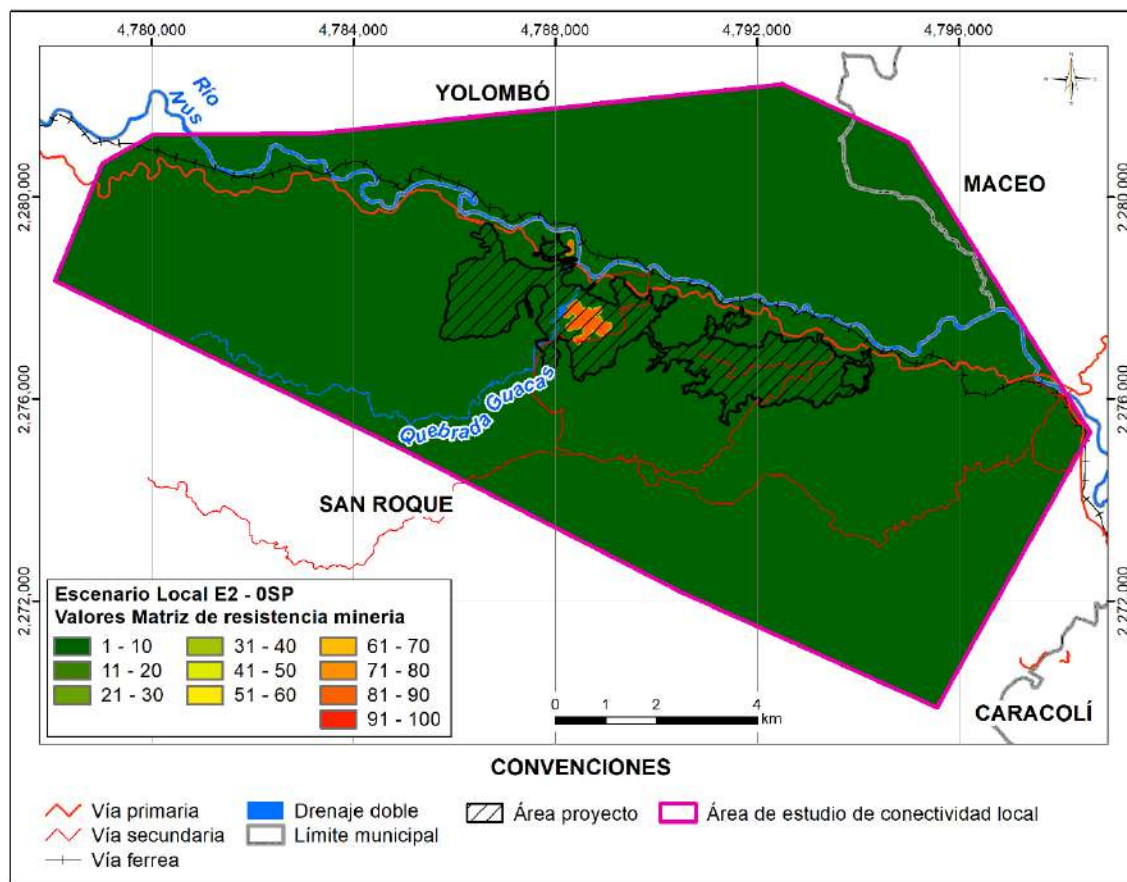


Figura 5.2.2.96. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

Las Figura 5.2.2.97 y Figura 5.2.2.98 presenta las calificaciones de la variable abiótica correspondiente a la suma ponderada de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera para la especie E1 *L. pardalis* y la E2 *O. leucopus*

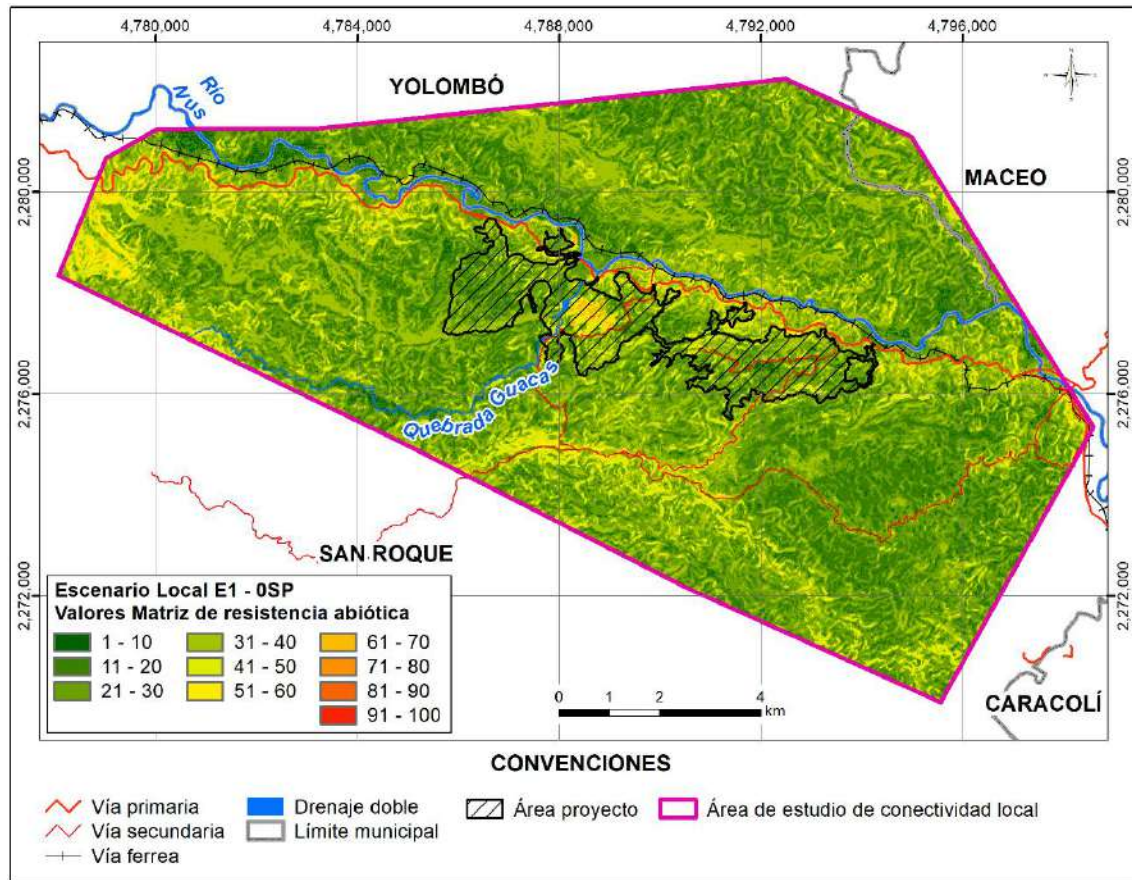


Figura 5.2.2.97. Suma de la calificación de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera de la variable biótica para la (E1) *Leopardus pardalis* escenario sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

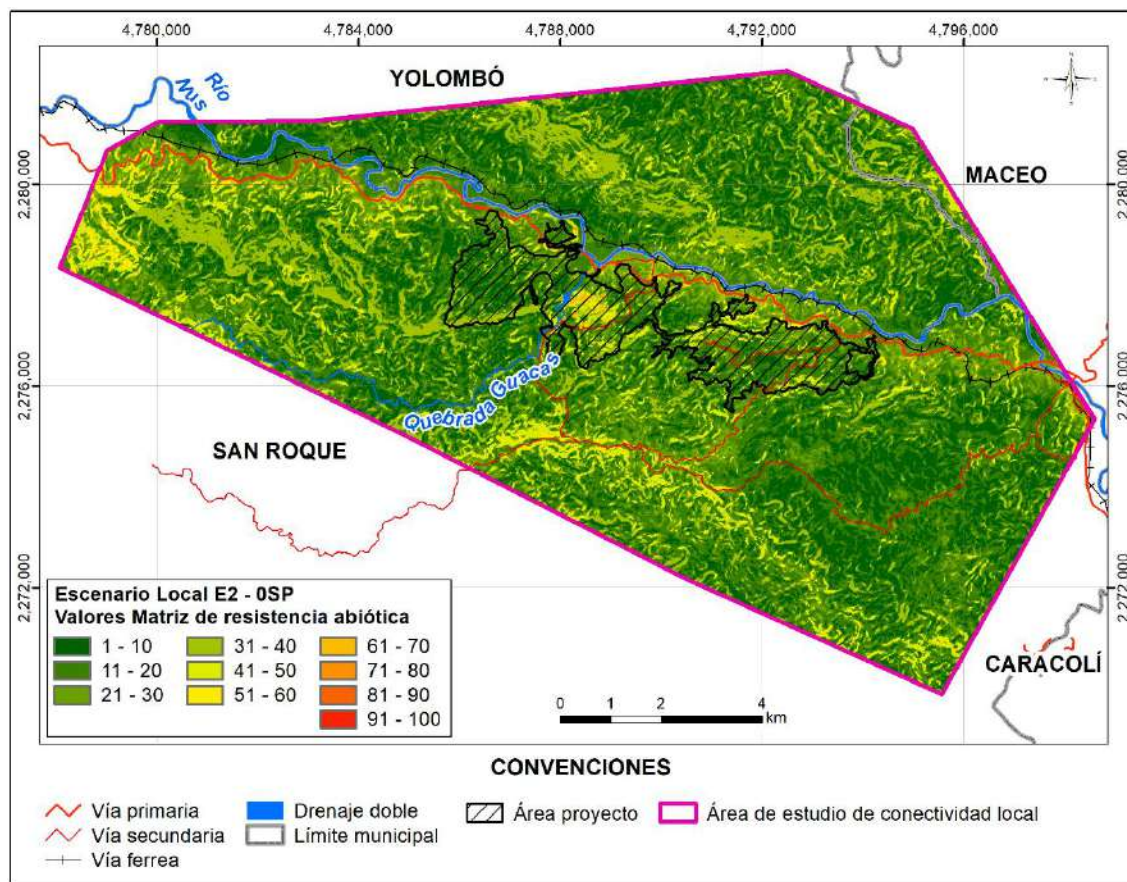


Figura 5.2.2.98. Suma de la calificación de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera de la variable biótica para la (E2) *Oedipomidas leucopus* escenario sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

iii. Matriz de resistencia total

A continuación, se muestra el resultado de las matrices de resistencia totales para el escenario local 0SP en la Figura 5.2.2.99 para la especie E1 *L. pardalis* y en la Figura 5.2.2.100 para la especie E2 *O. leucopus*

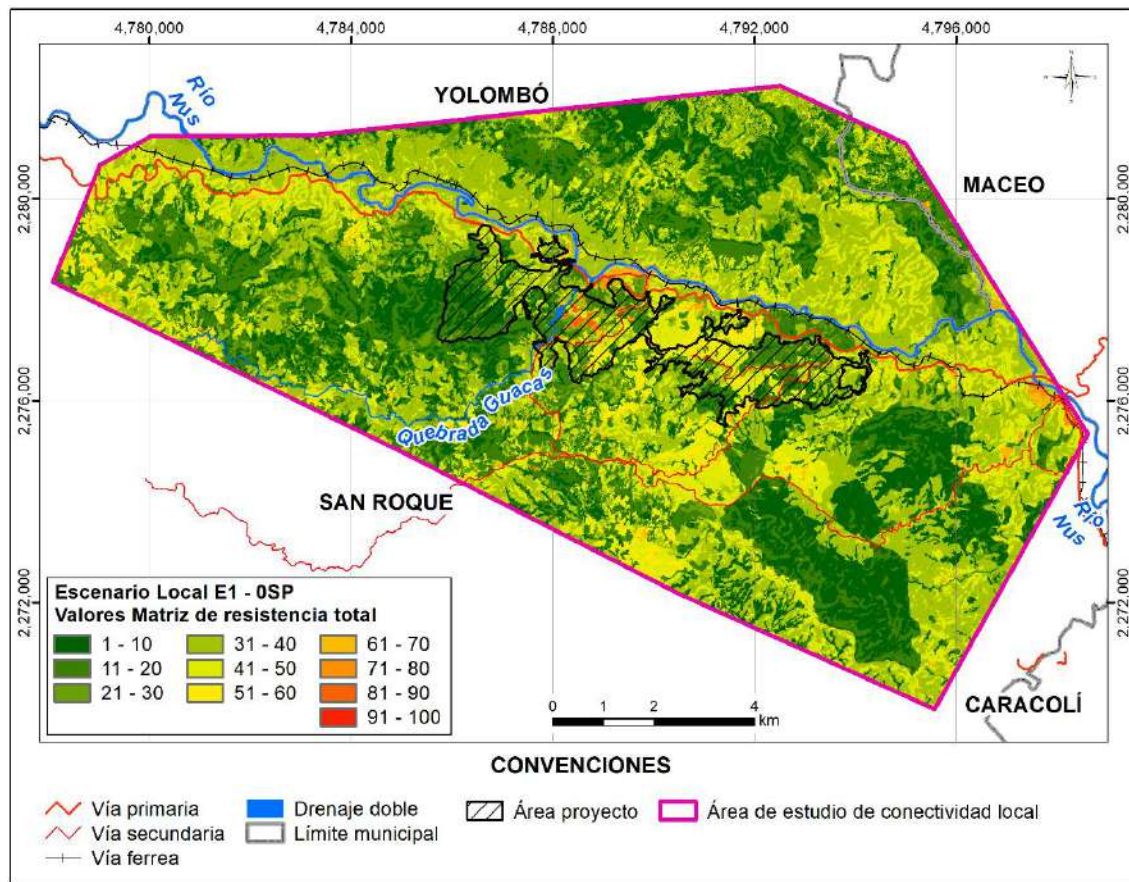


Figura 5.2.2.99. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

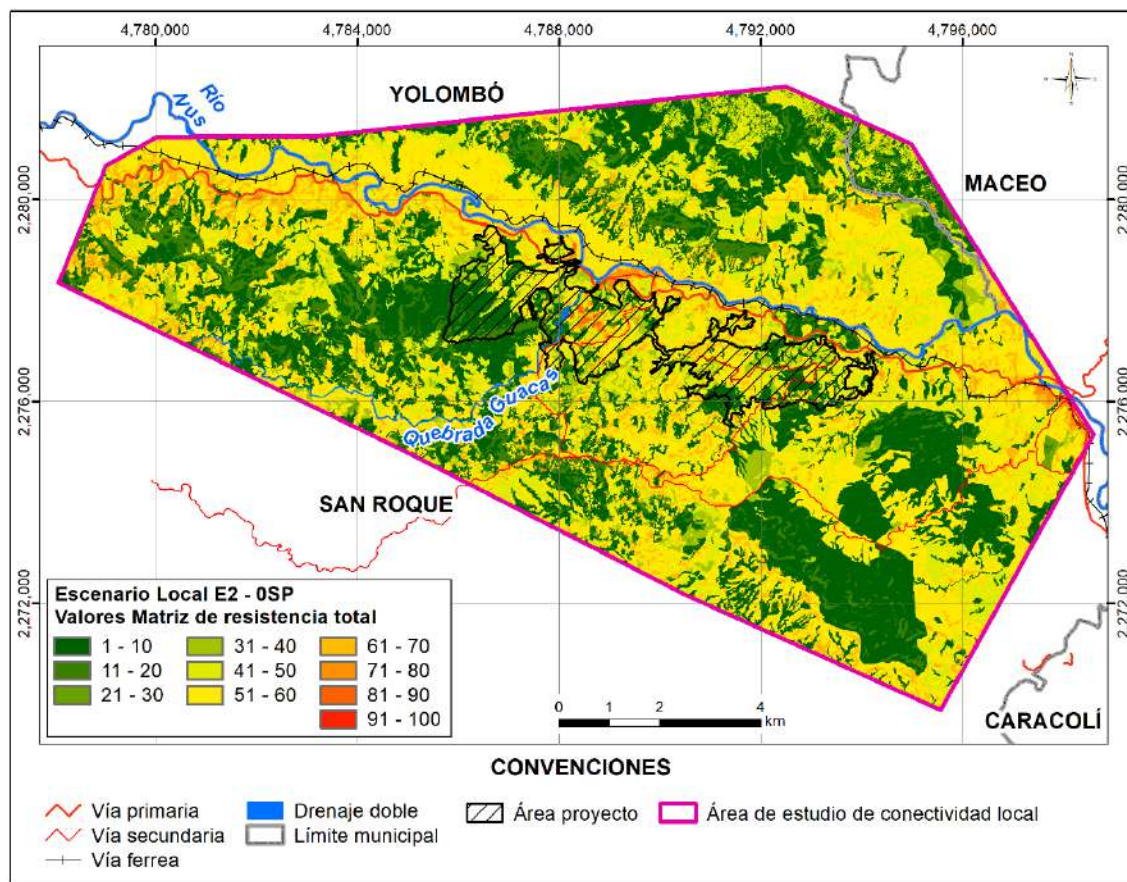


Figura 5.2.2.100. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

II. Matriz de resistencia con proyecto licenciado (1CPL)

A continuación, se presenta la calificación de las variables bióticas y abióticas y la matriz de resistencia final para el escenario 1CPL para la especie E1 *L. pardalis* y la especie E2 *O. leucopus*.

i. Variables bióticas

En la Figura 5.2.2.101 y Figura 5.2.2.102 se muestra la espacialización de la variable biótica NDVI para las especies E1 y E2. También se espacializa la localización del proyecto para una mejor ubicación geográfica.

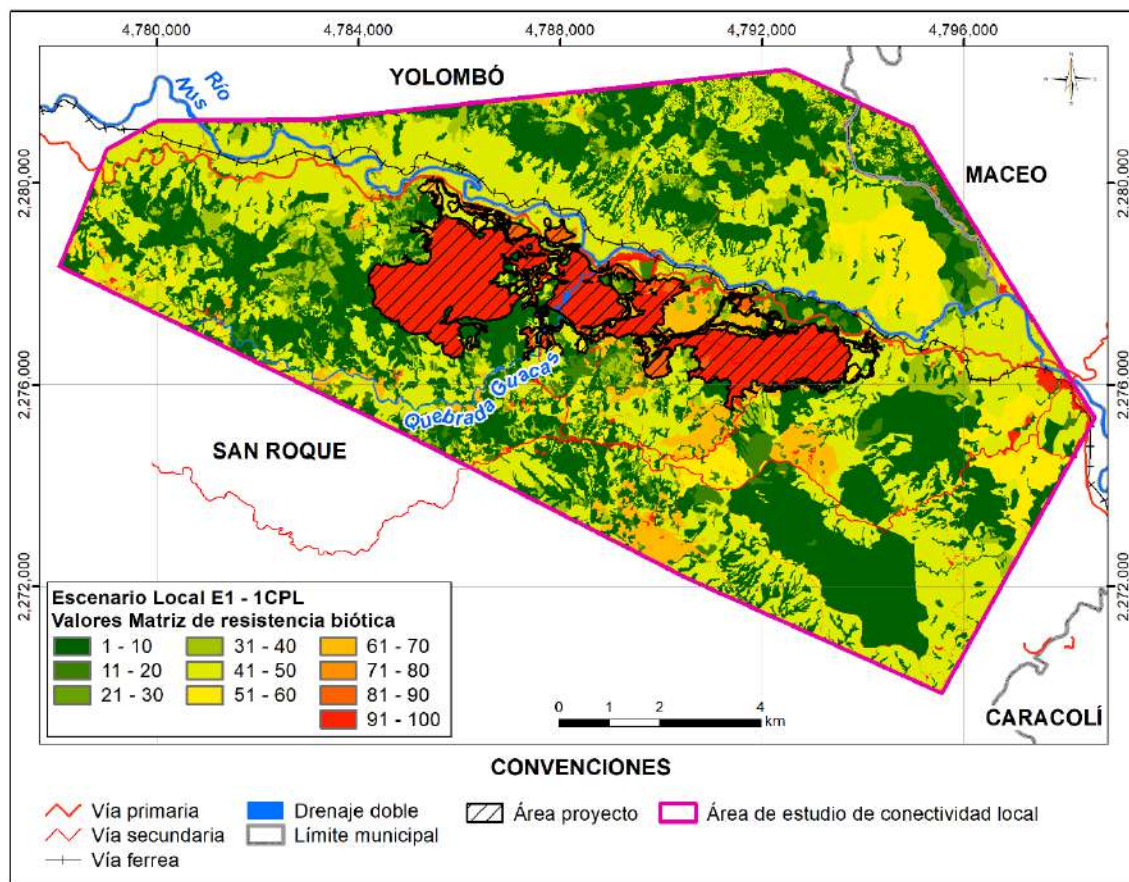


Figura 5.2.2.101. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

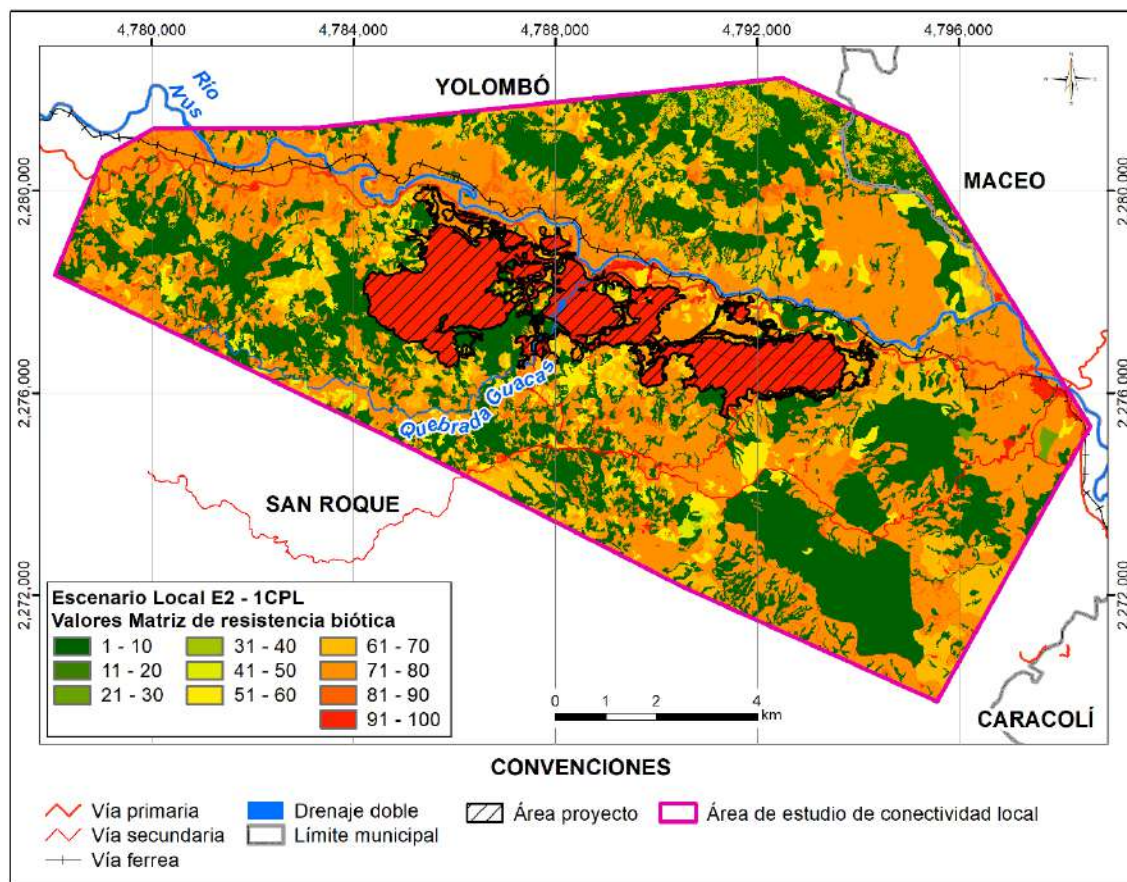


Figura 5.2.2.102. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

ii. Variables abióticas

En las Figura 5.2.2.103 y Figura 5.2.2.104 se muestra la espacialización de la variable abiótica construcciones, en las Figura 5.2.2.105 y Figura 5.2.2.106 se muestra la variable vías, en las Figura 5.2.2.107 y Figura 5.2.2.108 la variable pendientes y en la Figura 5.2.2.109 y Figura 5.2.2.110 la variable actividad minera para las especies E1 y E2.

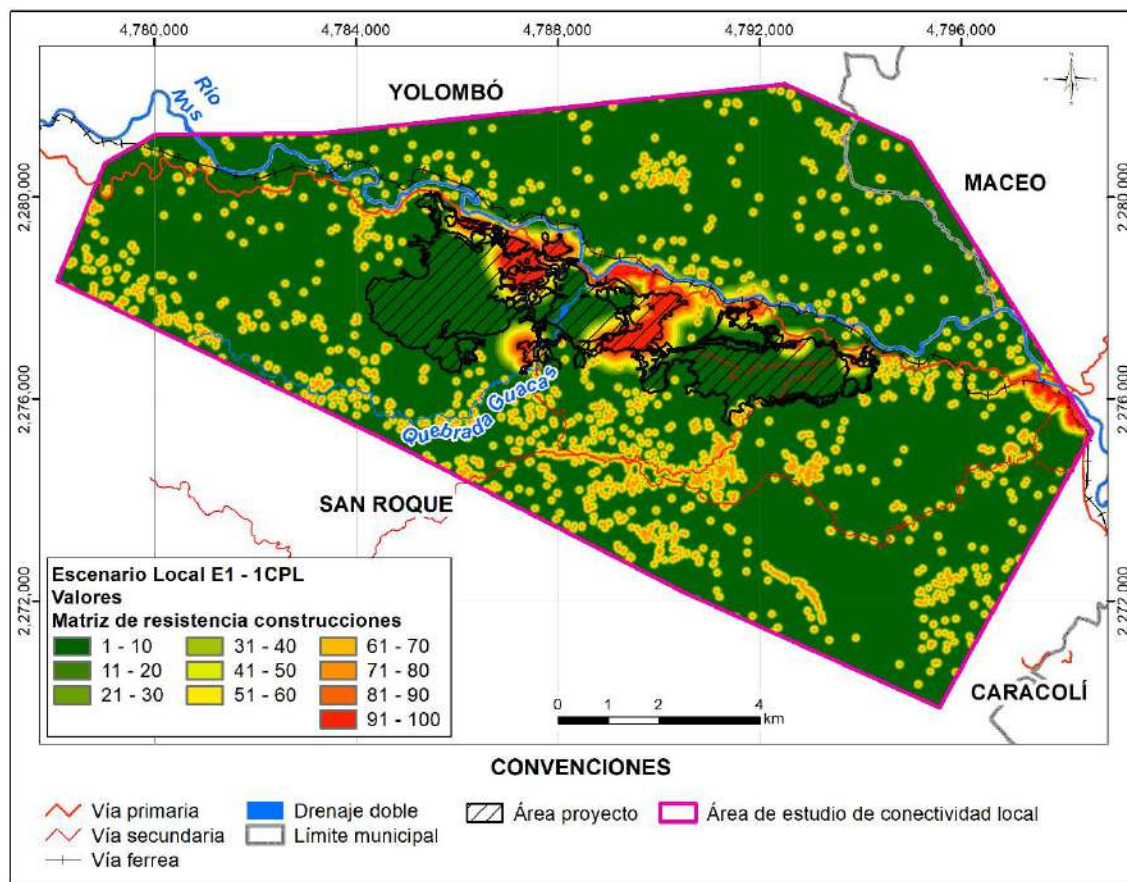


Figura 5.2.2.103. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

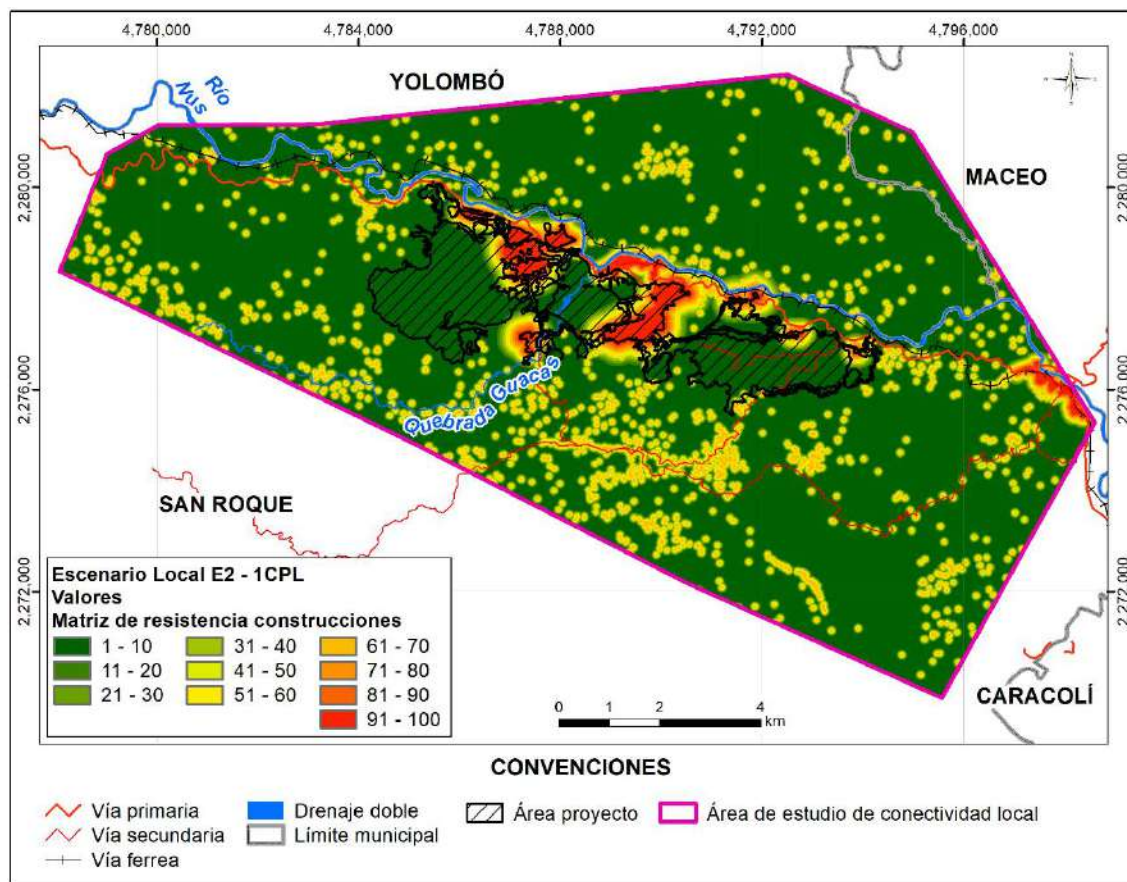


Figura 5.2.2.104. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

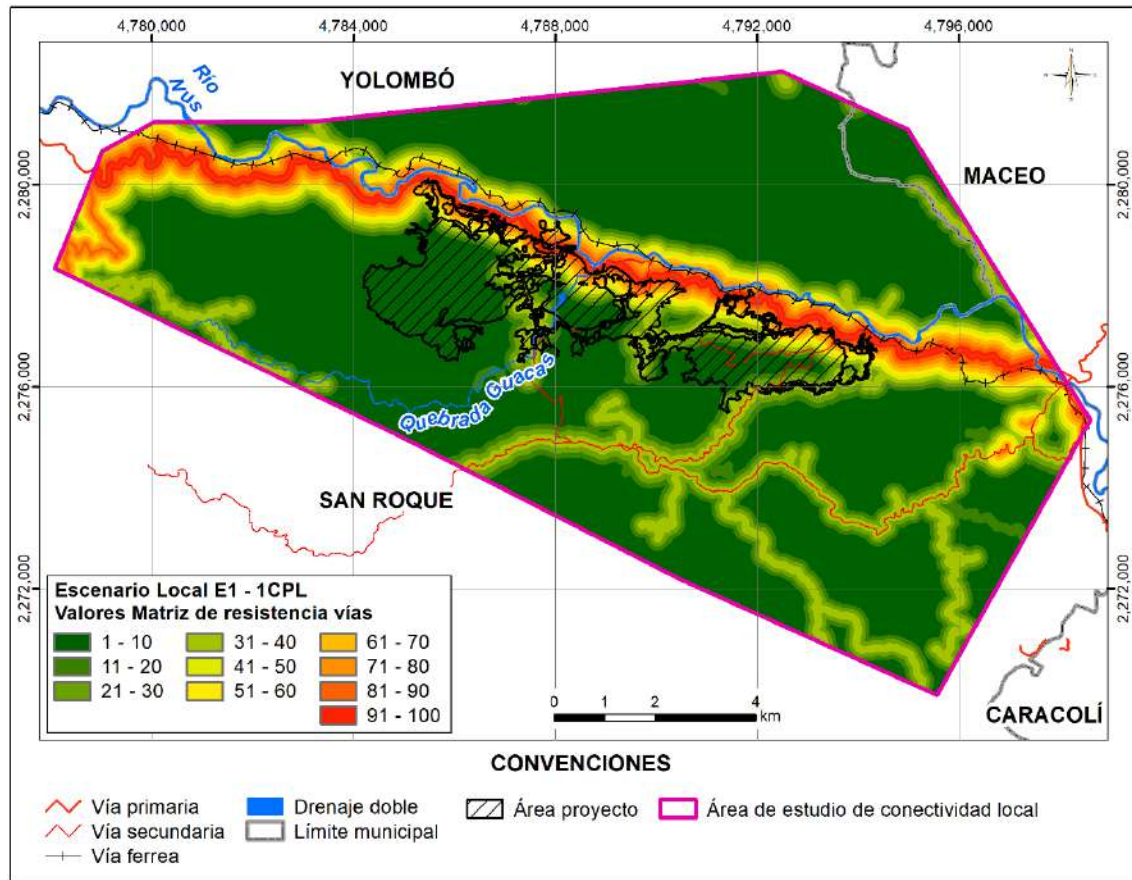


Figura 5.2.2.105. Calificación de la variable abiótica vías para la (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

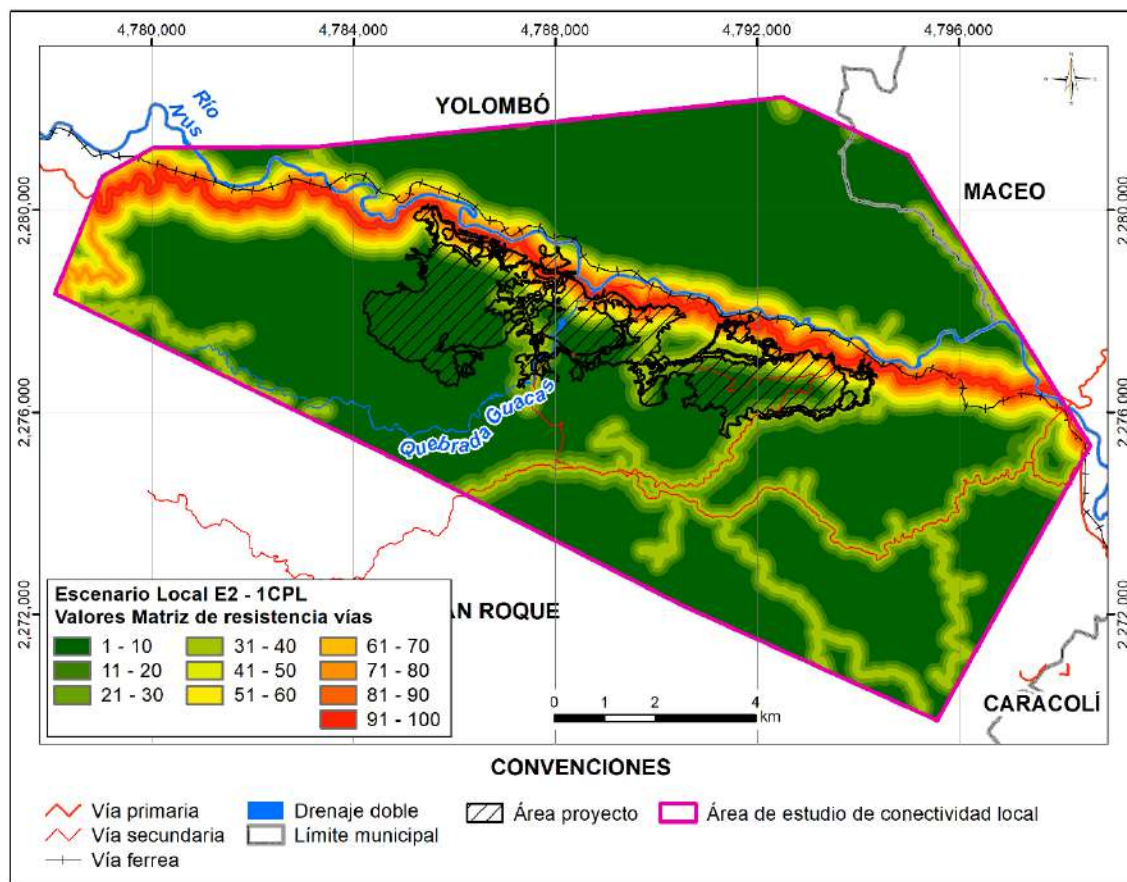


Figura 5.2.2.106. Calificación de la variable abiótica vías para la (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto licenciado (1CPL).

Fuente: Integral S.A., 2026

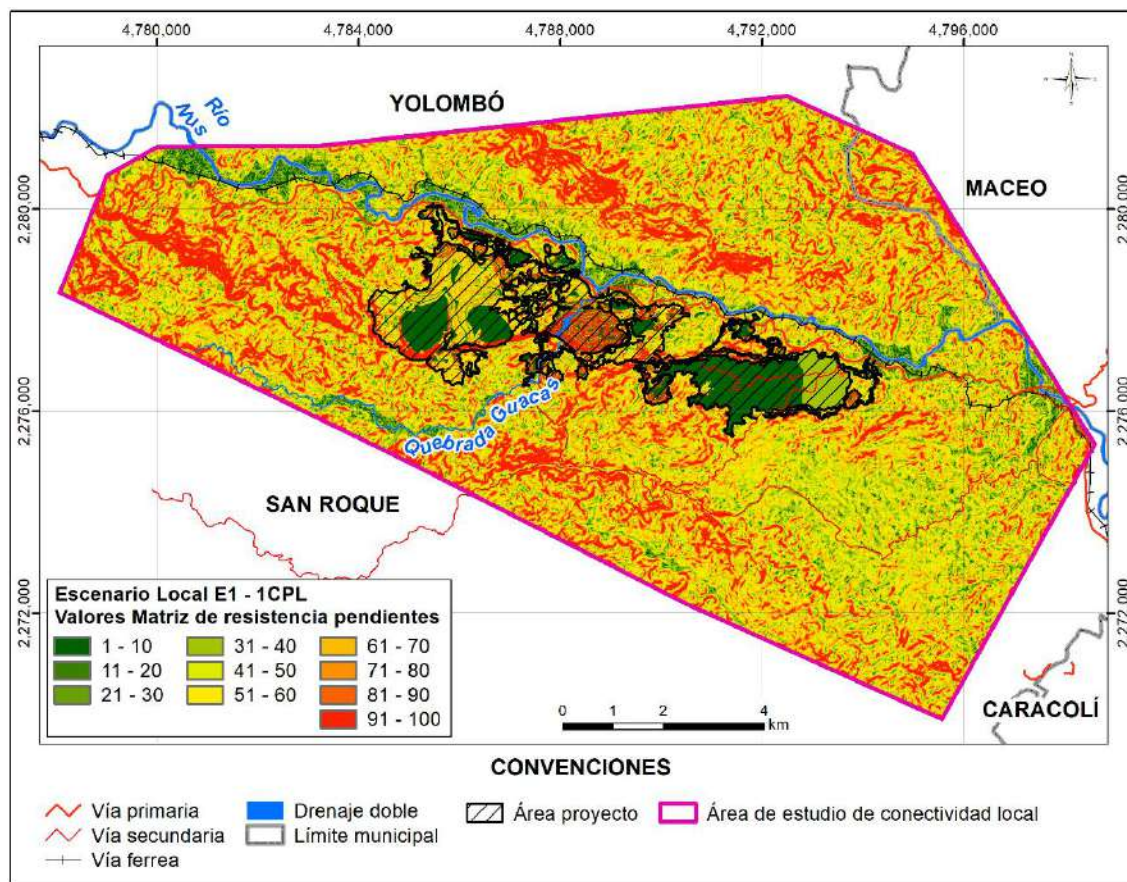


Figura 5.2.2.107. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

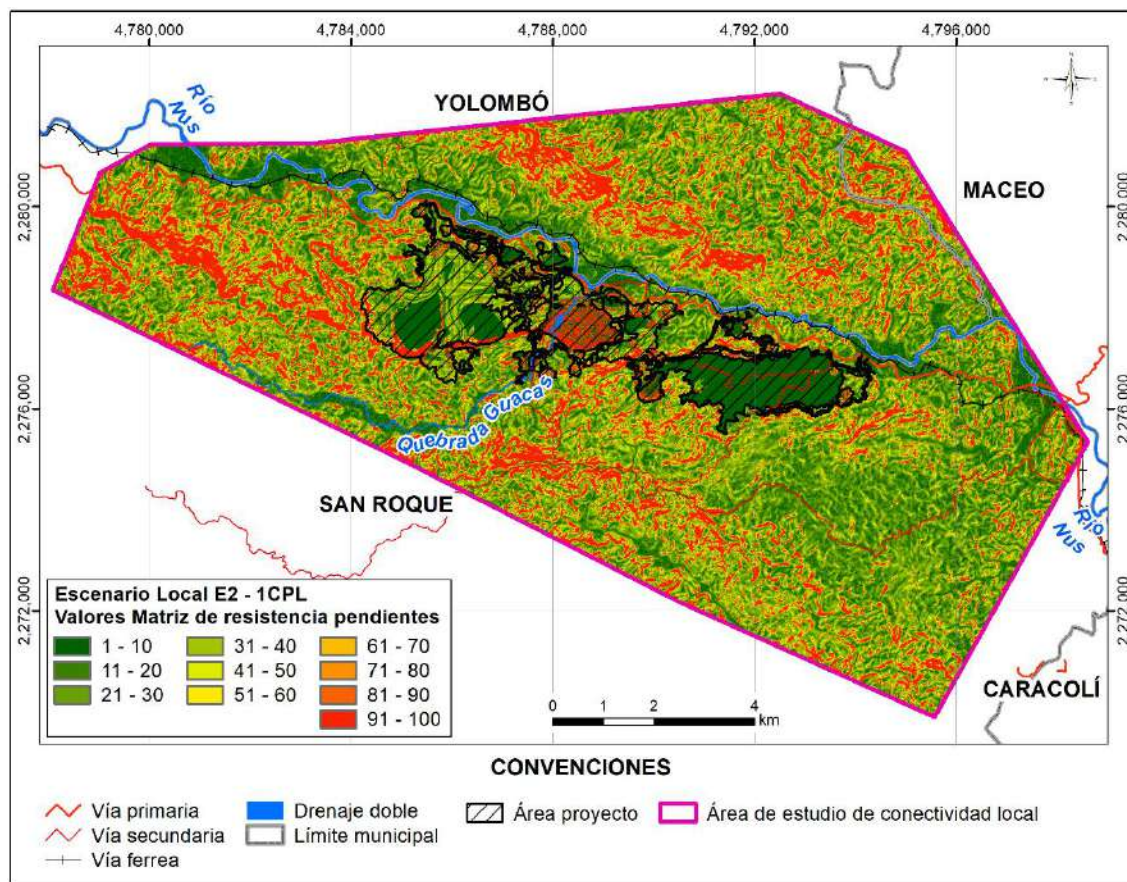


Figura 5.2.2.108. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

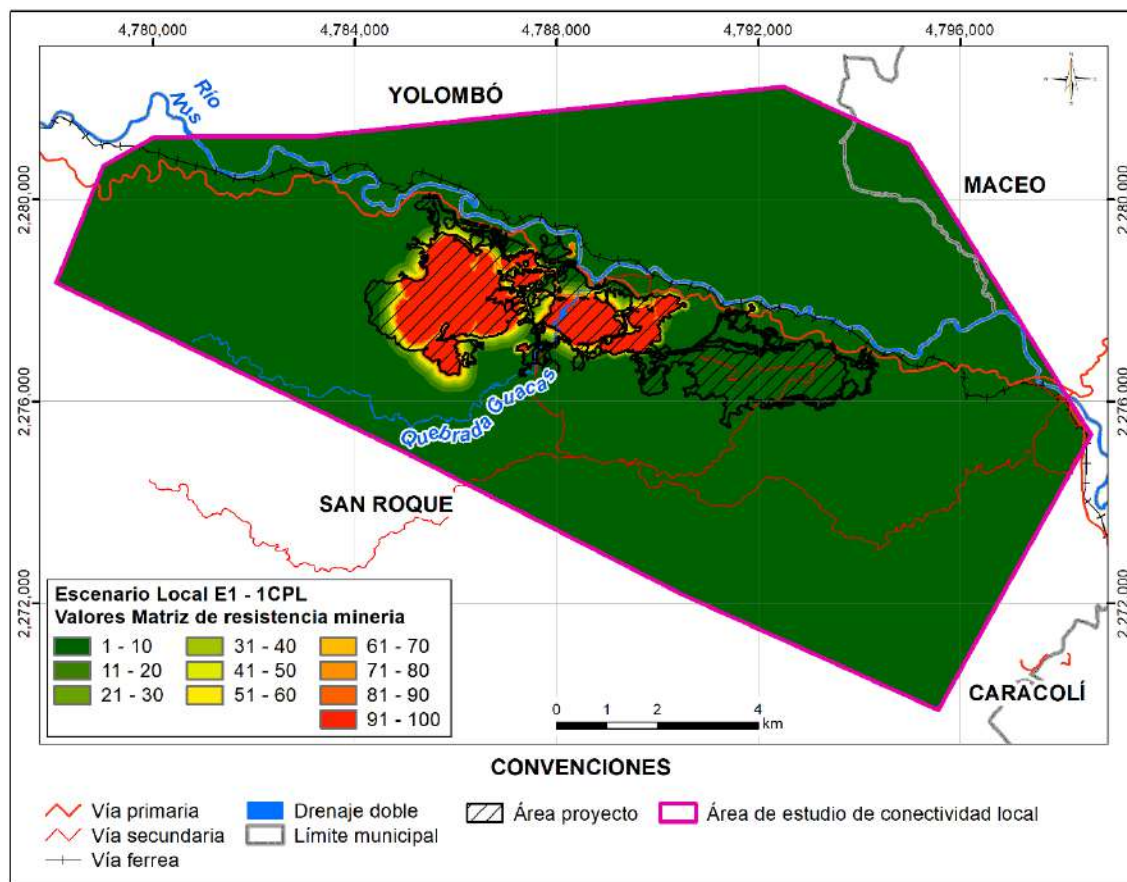


Figura 5.2.2.109. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

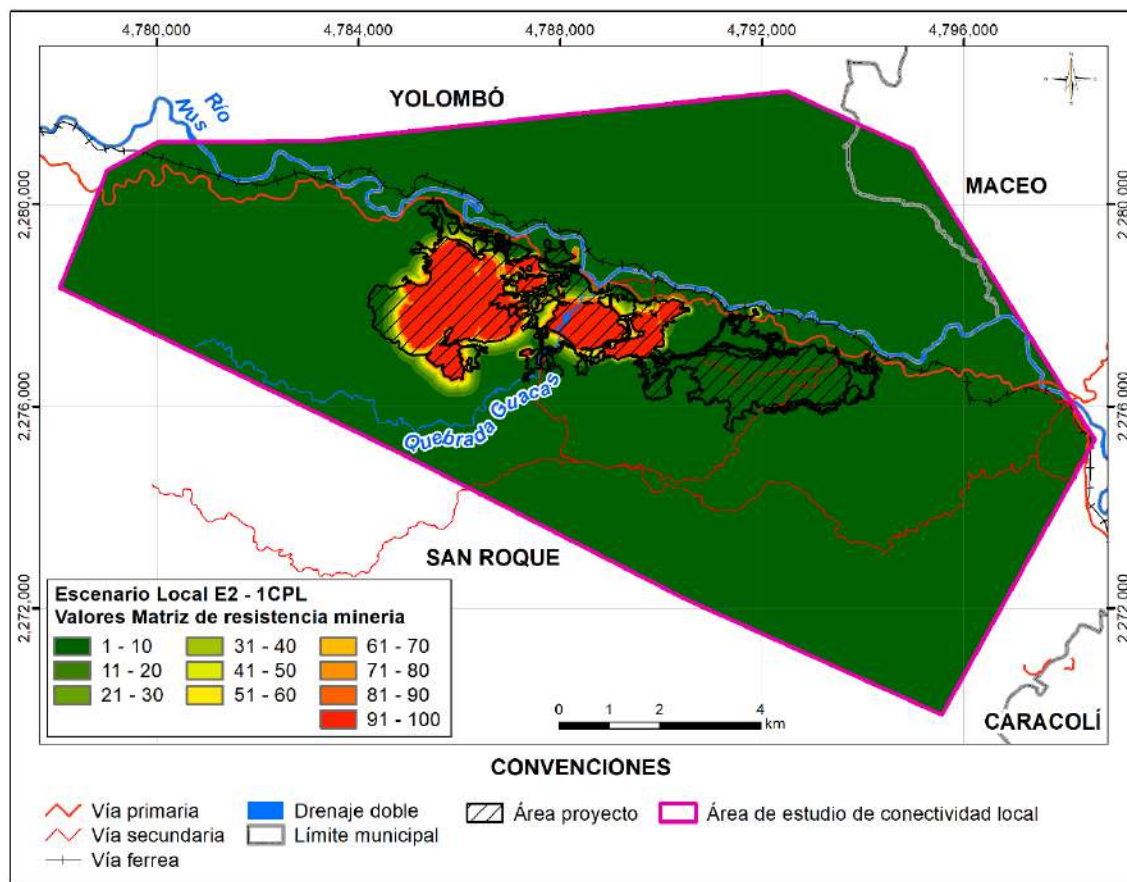


Figura 5.2.2.110. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2025

Las Figura 5.2.2.111 y Figura 5.2.2.112 presenta las calificaciones de la variable abiótica correspondiente a la suma ponderada de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera para la especie E1 *L. pardalis* y la E2 *O. leucopus*

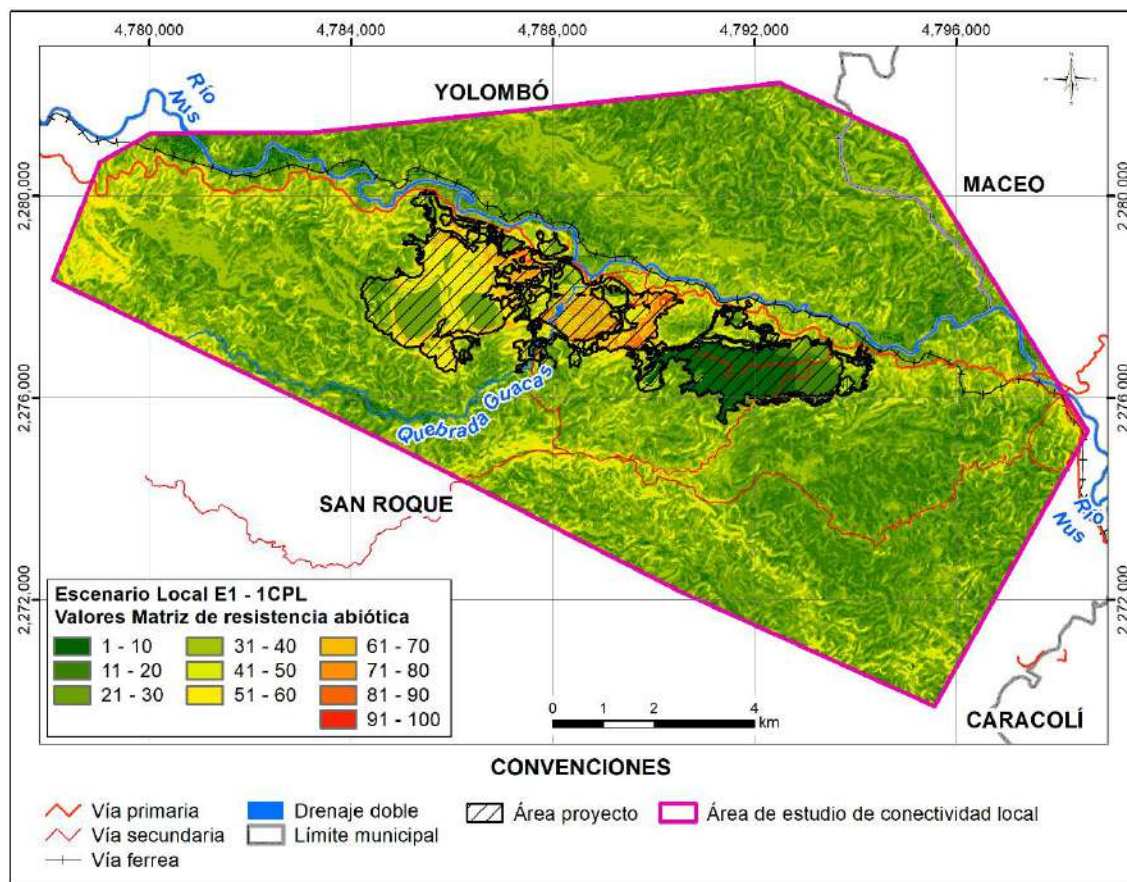


Figura 5.2.2.111. Suma de la calificación de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera de la variable abiótica para la (E1) *Leopardus pardalis* escenario con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

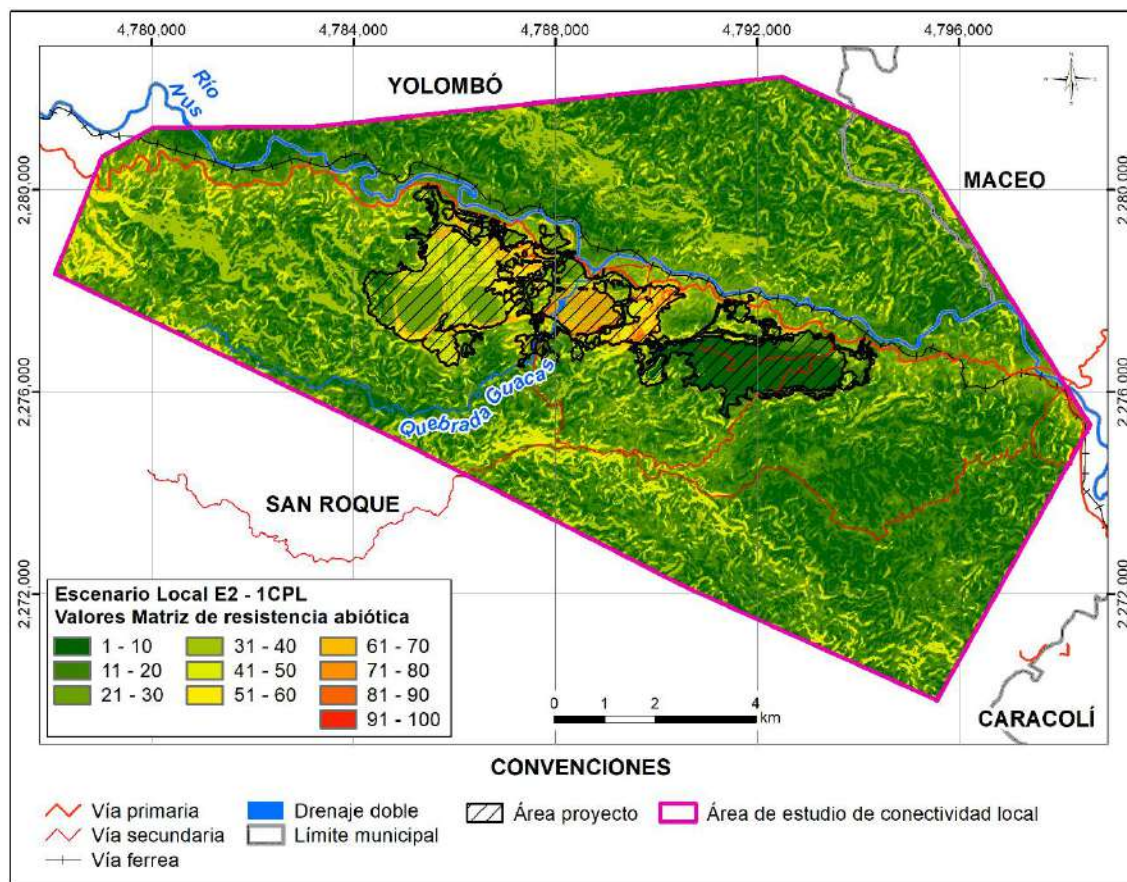


Figura 5.2.2.112. Suma de la calificación de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera de la variable abiótica para la (E2) *Oedipomidas leucopus* escenario con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

iii. Matriz de resistencia total

A continuación, se muestra el resultado de las matrices de resistencia totales para el escenario local 1CPL en la Figura 5.2.2.113 para la especie E1 *L. pardalis* y en la Figura 5.2.2.114 para la especie E2 *O. leucopus*.

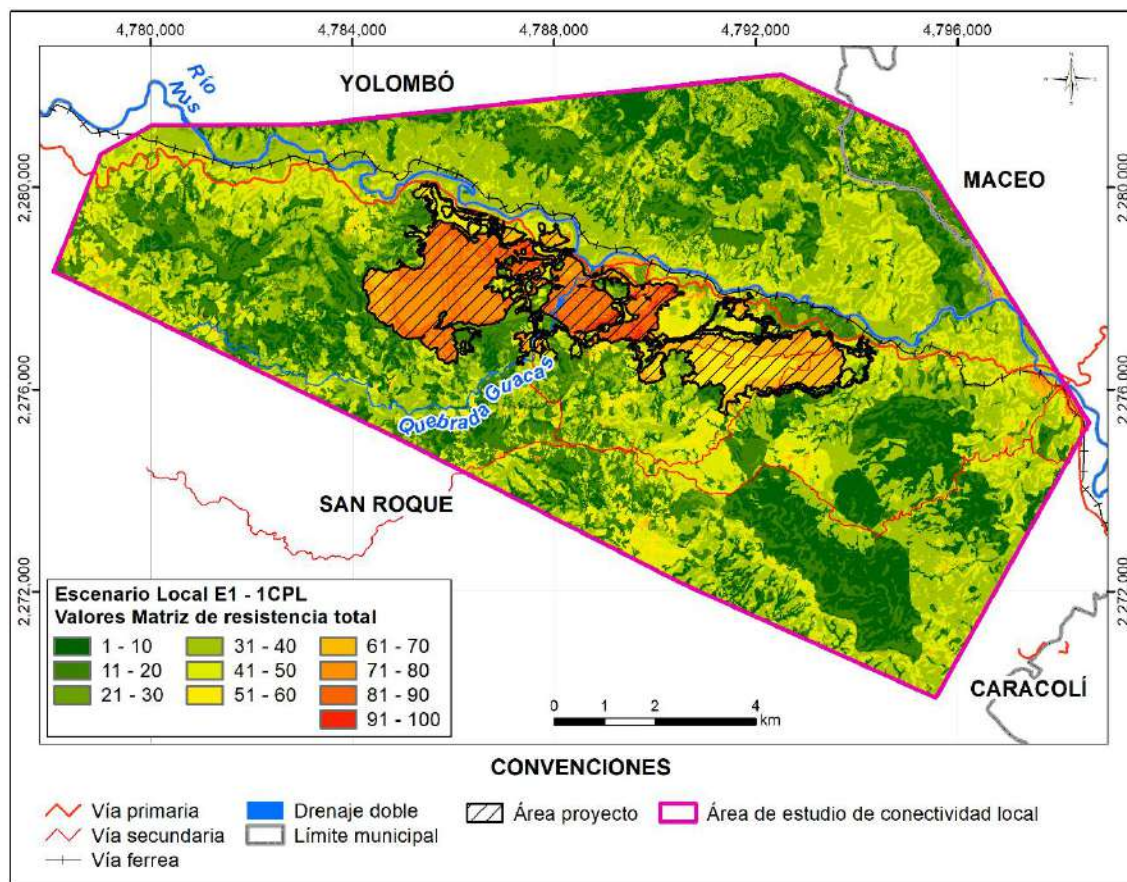


Figura 5.2.2.113. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

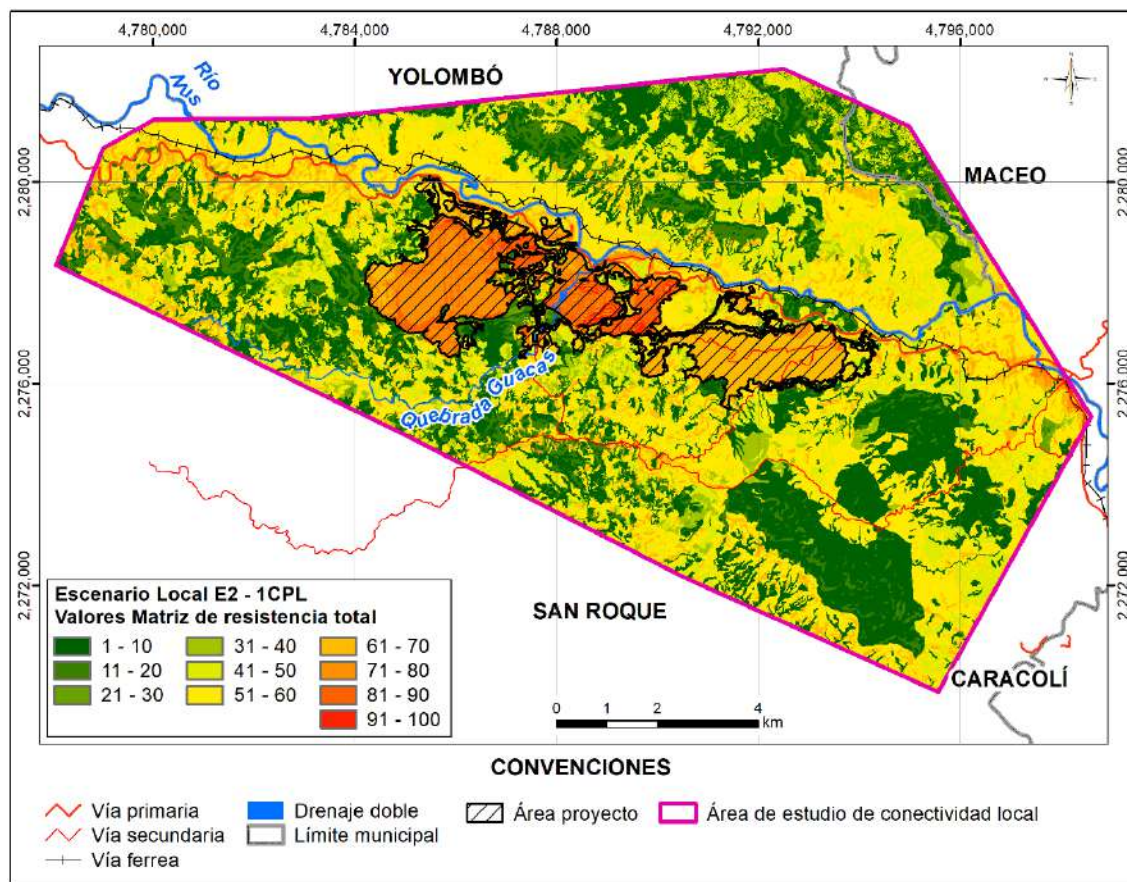


Figura 5.2.2.114. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

III. Matriz de resistencia con proyecto MEIA (2CPM)

A continuación, se presenta la calificación de las variables bióticas y abióticas y la matriz de resistencia final para el escenario 2CPM para la especie E1 *L. pardalis* y la especie E2 *O. leucopus*.

i. Variables bióticas

En la Figura 5.2.2.115 y Figura 5.2.2.116 se muestra la espacialización de la variable biótica NDVI para las especies E1 y E2. También se espacializa la localización del proyecto para una mejor ubicación geográfica.

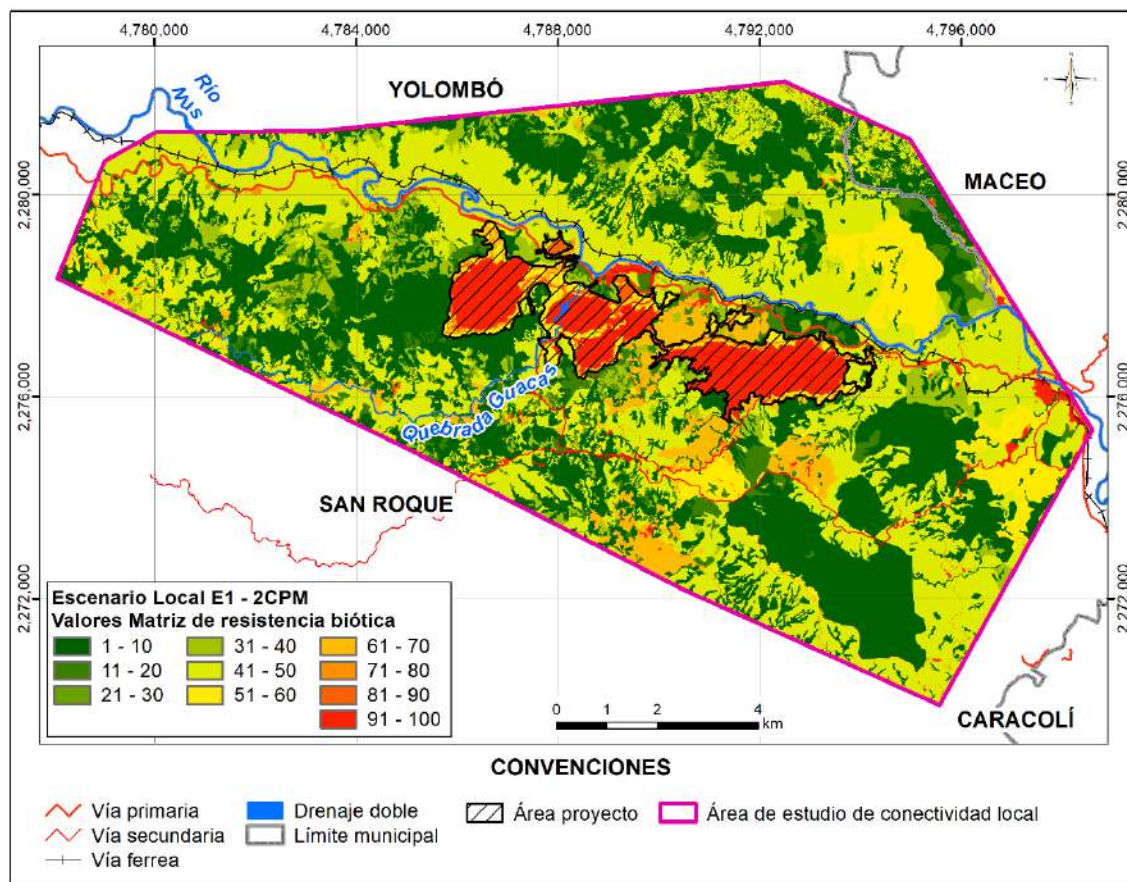


Figura 5.2.2.115. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

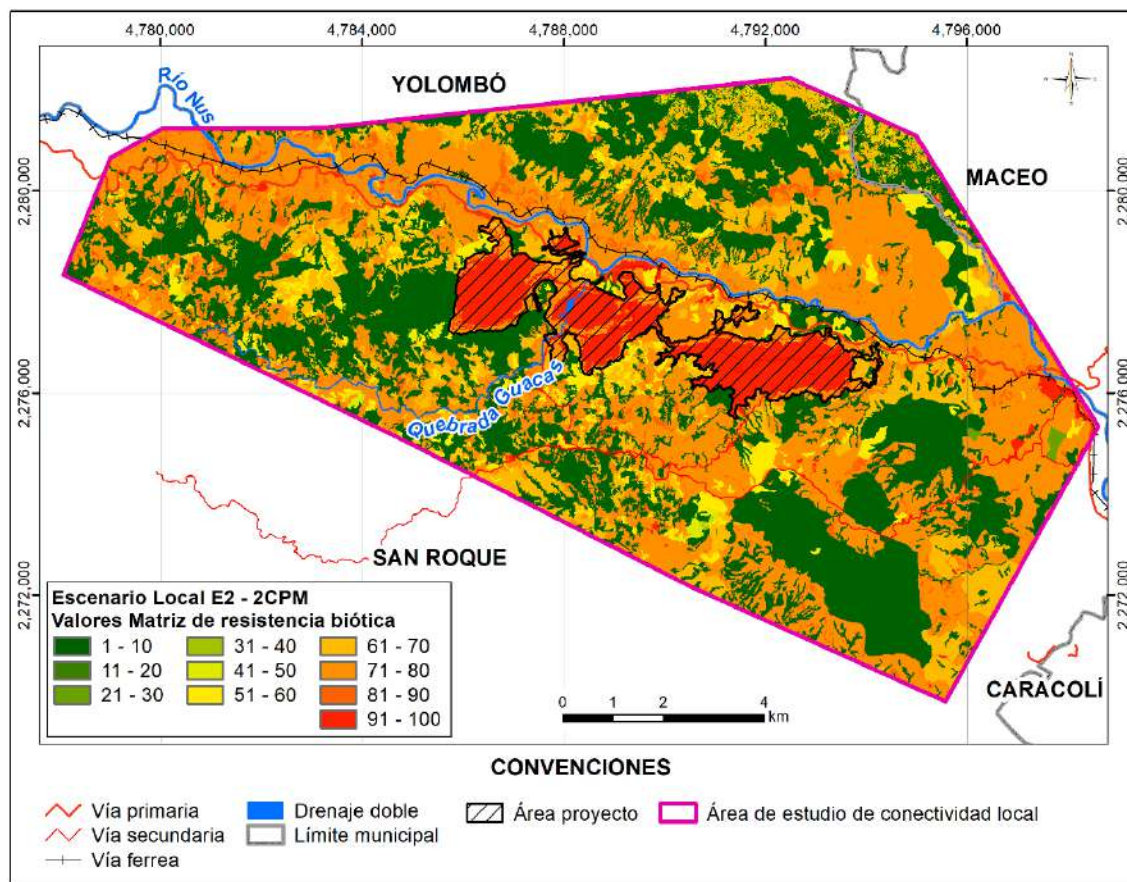


Figura 5.2.2.116. Calificación de la variable biótica NDVI para la (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

ii. Variables abióticas

En las Figura 5.2.2.117 y Figura 5.2.2.118 se muestra la espacialización de la variable abiótica construcciones, en las Figura 5.2.2.119 y Figura 5.2.2.120 se muestra la variable vías, en las Figura 5.2.2.121 y Figura 5.2.2.122 la variable pendientes y en la Figura 5.2.2.123 y Figura 5.2.2.124 la variable actividad minera para las especies E1 y E2.

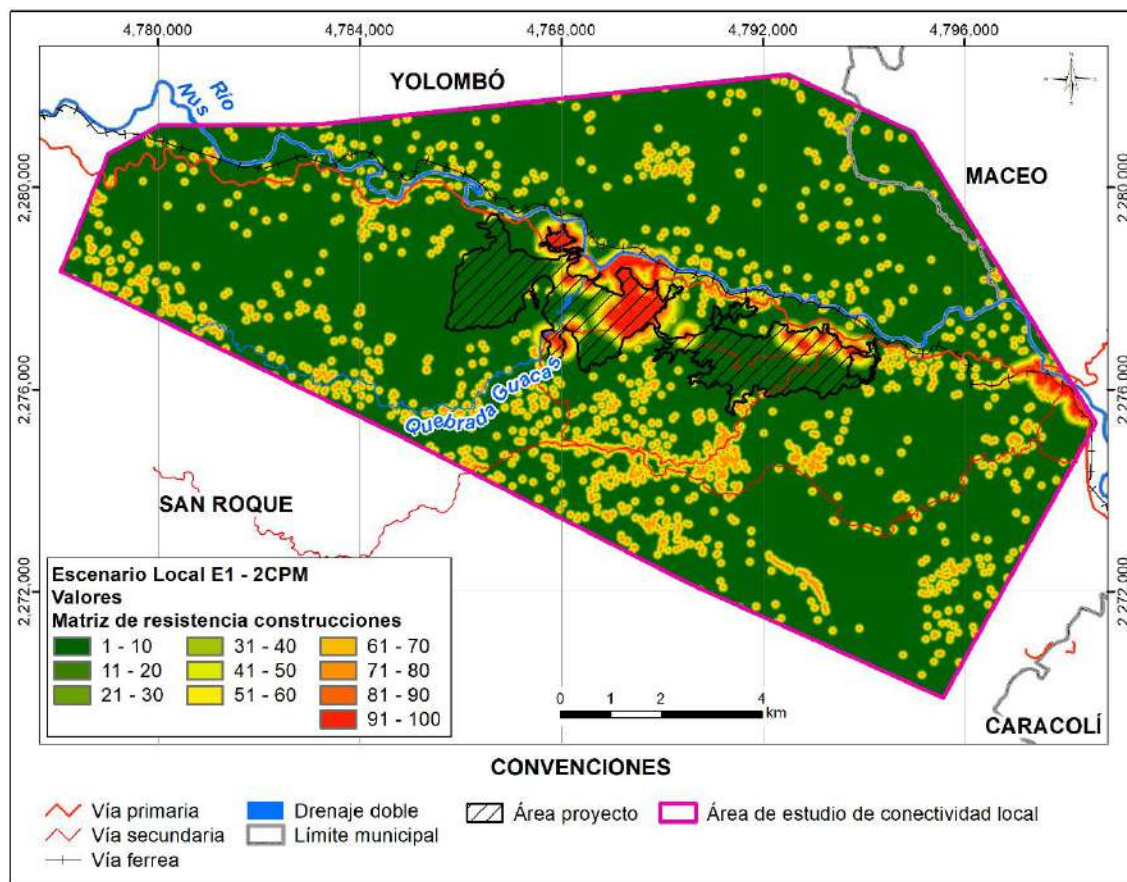


Figura 5.2.2.117. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

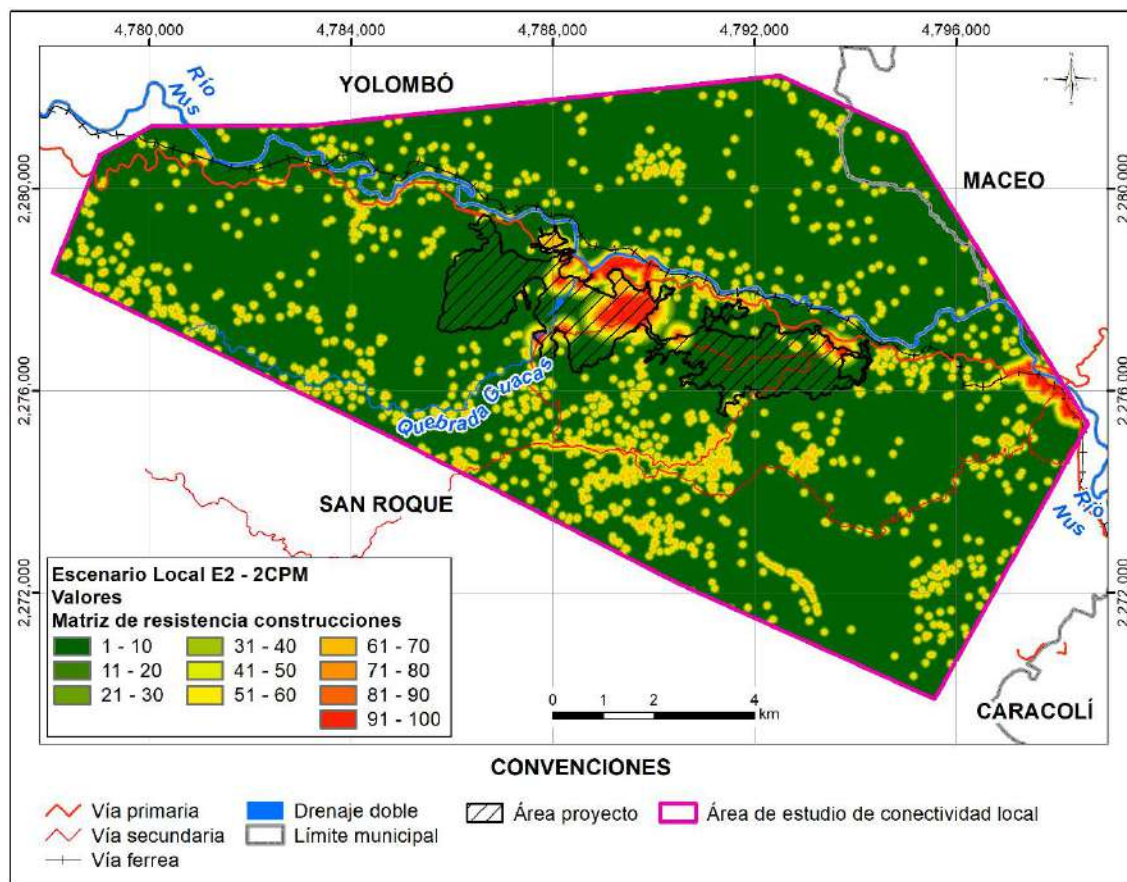


Figura 5.2.2.118. Calificación de la variable abiótica construcciones para la (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

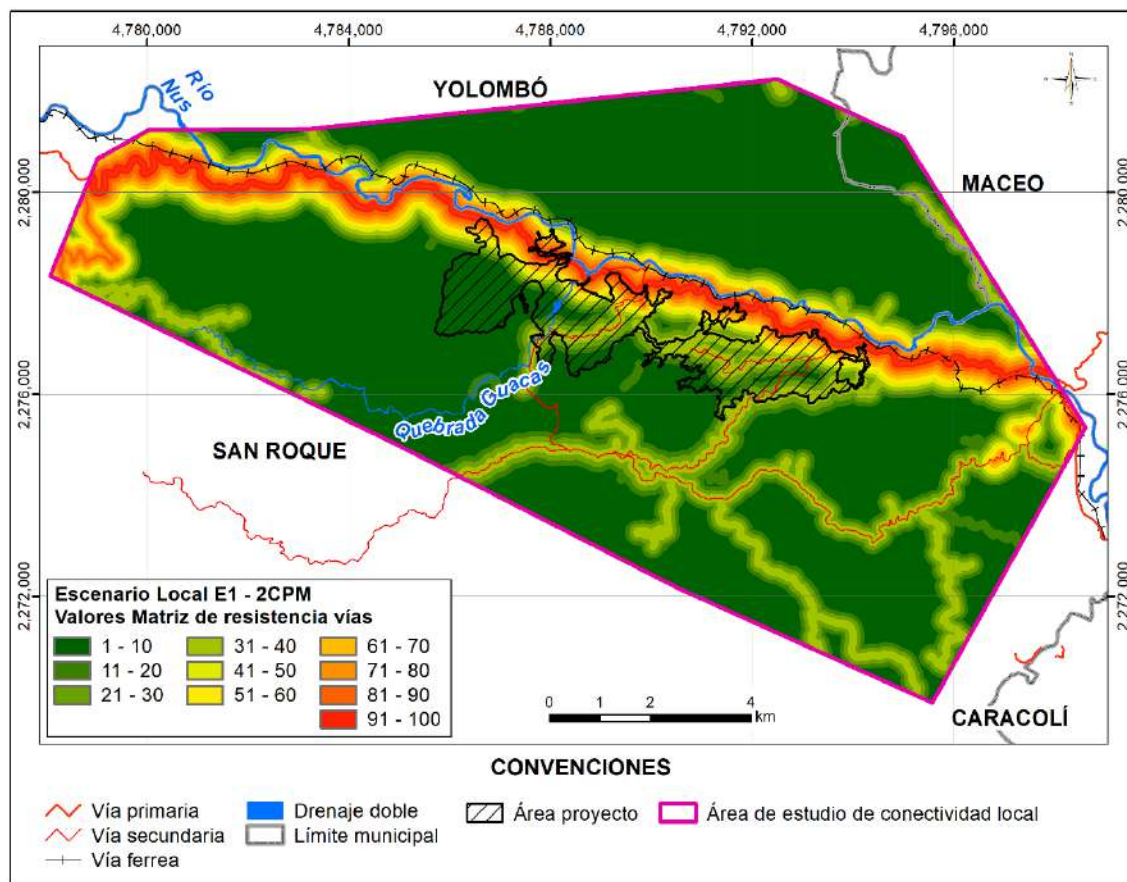


Figura 5.2.2.119. Calificación de la variable abiótica vías para la (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

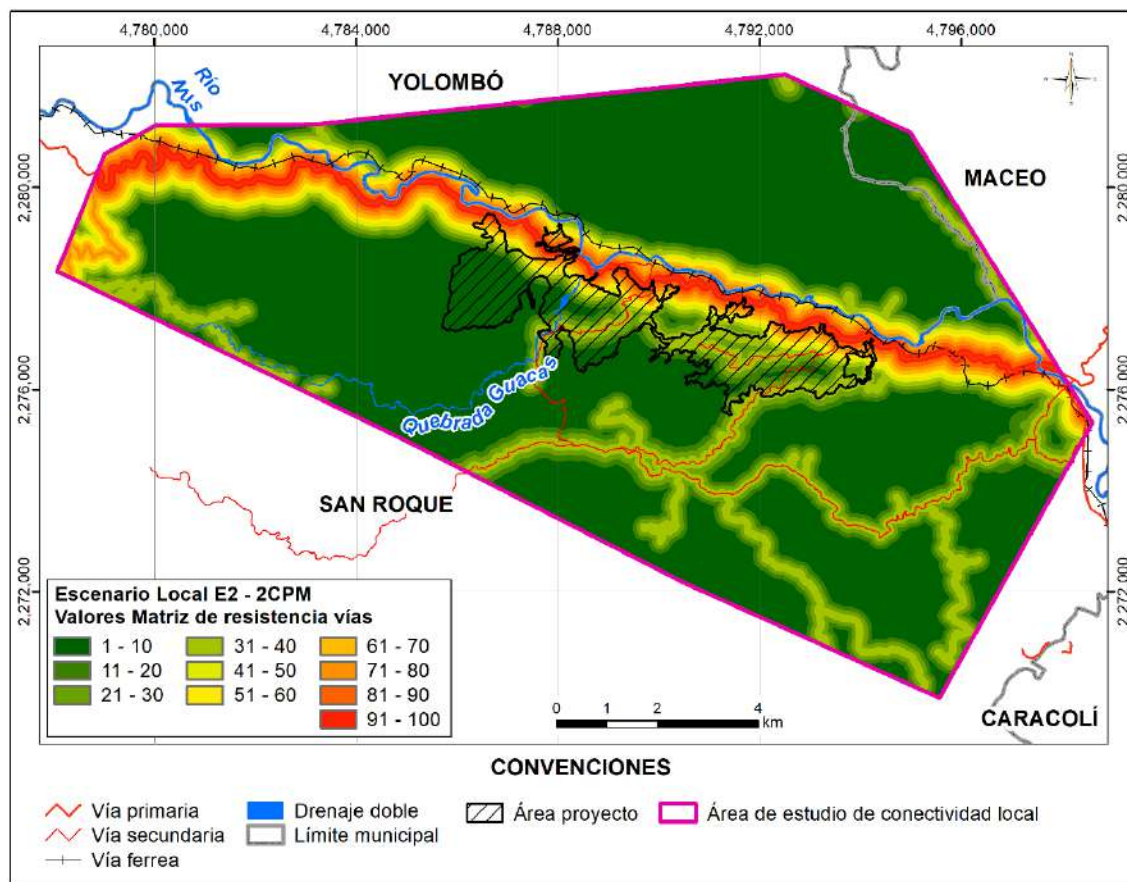


Figura 5.2.2.120. Calificación de la variable abiótica vías para la (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

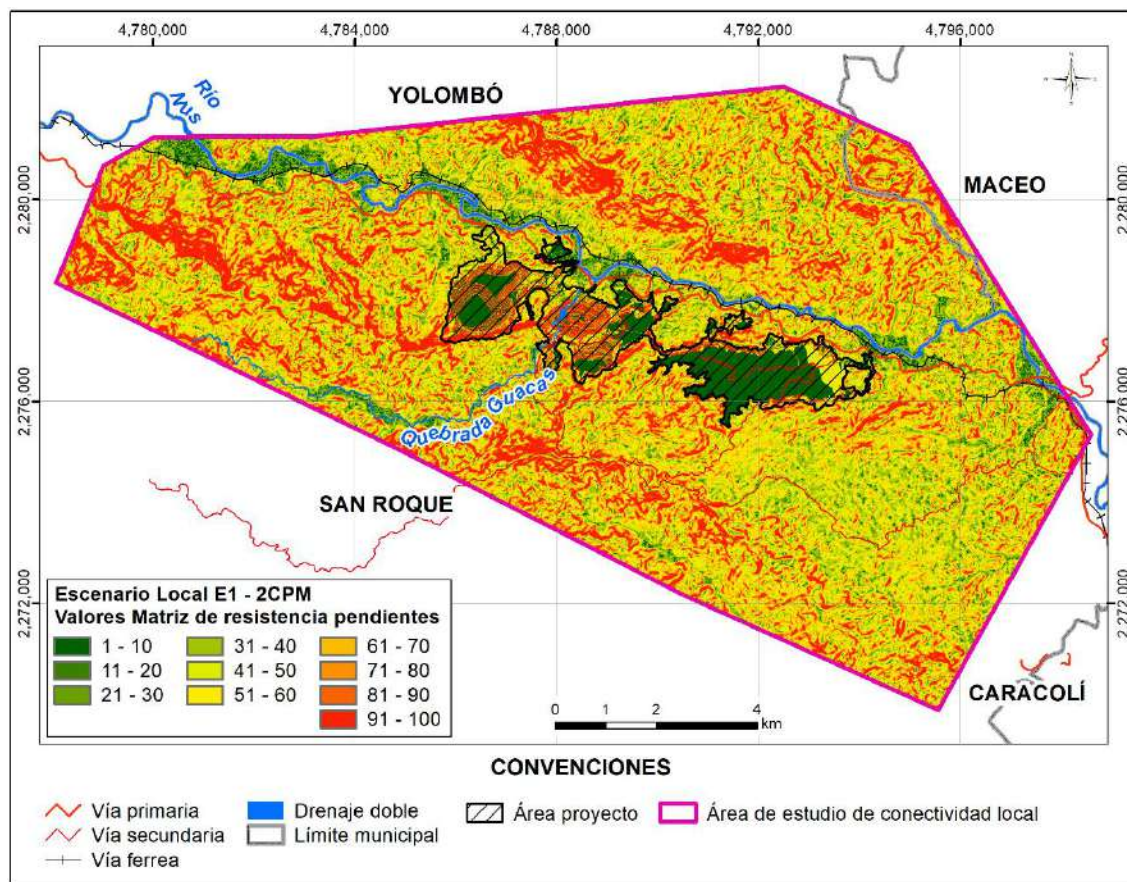


Figura 5.2.2.121. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

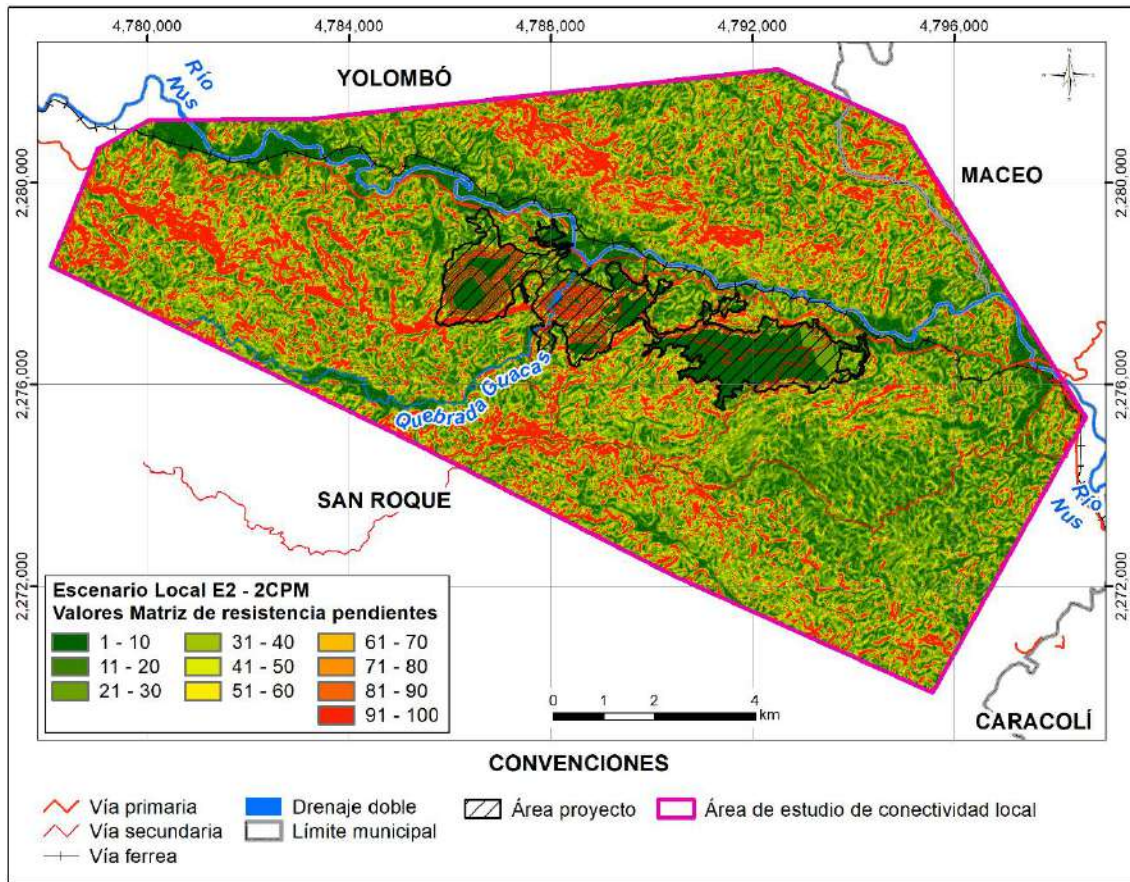


Figura 5.2.2.122. Calificación de la variable abiótica pendientes para la (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

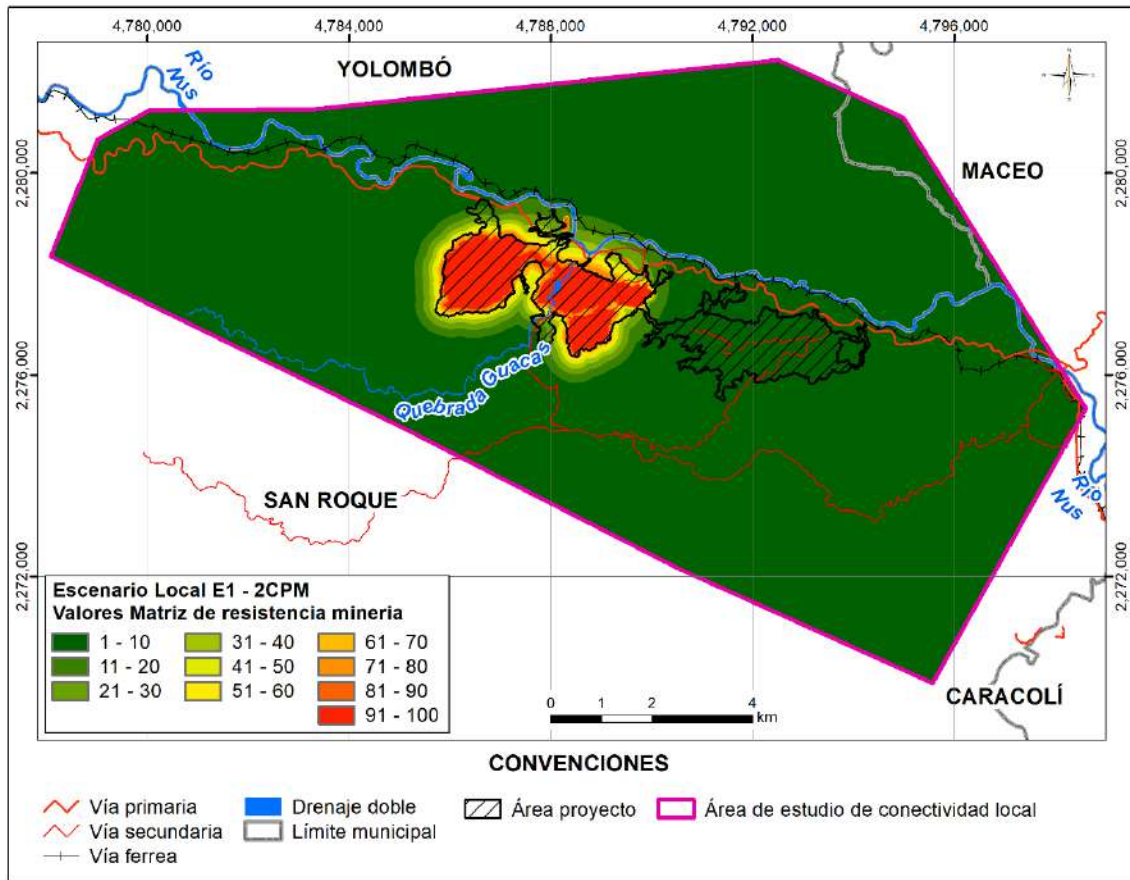


Figura 5.2.2.123. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

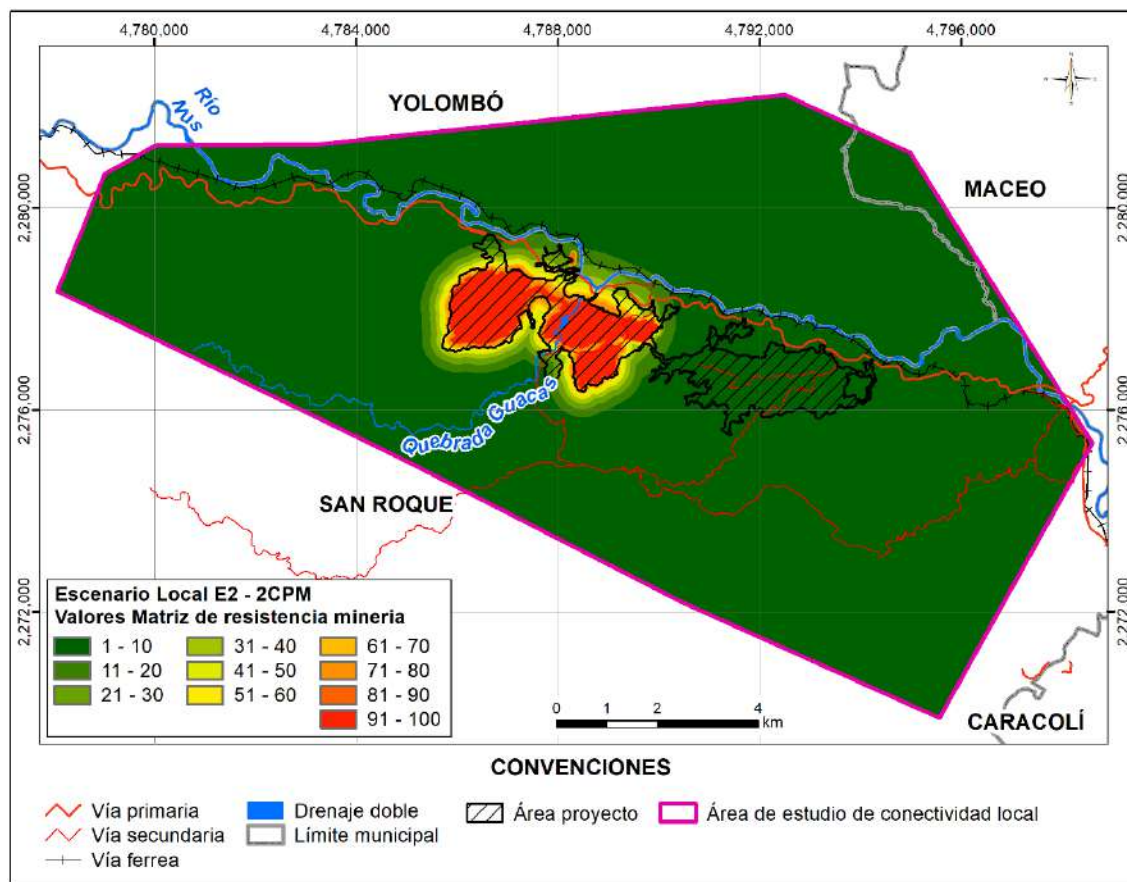


Figura 5.2.2.124. Calificación de la variable abiótica actividad minera para la (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

Las Figura 5.2.2.125 y Figura 5.2.2.126 presenta las calificaciones de la variable abiótica correspondiente a la suma ponderada de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera para la especie E1 *L. pardalis* y la E2 *O. leucopus*.

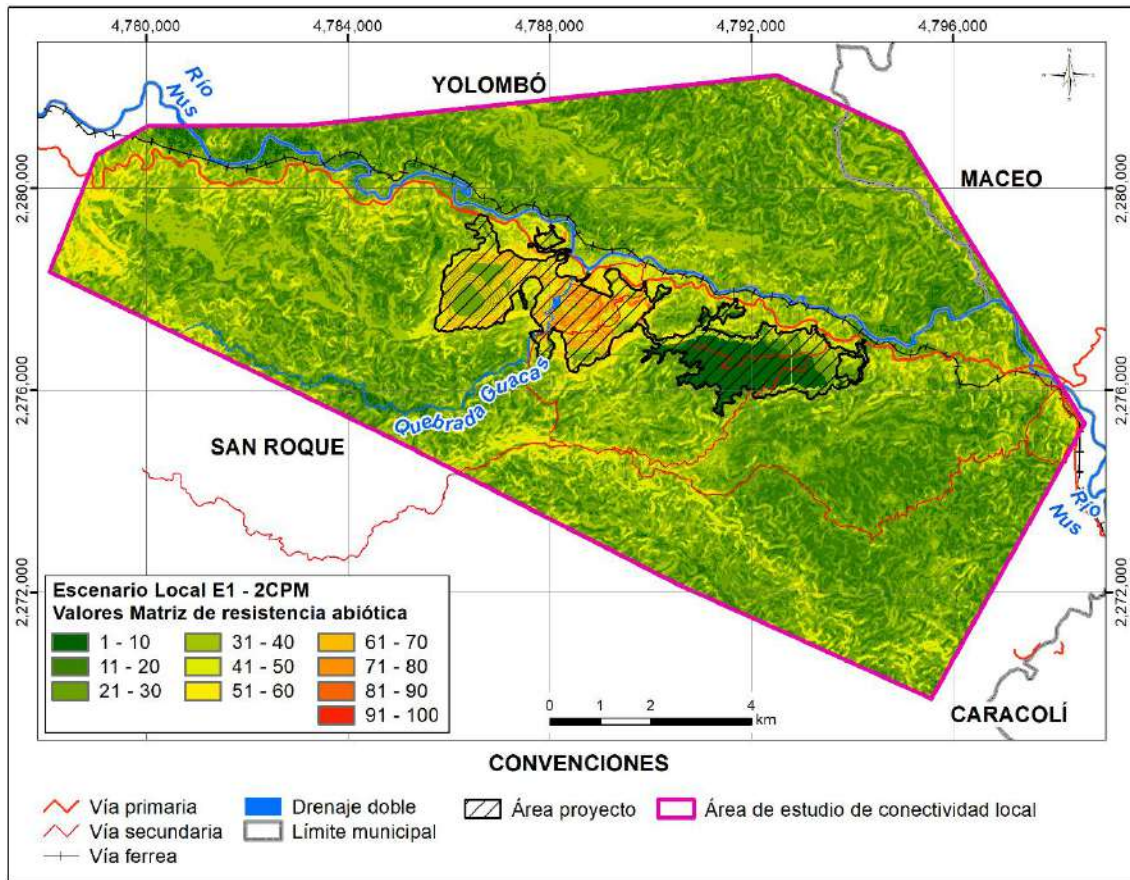


Figura 5.2.2.125. Suma de la calificación de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera de la variable abiótica para la (E1) *Leopardus pardalis* escenario con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

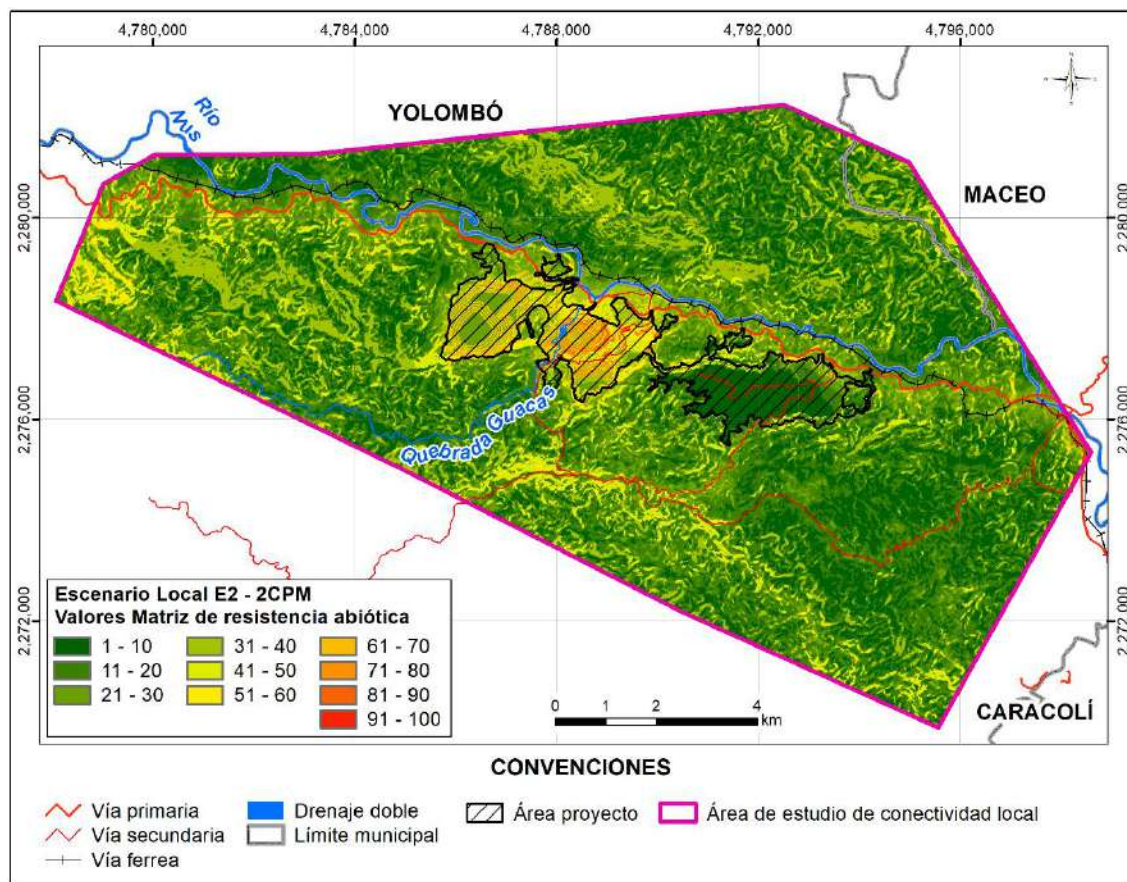


Figura 5.2.2.126. Suma de la calificación de las variables construcciones, vías, pendientes y actividad minera de la variable abiótica para la (E2) *Oedipomidas leucopus* escenario con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

IV. Matriz de resistencia total

A continuación, se muestra el resultado de las matrices de resistencia totales para el escenario local 2CPM en la Figura 5.2.2.127 para la especie E1 *L. pardalis* y en la Figura 5.2.2.128 para la especie E2 *O. leucopus*.

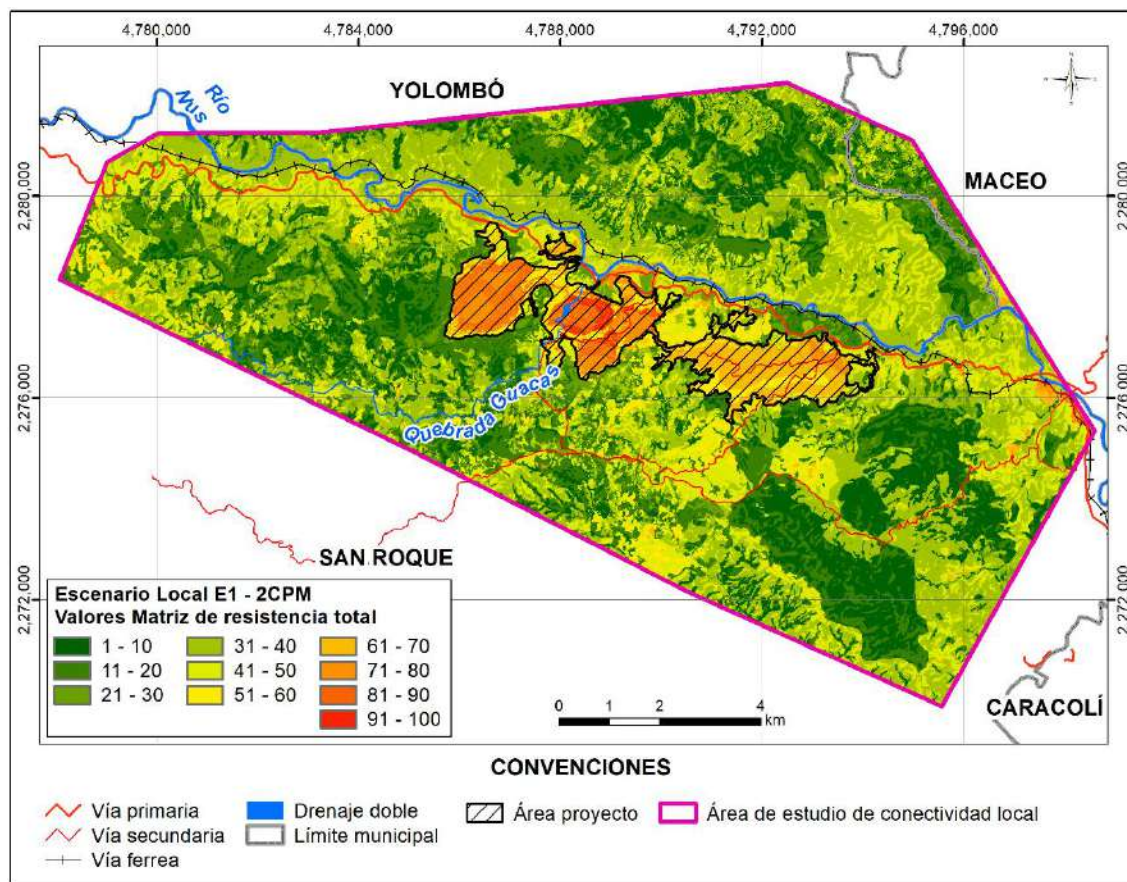


Figura 5.2.2.127. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

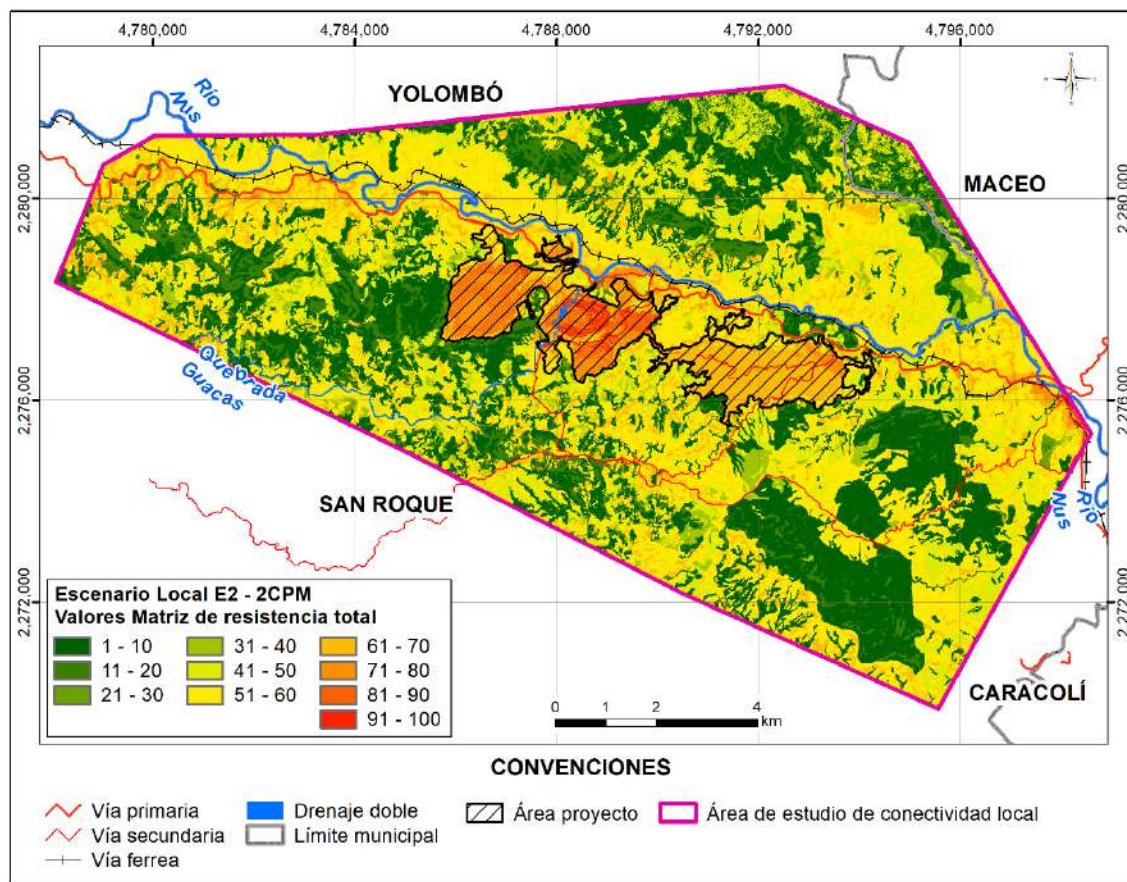


Figura 5.2.2.128. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

p. Red de conectividad local

La red de conectividad se calculó a partir de los principios de la teoría de grafos (Foltête J.-C., 2021). A continuación, se presentan los resultados de la red topológica de conectividad, para la E1 *L. pardalis* y la especie E2 *O. leucopus*, representados mediante grafos y su correspondiente vista realista, bajo las condiciones sin proyecto (0SP), con proyecto licenciado (1CPL) y con el proyecto correspondiente a la presente modificación de licencia (2CPM), a escala local.

I. Red topológica sin proyecto (0SP)

En la Figura 5.2.2.129 se muestra la red topológica de conectividad en grafos para la especie E1 *L. pardalis* y en la Figura 5.2.2.130 en vista realista.

En el escenario 0SP, para la especie E1 *L. pardalis* la red de conectividad evidencia que los nodos focales representan los parches de hábitat, mientras que los enlaces corresponden a las posibles conexiones entre estos. La red presenta una distribución amplia de nodos focales y una estructura de enlaces que permite la conexión entre los

parches de hábitat dentro del área de estudio de conectividad local. Se observa que los nodos focales de mayor tamaño y con mayor número de conexiones actúan como elementos estructurantes de la red, facilitando la conexión entre distintos subconjuntos de parches y contribuyendo de manera significativa al mantenimiento de la conectividad. Asimismo, los enlaces muestran una alta densidad, lo que indica la presencia de múltiples rutas potenciales de desplazamiento, aumentando la robustez de la red frente a posibles perturbaciones locales.

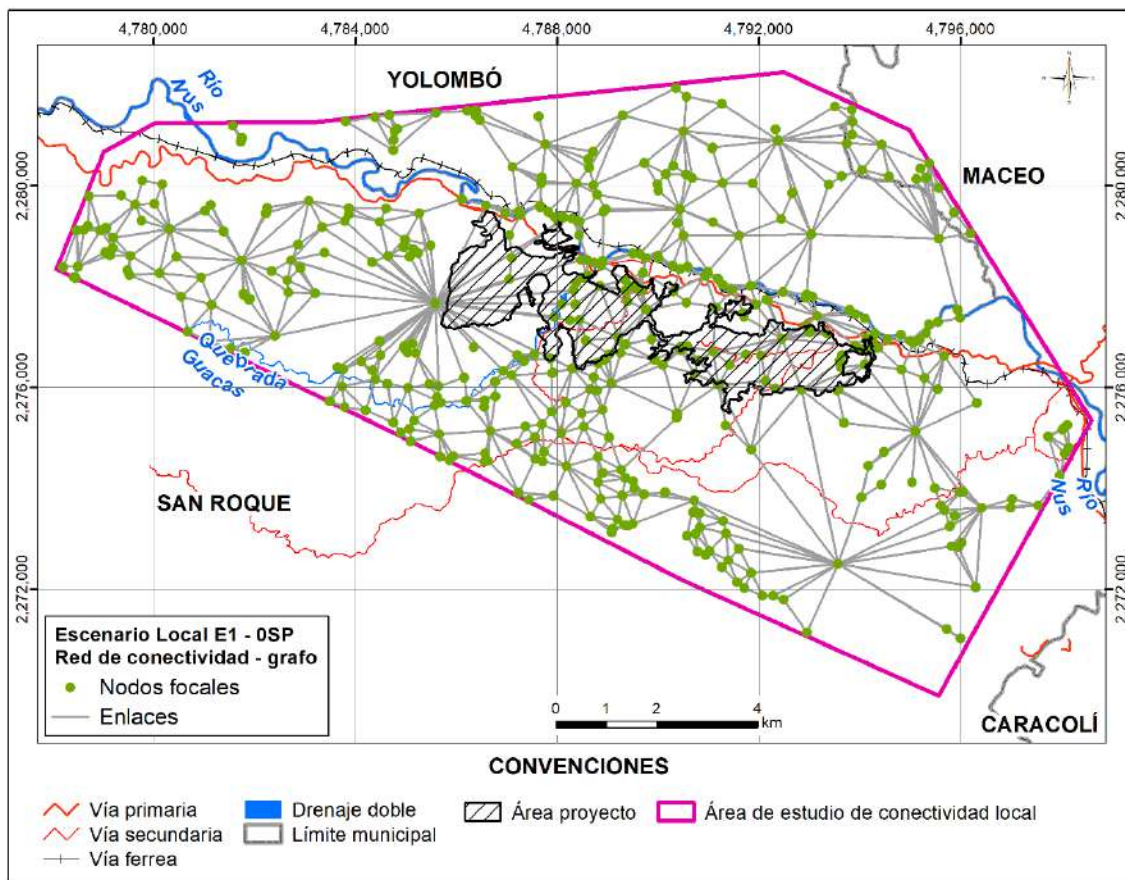


Figura 5.2.2.129. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

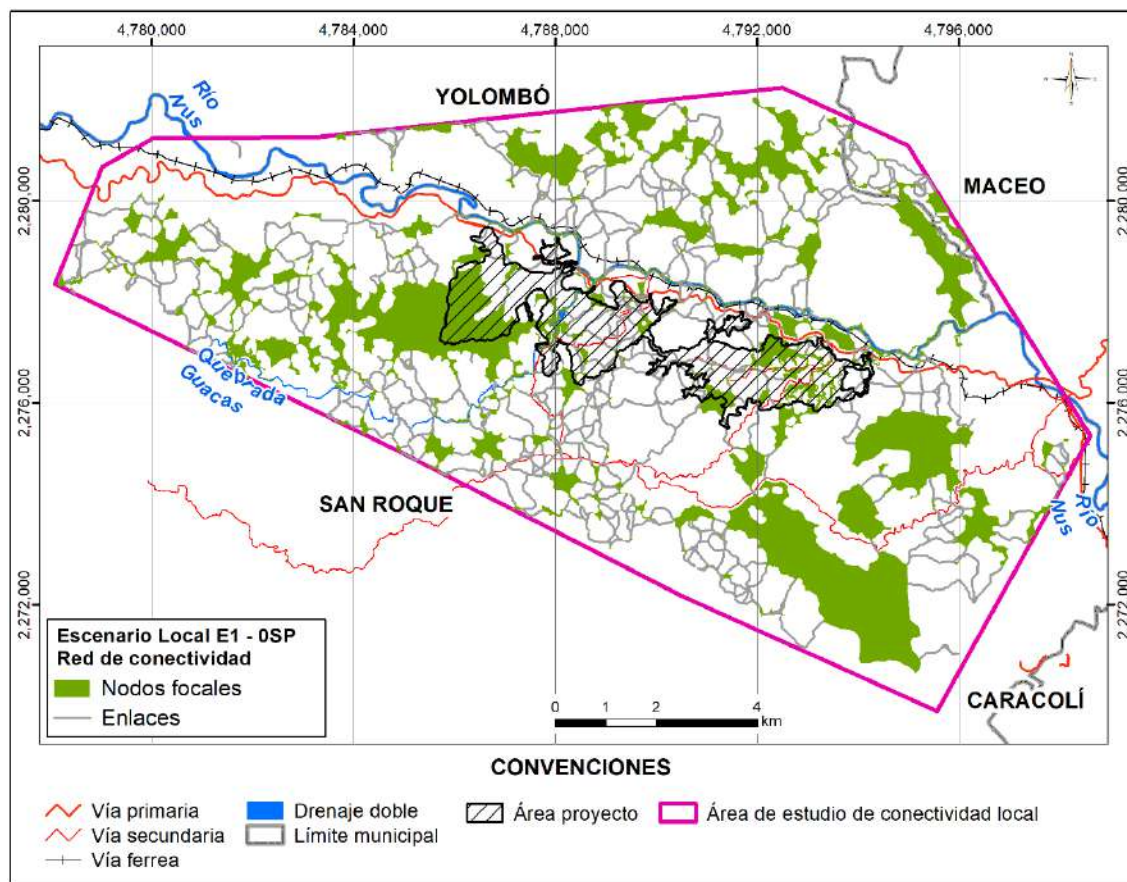


Figura 5.2.2.130. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP escala local).

Fuente: Integral S.A., 2026

En la Figura 5.2.2.131 se muestra la red topológica de conectividad en grafos para la especie E2 *O. leucopus*. y en la Figura 5.2.2.132 en vista realista.

En el escenario 0SP, para la especie E2 *O. leucopus*. la red de conectividad evidencia que los nodos focales representan los parches de hábitat, y los enlaces corresponden a las posibles conexiones entre estos, mientras que los enlaces corresponden a las posibles conexiones entre estos. La red presenta una distribución amplia de nodos focales y una estructura de enlaces que permite la conexión entre los parches de hábitat dentro del área de estudio de conectividad local, en concordancia con el patrón general observado para la especie E1 *L. pardalis*.

No obstante, a diferencia de la red identificada para E1 *L. pardalis*, la conectividad de E2 *O. leucopus*, presenta una menor densidad de enlaces, lo cual se asocia a los valores de distancia máxima de desplazamiento (truncamiento) definidos para esta especie en el modelo. Esta condición limita la generación de conexiones entre parches más distantes y se refleja en una red estructurada principalmente por conexiones de corto alcance.

A pesar de ello, los nodos focales de mayor tamaño continúan desempeñando un papel relevante como elementos estructurantes de la red, al concentrar un mayor número de conexiones y contribuir de manera significativa al mantenimiento de la conectividad funcional local para la especie.

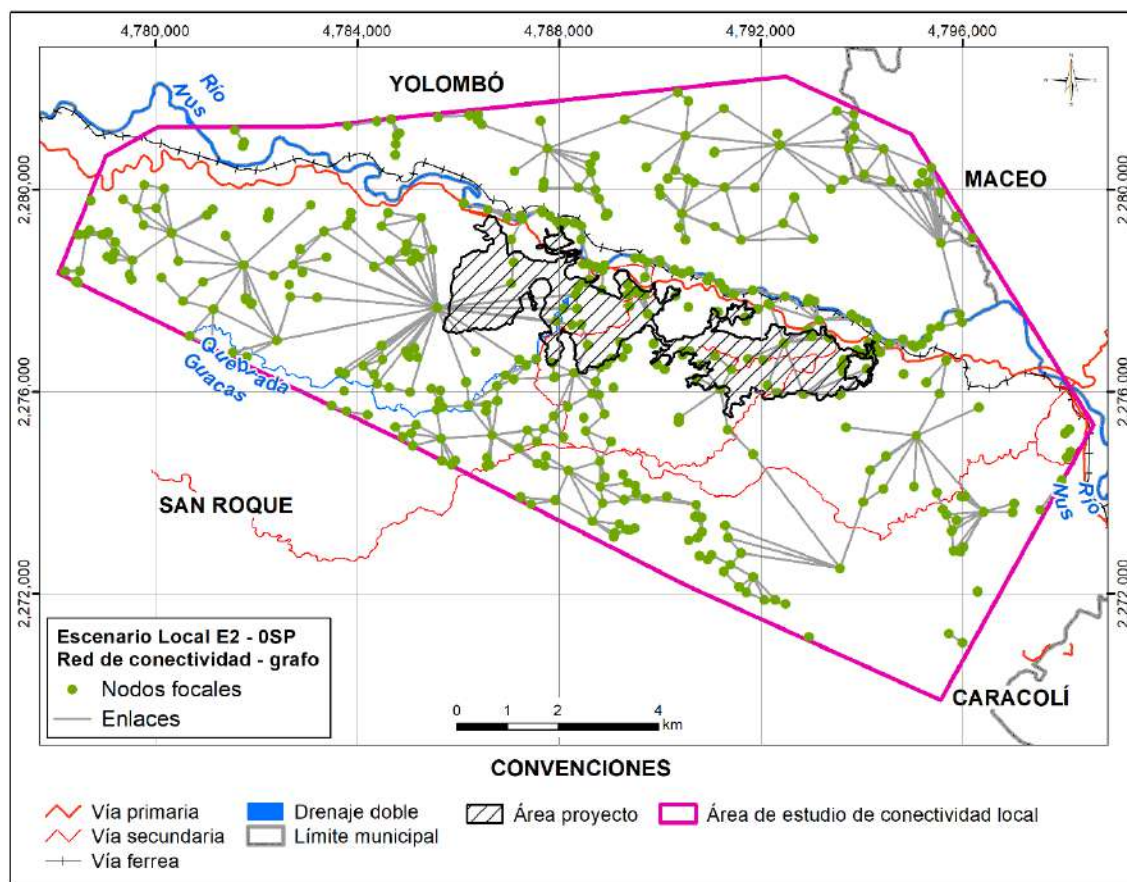


Figura 5.2.2.131. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

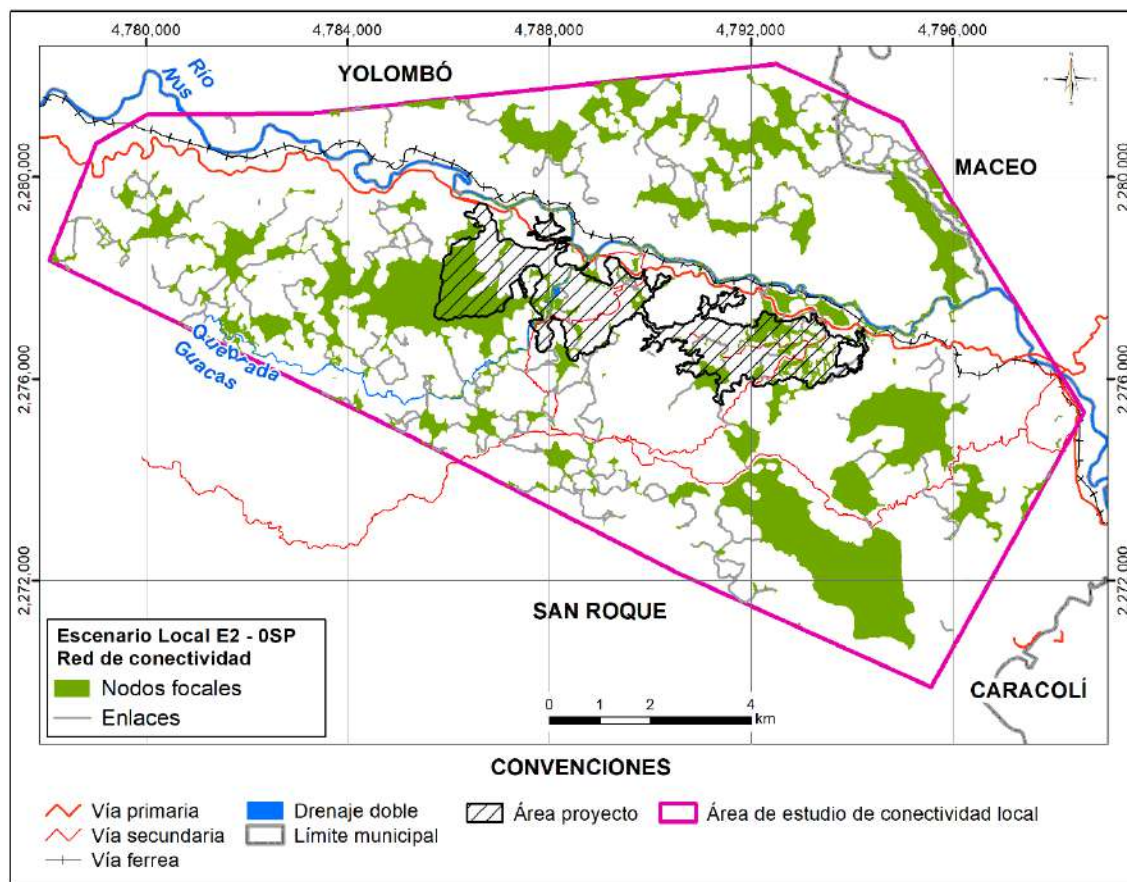


Figura 5.2.2.132. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (OSP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

En las figuras anteriores (Figura 5.2.2.129, Figura 5.2.2.130, Figura 5.2.2.130 y Figura 5.2.2.132), se evidencia una aparente desconexión de los elementos (nodos y enlaces) entre el sector norte y el sector sur del área de estudio, mostrando un aislamiento relativo entre los nodos focales localizados en dichos sectores. Asimismo, en este aislamiento se observa la infraestructura vial (vía primaria y vía férrea) y la red de drenaje (Río Nus) por lo que es posible que estos elementos actúen como generadores de esta desconexión entre nodos y aporten a la resistencia al movimiento de las especies, fragmentando la red de conectividad.

Teniendo en cuenta lo anterior, se identifican los componentes o compartimientos de la red de conectividad (representados con una línea de color café), los cuales confirman la subdivisión de la conectividad en el escenario sin proyecto (OSP) para ambas especies evaluadas: la Figura 5.2.2.133 para la E1 *L. pardalis* y la Figura 5.2.2.134 para la E2 *O. leucopus*. Los resultados de componentes (obtenidos de Graphab) en el escenario sin proyecto, permiten inferir que el conjunto de elementos del paisaje presentes en como el río Nus ofrecen alta resistencia para las dos especies. Además de la vía nacional y la vía del ferrocarril, y las coberturas de pastos con poca presencia de nodos de hábitat asociadas

a estos elementos aporta al aumento del costo de movilidad, haciendo que los enlaces teóricos que pudieran presentarse desaparezcan por el efecto del truncamiento (en metros y en costo), lo cual es coherente con la ecología de las especies.

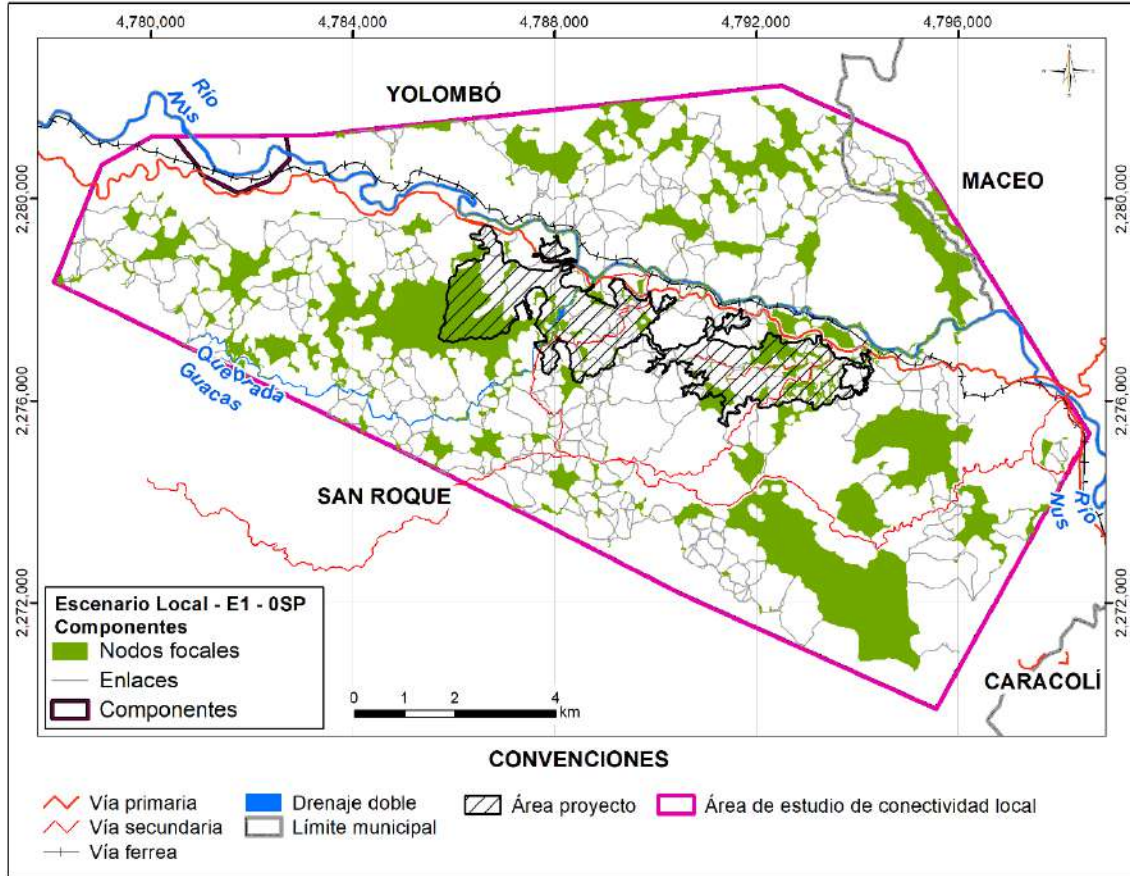


Figura 5.2.2.133. Componentes de la red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

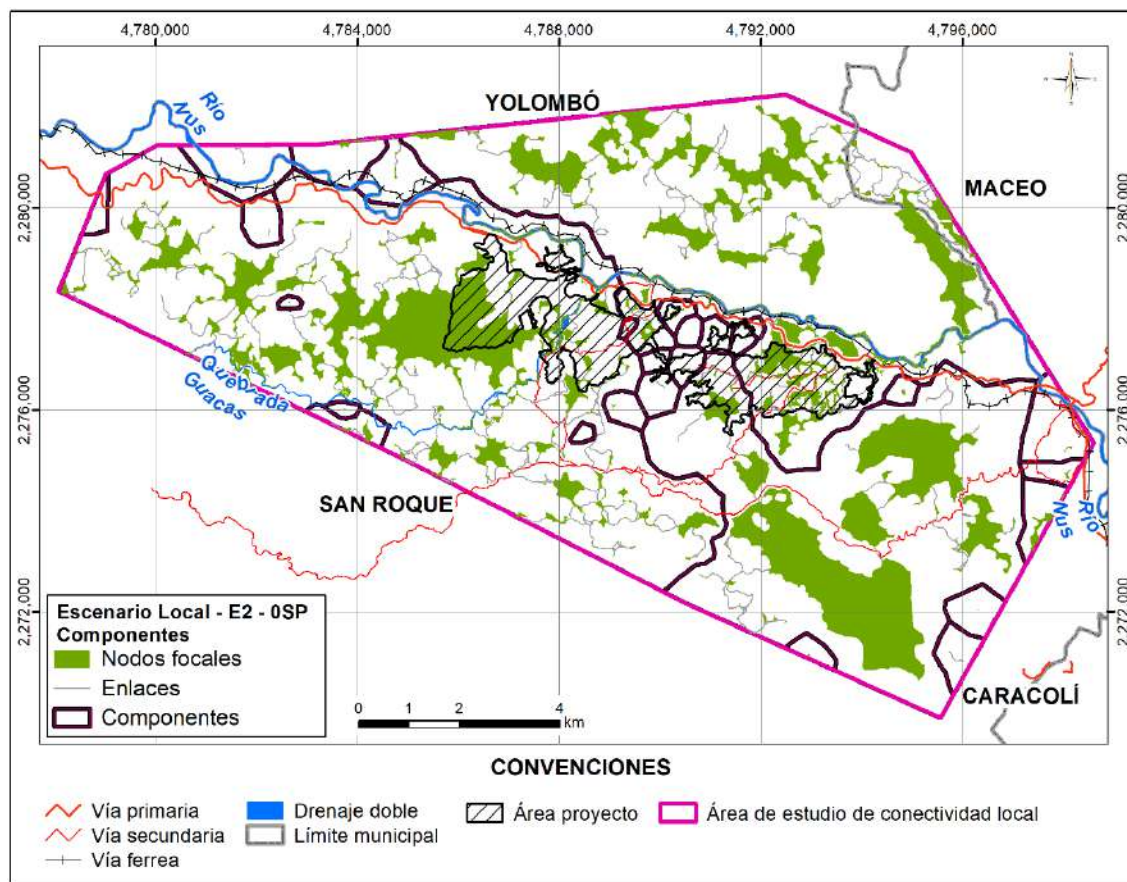


Figura 5.2.2.134. Componentes de la red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

II. Red topológica con proyecto licenciado (1CPL)

En la Figura 5.2.2.135 se muestra la red topológica de conectividad en grafos para la E1 *L. pardalis*, mientras que en la Figura 5.2.2.136 se presenta su vista realista. De manera análoga en la Figura 5.2.2.137 se presenta la red topológica de conectividad en grafos para la especie E2 *O. leucopus* y en la Figura 5.2.2.138 su correspondiente vista realista.

En el escenario 1CPL, tanto para la especie E1 *L. pardalis* y E2 *O. leucopus* la red de conectividad evidencia que los nodos focales continúan representando los parches de hábitat, mientras que los enlaces corresponden a las conexiones potenciales entre estos. No obstante, en comparación con el escenario sin proyecto (0SP), la red presenta una menor continuidad espacial y una disminución en la densidad de los enlaces, particularmente en los sectores donde se localiza el área del proyecto.

Estos cambios reflejan una reducción en la disponibilidad de rutas alternas de desplazamiento y una mayor dependencia de nodos específicos para mantener la conectividad entre parches. Los resultados evidencian que, bajo el escenario 1CPL, la red

de conectividad experimenta una disminución estructural, caracterizada por una menor densidad de enlaces y una menor disponibilidad de rutas.

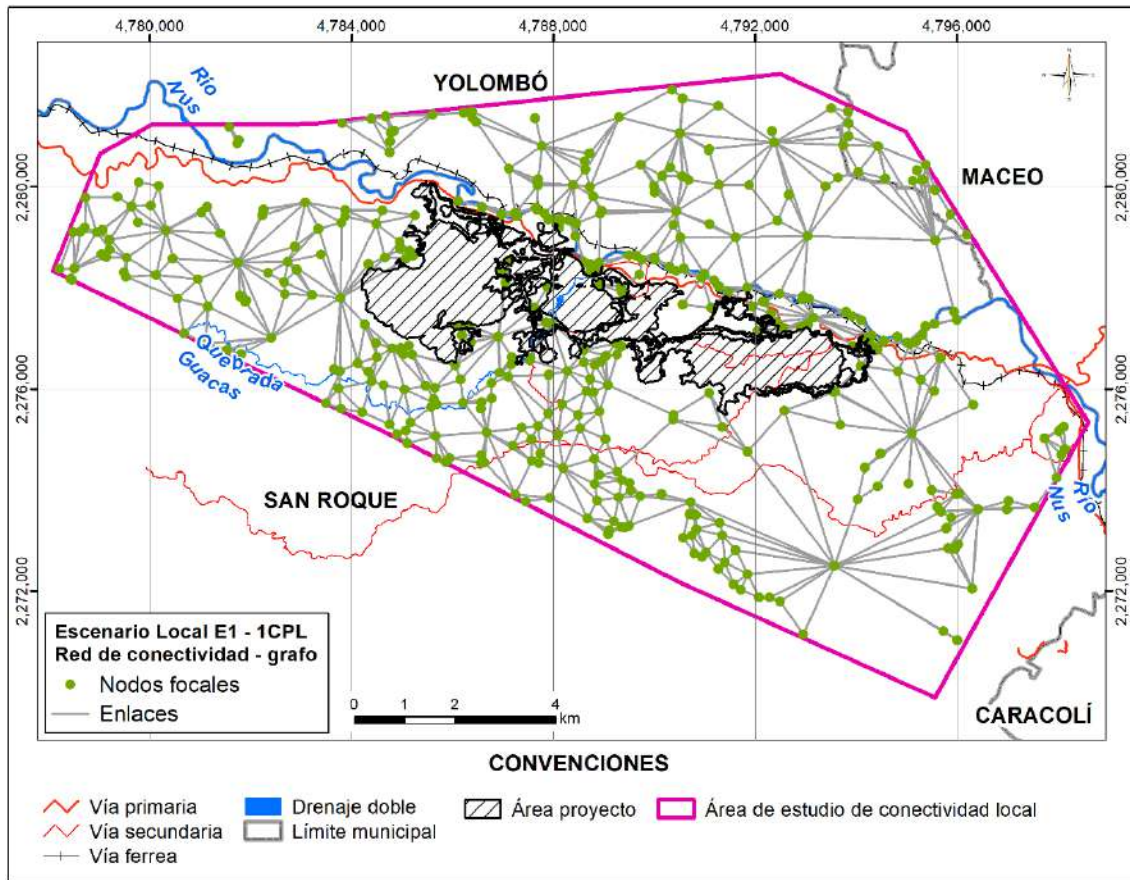


Figura 5.2.2.135. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

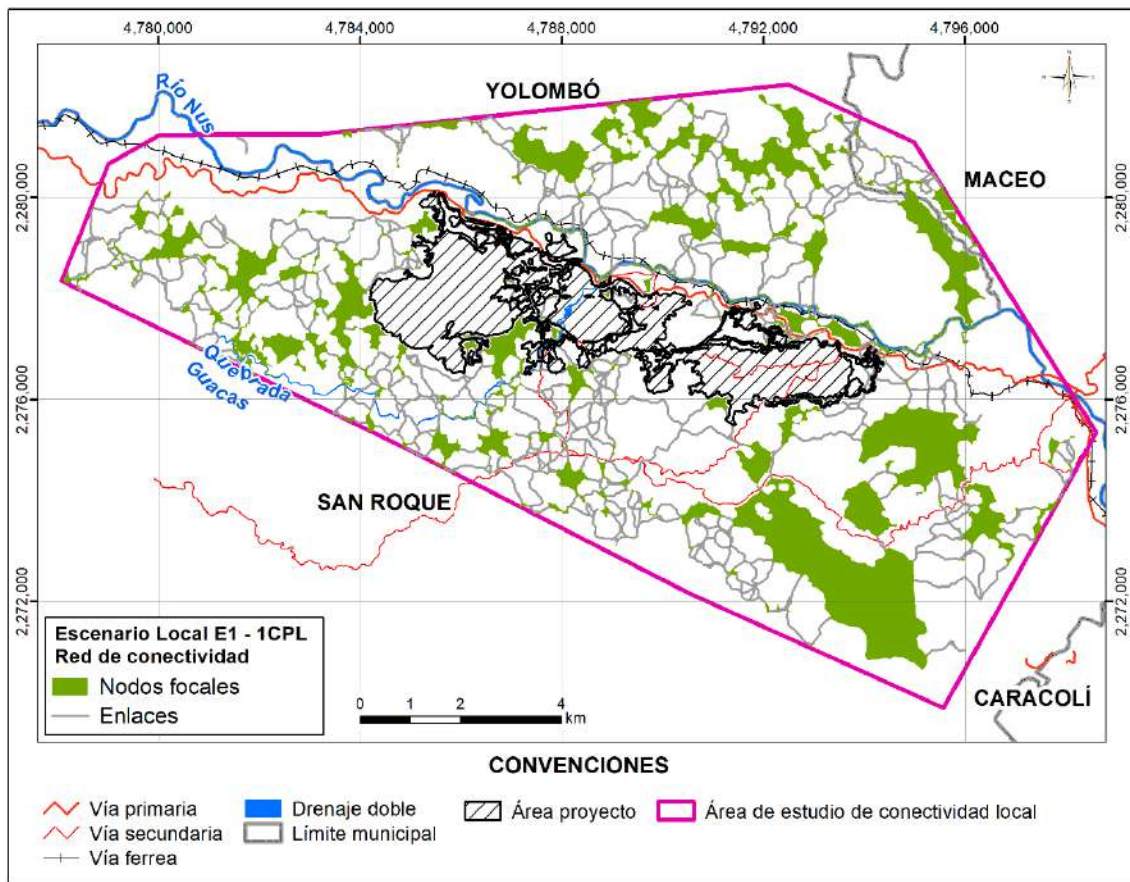


Figura 5.2.2.136. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

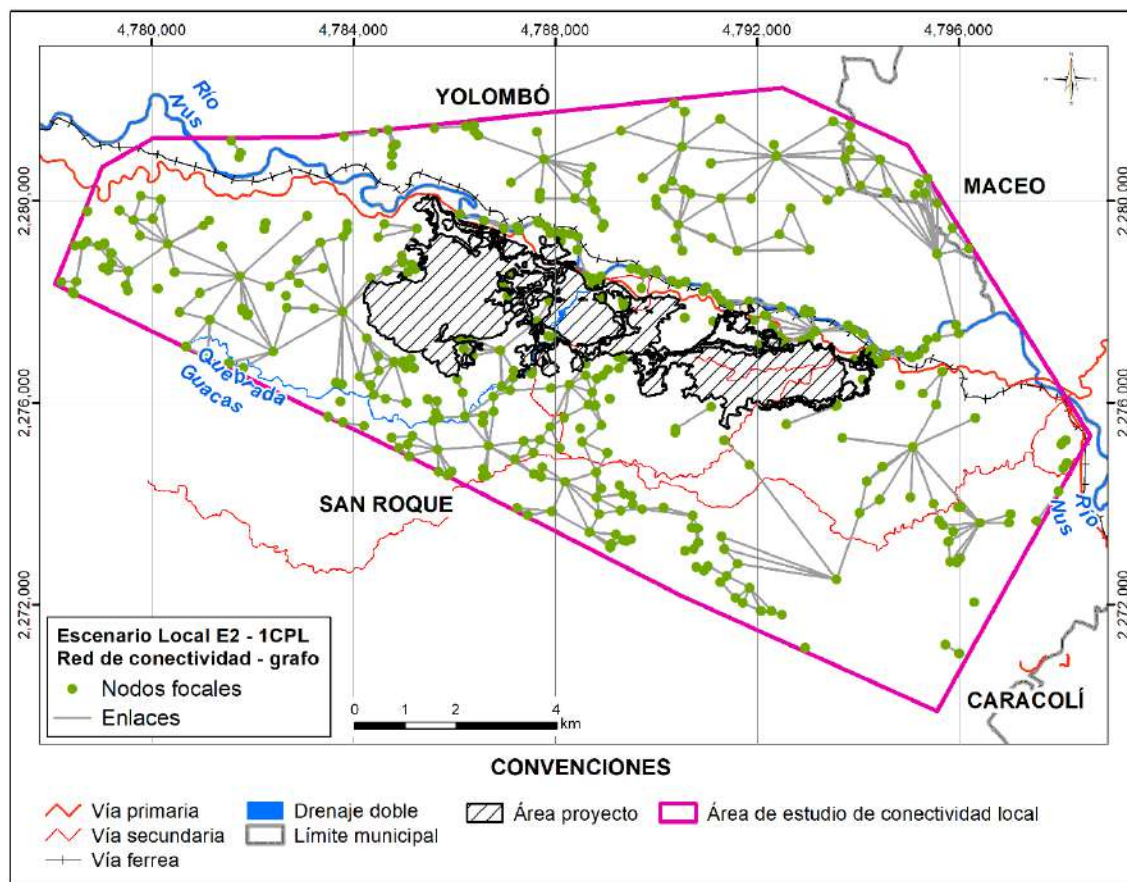


Figura 5.2.2.137. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

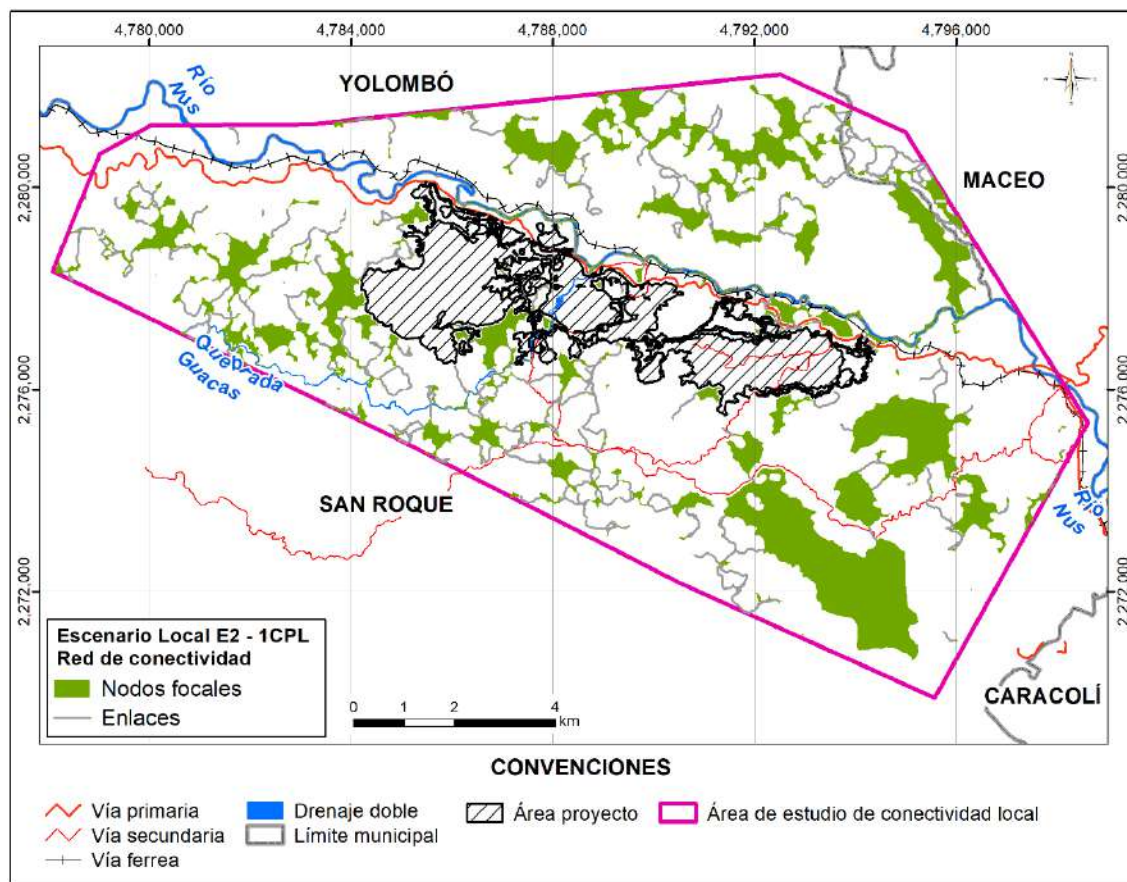


Figura 5.2.2.138. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto licenciado (1CPL) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

III. Red topológica con proyecto MEIA (2CPM)

En la Figura 5.2.2.139 se muestra la red topológica de conectividad en grafos para la E1 *L. pardalis*, mientras que en la Figura 5.2.2.140 se presenta su vista realista. De manera análoga en la Figura 5.2.2.141 se presenta la red topológica de conectividad en grafos para la especie E2 *O. leucopus* y en la Figura 5.2.2.142 su correspondiente vista realista.

En el escenario 2CPM, tanto para la especie E1 *L. pardalis* y E2 *O. leucopus* la red topológica de conectividad evidencia que los nodos focales continúan representando los parches de hábitat, mientras que los enlaces corresponden a las conexiones potenciales entre estos. En comparación con el escenario 1CPL, la red presenta una configuración espacial similar, con ajustes en la distribución de los enlaces en los sectores asociados al área del proyecto.

Se observa una reorganización de la red, caracterizada por la afectación puntual de algunos enlaces y una menor disponibilidad de rutas. No obstante, los nodos focales de mayor tamaño continúan desempeñando un papel estructurante, permitiendo la conexión entre los principales subconjuntos de parches de hábitat y evitando una fragmentación total de la red.

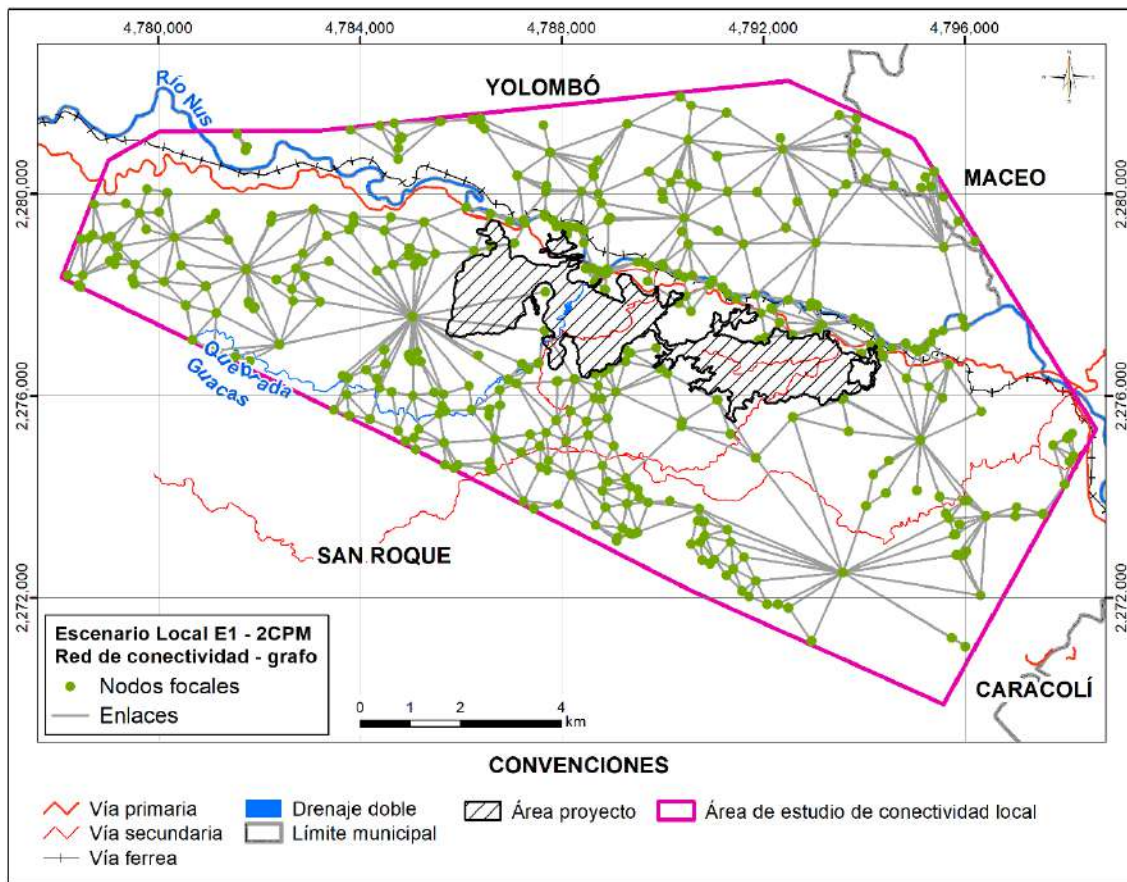


Figura 5.2.2.139. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

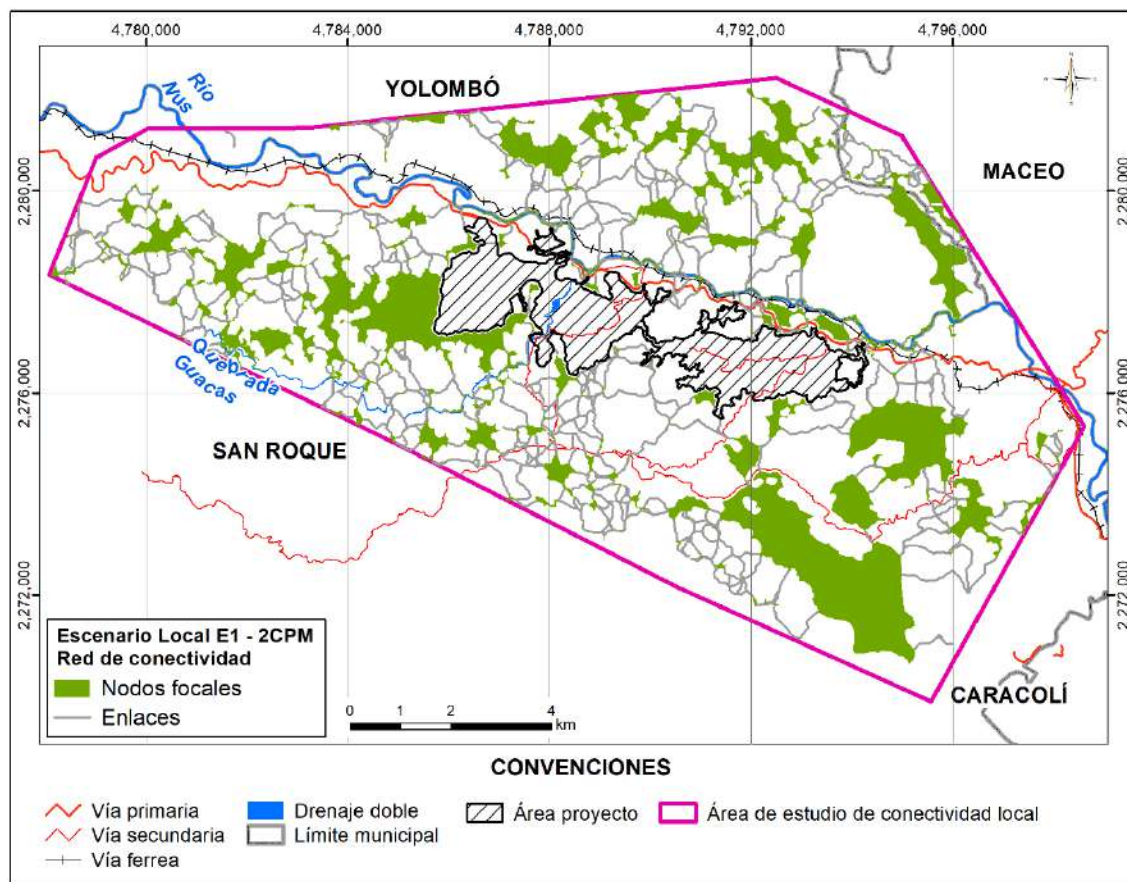


Figura 5.2.2.140. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

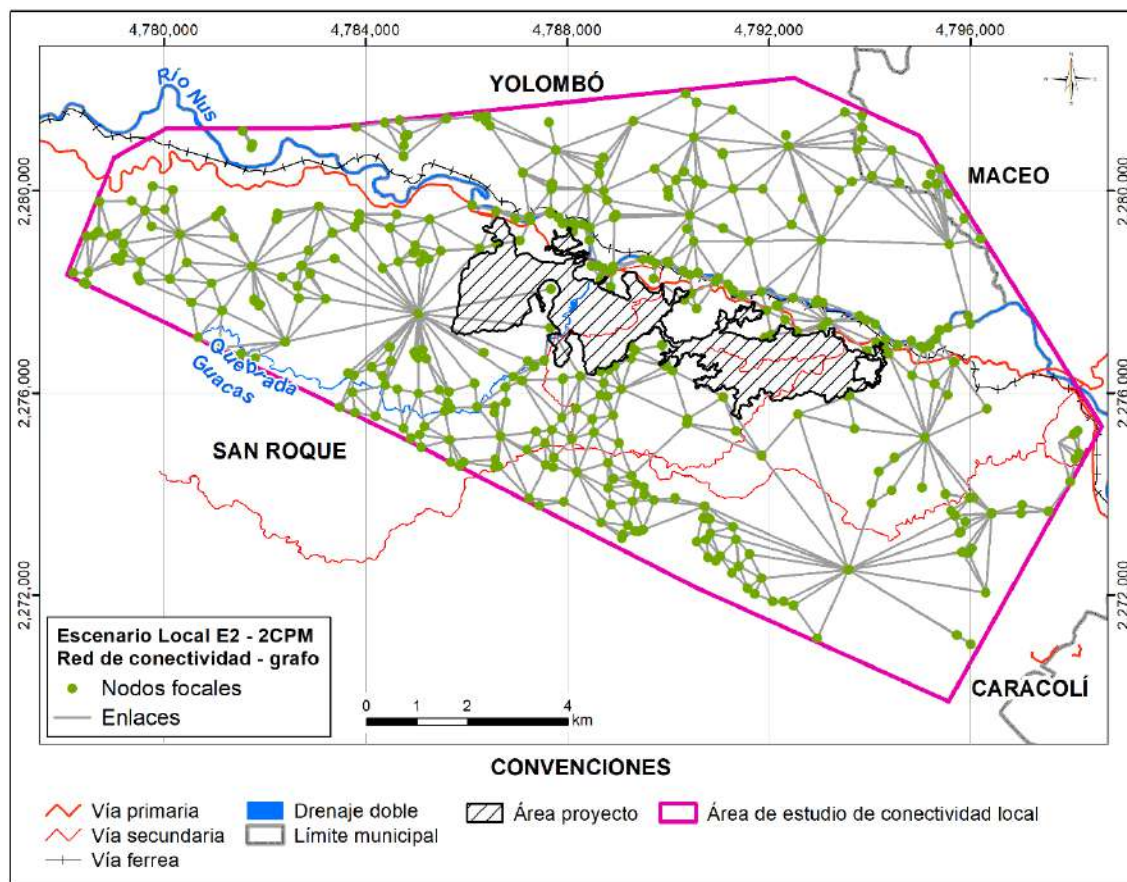


Figura 5.2.2.141. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

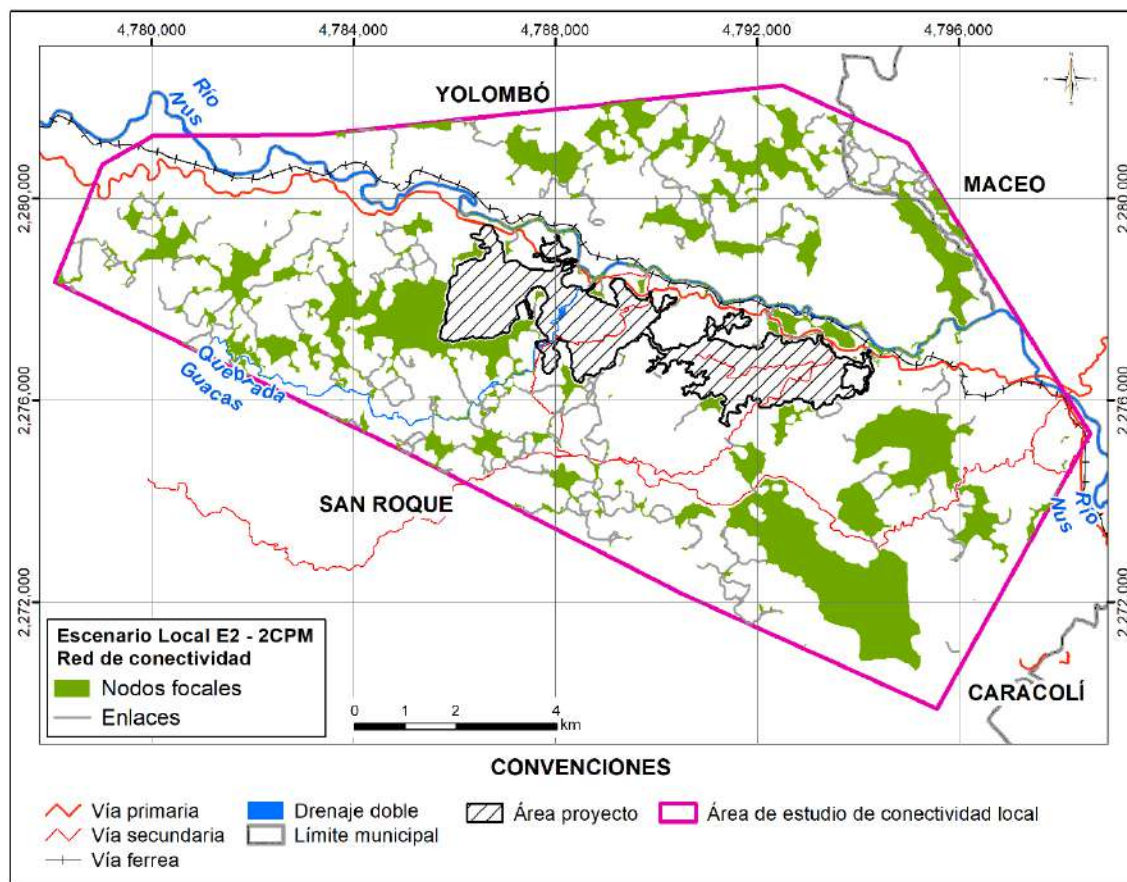


Figura 5.2.2.142. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

q. Índices de estimación de conectividad

Para la estimación de la conectividad en el área de estudio a escala local se calcularon el índice delta de probabilidad de conectividad (dPC) y sus componentes dPC_intra, dPC_flux y dPC_connector. Adicionalmente, se estimaron el delta del índice integral de conectividad (dIIC), el índice de correlación de conectividad (CCor) y la conectividad equivalente (EC). A continuación, se presentan las salidas gráficas correspondientes a cada uno de estos índices para la especie E1 *L. pardalis* y la especie E2 *O. leucopus*, clasificadas mediante el método Natural Breaks (Jenks) (Smith M., 2023), para las condiciones sin proyecto (0SP).

I. Estimación de conectividad sin proyecto (0SP)

i. Probabilidad de conectividad (PC) (delta)

En la Figura 5.2.2.143 y Figura 5.2.2.144, se presentan los valores del índice delta de probabilidad de conectividad (dPC), en grafos para la E1 *L. pardalis* y para la especie E2 *O. leucopus*, respectivamente. En dichas figuras se observa que los nodos de mayor tamaño, representados en tonos azul oscuro, corresponden a aquellos con los valores más

altos de dPC. De manera complementaria, los enlaces con mayores valores de dPC se identifican mediante colores que varían de amarillo oscuro a marrón, evidenciando su mayor contribución a la conectividad de la red.

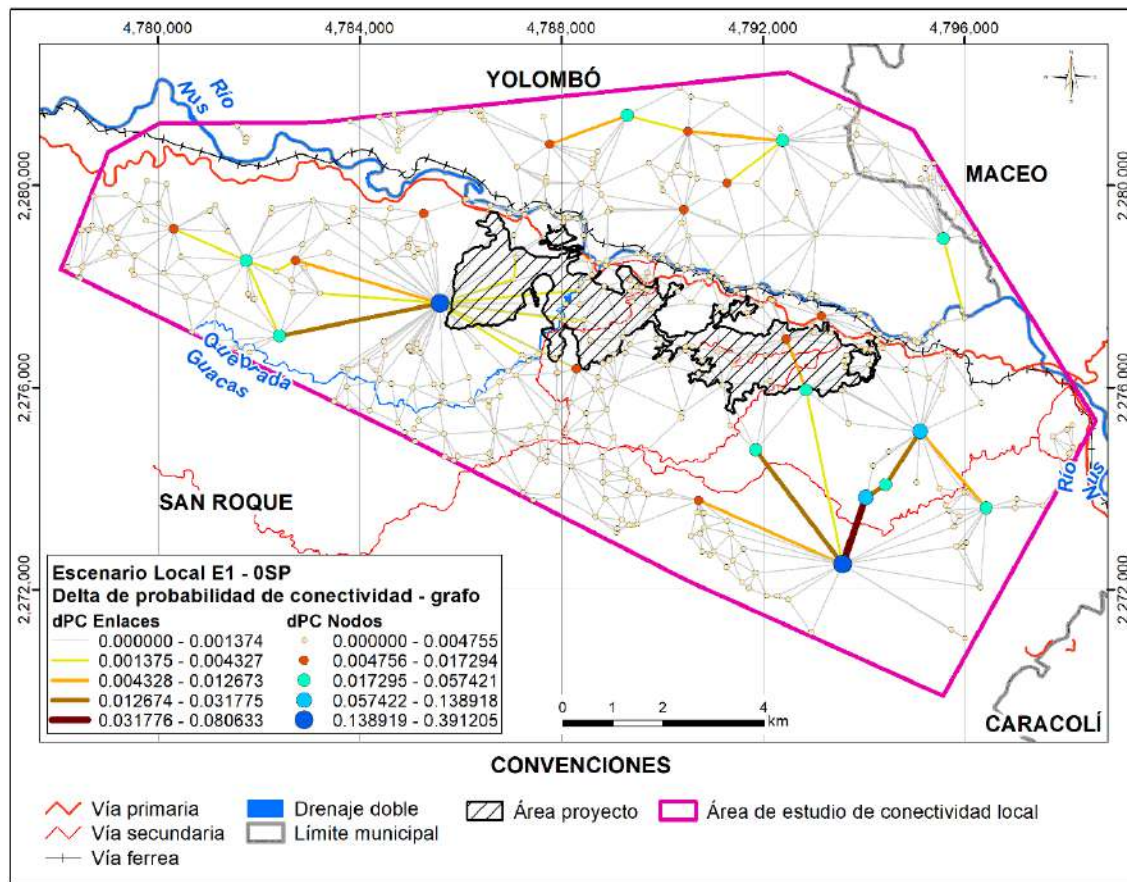


Figura 5.2.2.143. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

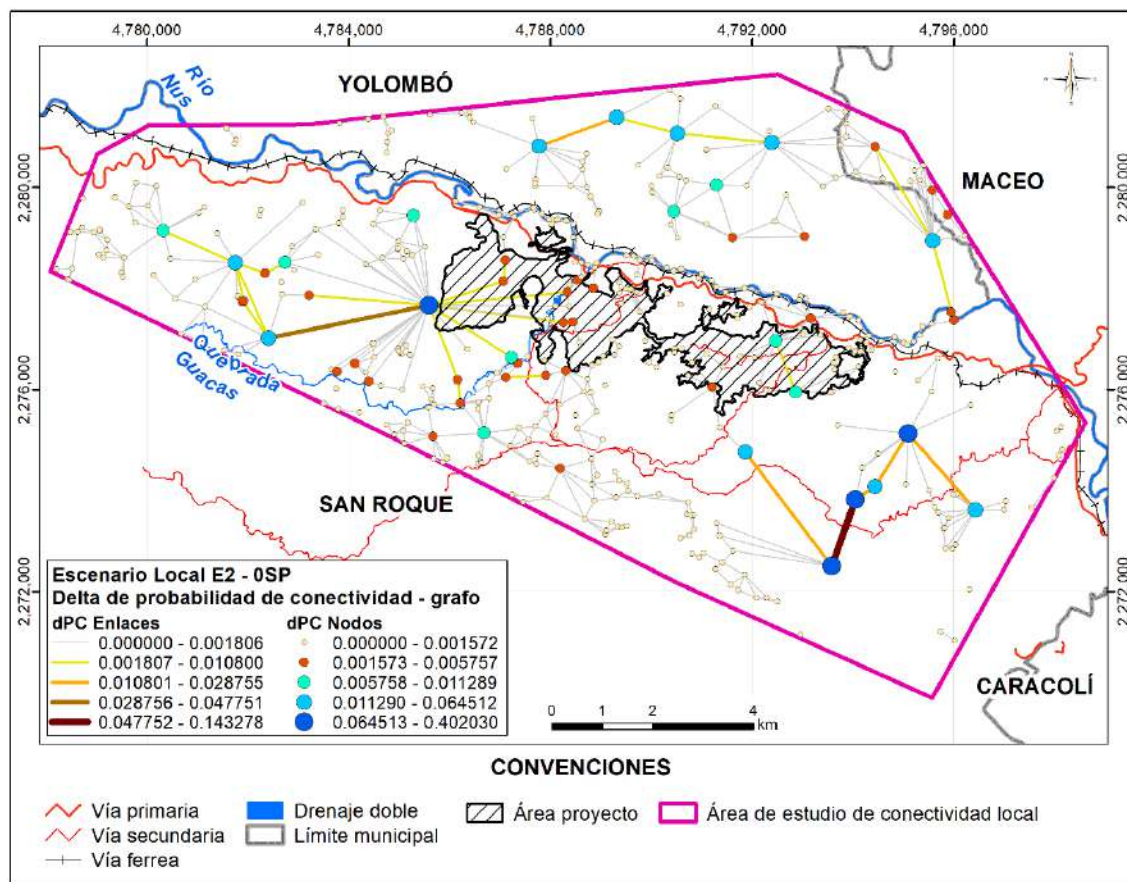


Figura 5.2.2.144. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

En la Figura 5.2.2.145 y Figura 5.2.2.146, se presentan los valores del índice delta de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la E1 *L. pardalis* y para la especie E2 *O. leucopus*, respectivamente. En las figuras se observa que los nodos representados en tonos verde oscuro corresponden a los valores más altos del delta de probabilidad de conectividad (dPC), lo que indica parches de hábitat con una alta contribución a la conectividad de la red. Asimismo, los enlaces con mayores valores de dPC, representados en color marrón, conectan los parches de mayor relevancia.

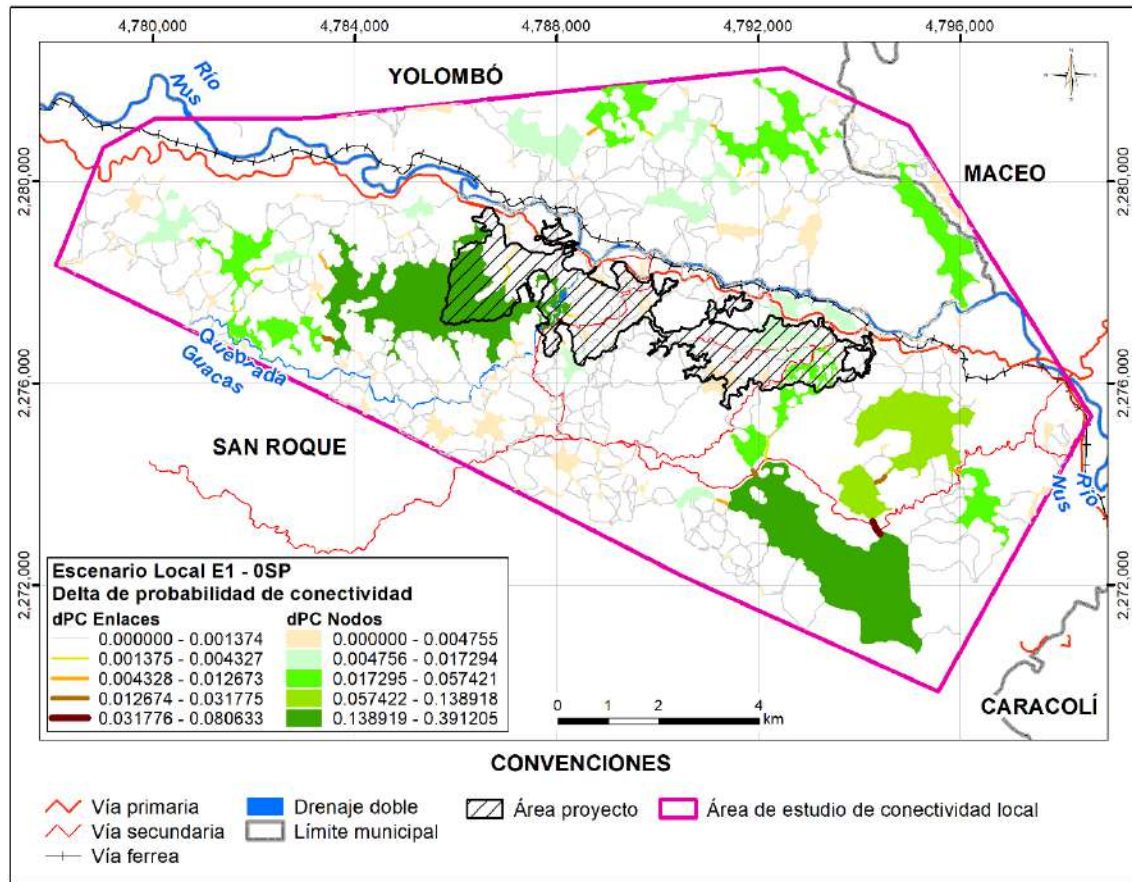


Figura 5.2.2.145. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

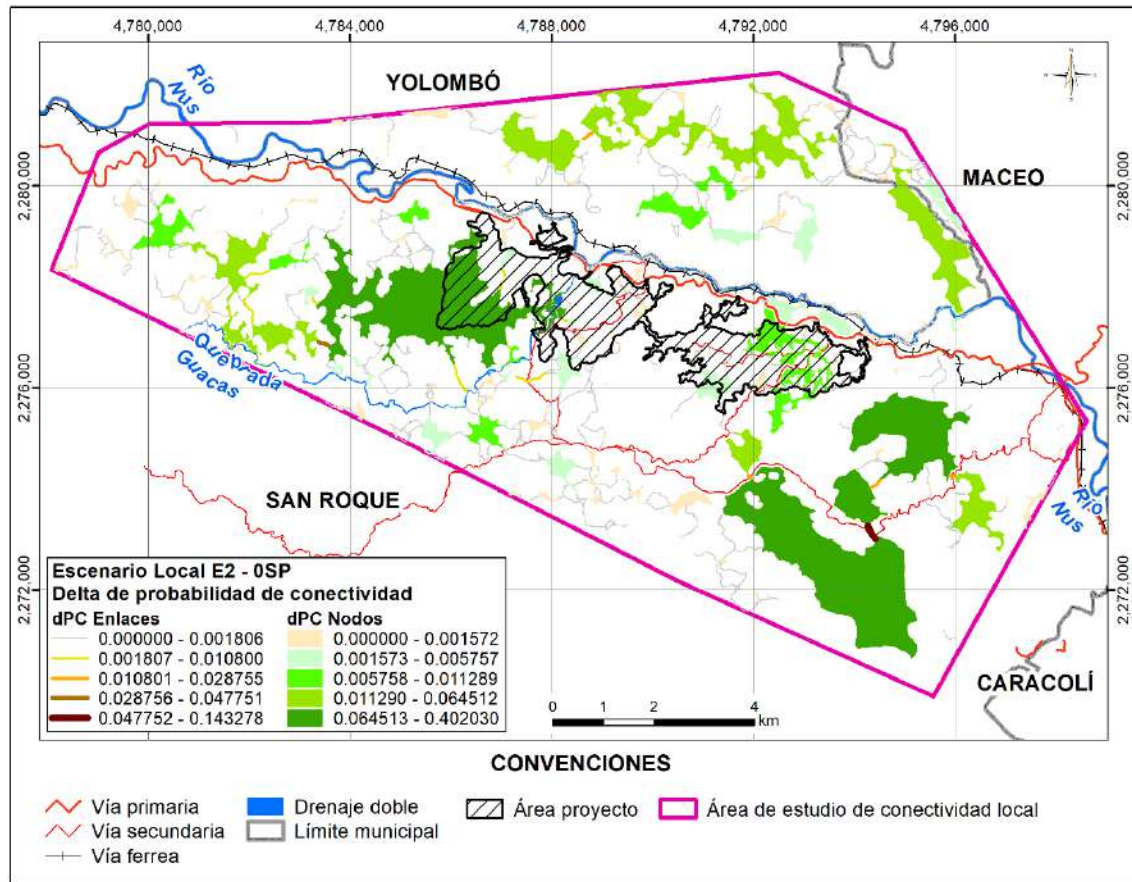


Figura 5.2.2.146. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

ii. Fracciones Probabilidad de conectividad en delta: dPCintra, dPCflux, dPCconnector.

• Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPCintra)

En la Figura 5.2.2.147 y Figura 5.2.2.148, se presentan los valores del índice delta de probabilidad de conectividad (dPCintra) en grafo y en la Figura 5.2.2.149 y Figura 5.2.2.150 en vista realista, para la E1 *L. pardalis* y para la especie E2 *O. leucopus*, respectivamente. En las figuras se observa que este índice se concentra en nodos de mayor tamaño, los cuales presentan los valores más altos de dPC_intra y, por tanto, una mayor contribución a la conectividad interna de la red.

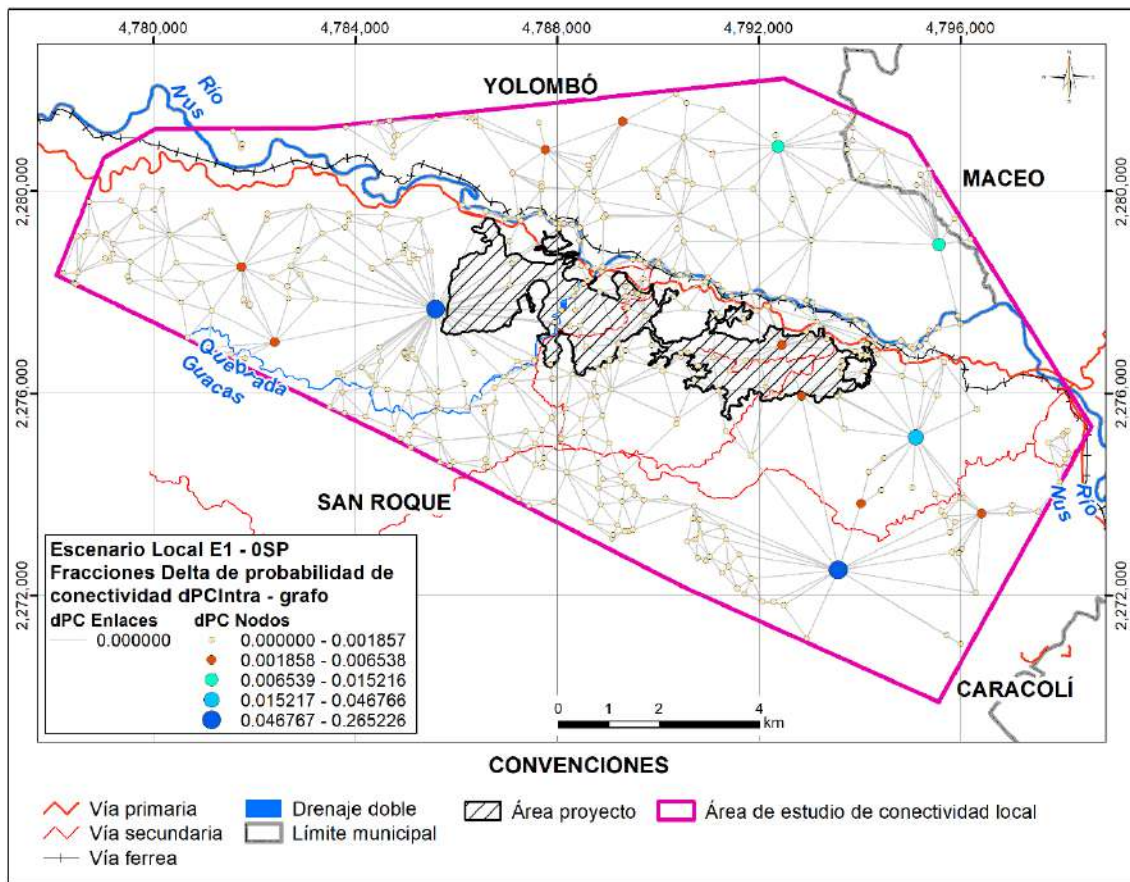


Figura 5.2.2.147. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad intra (dPCIntra) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

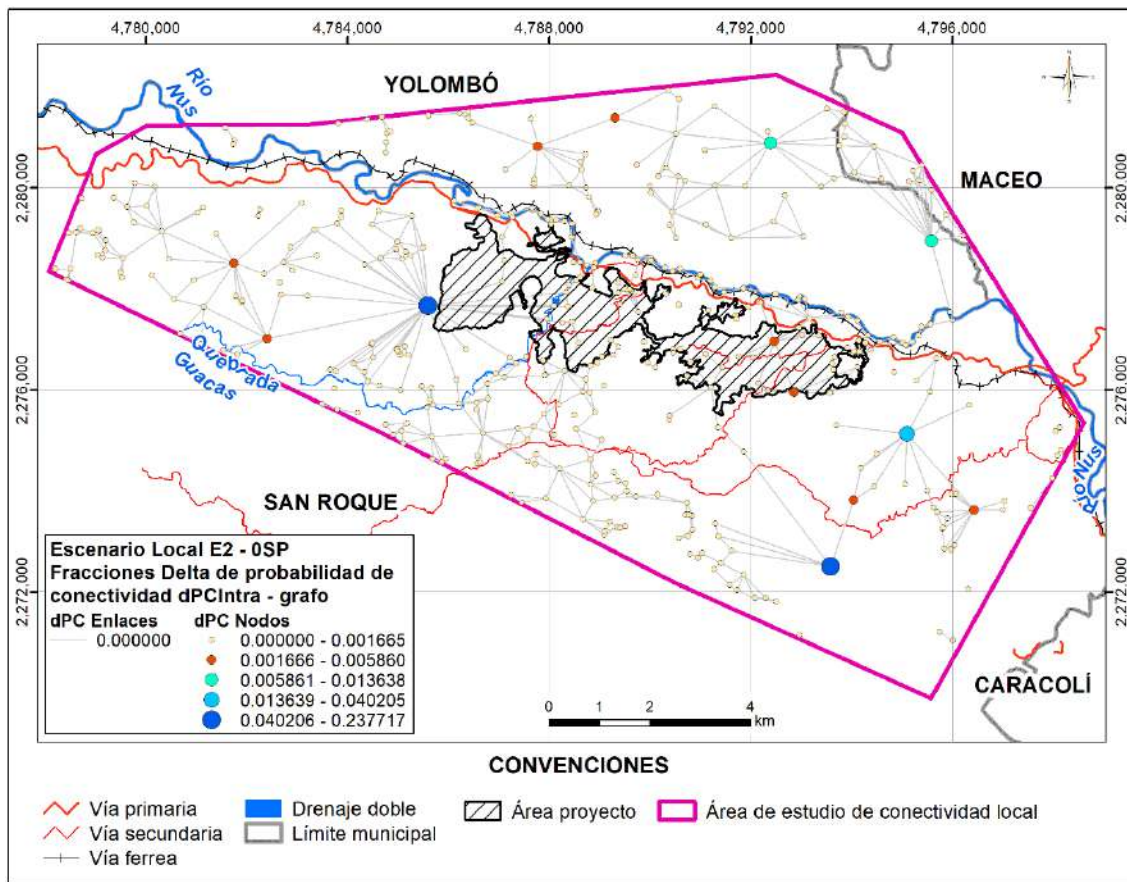


Figura 5.2.2.148. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad intra (dPCIntra) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

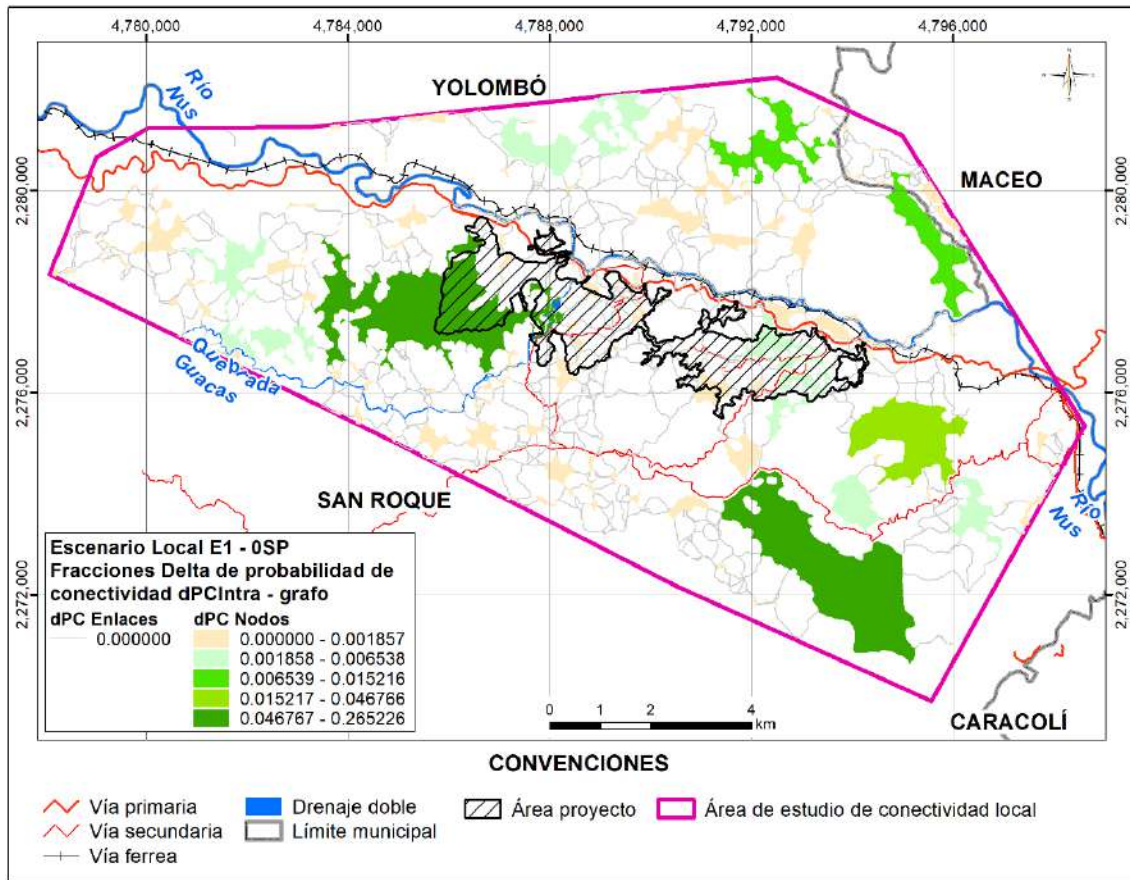


Figura 5.2.2.149. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad intra (dPCintra) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (OSP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

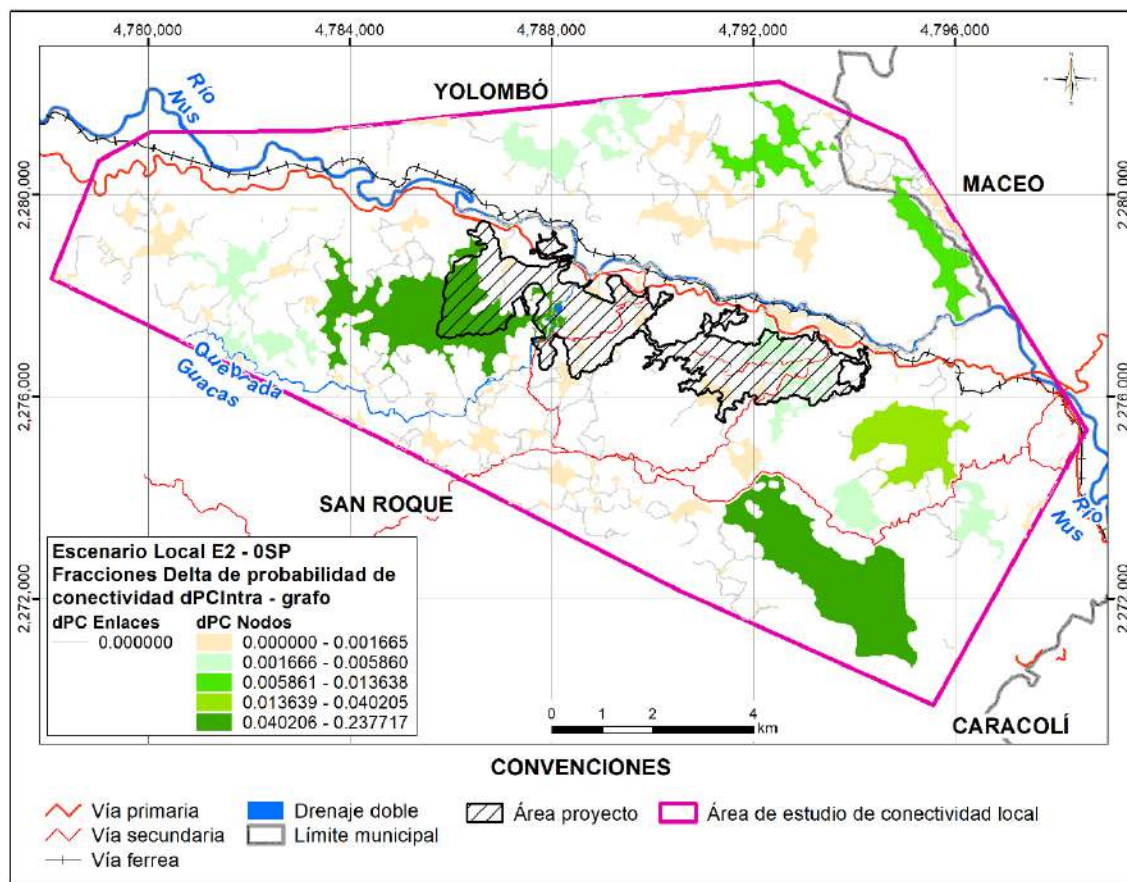


Figura 5.2.2.150. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad intra (dPCintra) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

- **Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPCflux)**

En la Figura 5.2.2.151 y Figura 5.2.2.152, se presentan los valores del índice delta de probabilidad de conectividad (dPCflux) en grafo y en la Figura 5.2.2.153 y Figura 5.2.2.154 en vista realista, para la E1 *L. pardalis* y para la especie E2 *O. leucopus*, respectivamente. En dichas figuras se observa que este índice resalta los parches que realizan la mayor contribución al flujo de conectividad entre nodos, en la red a escala local.

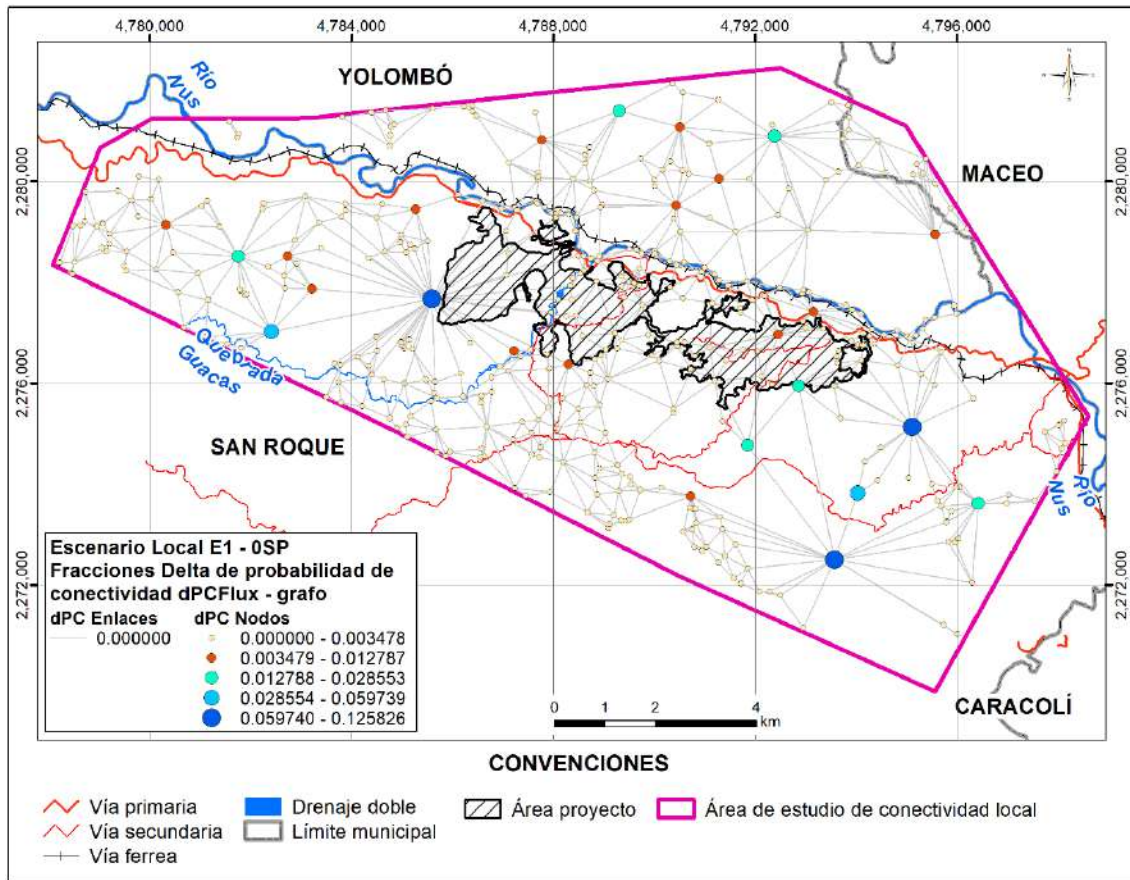


Figura 5.2.2.151. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad flux (dPCflux) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

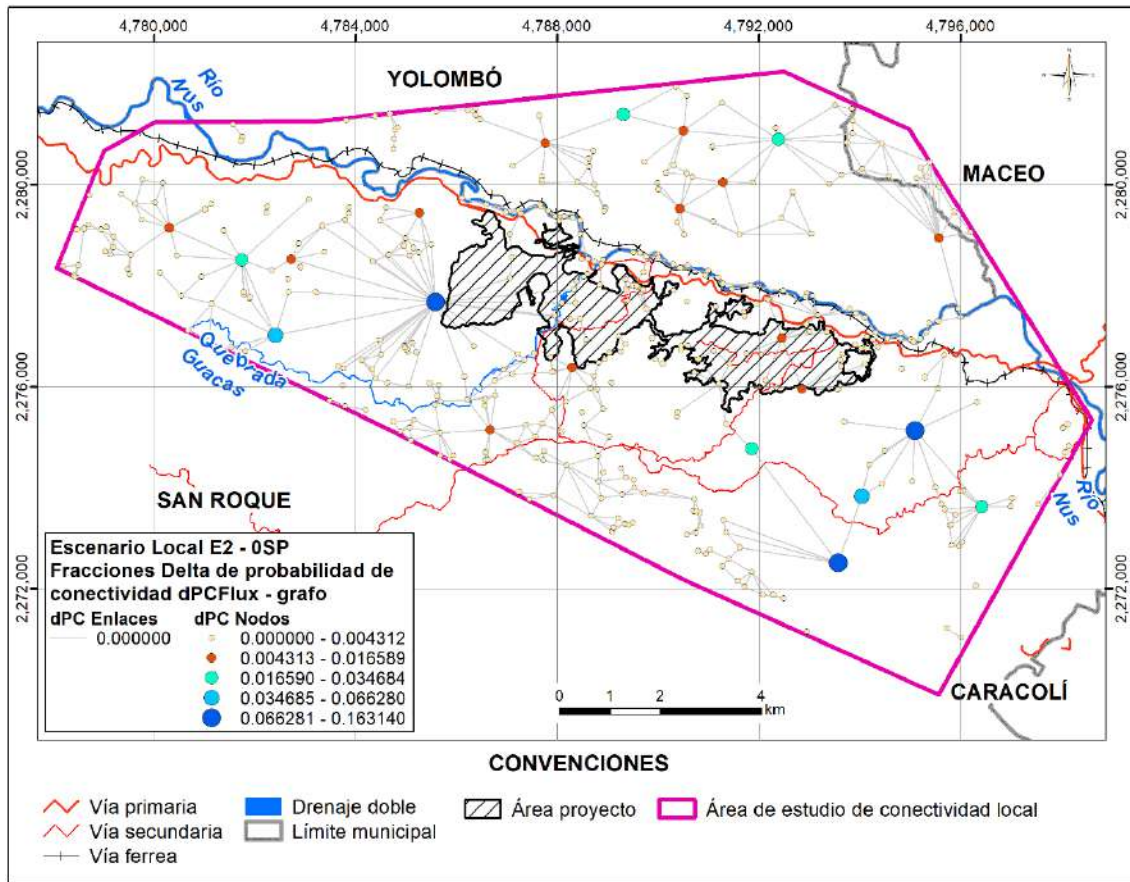


Figura 5.2.2.152. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad flux (dPCflux) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

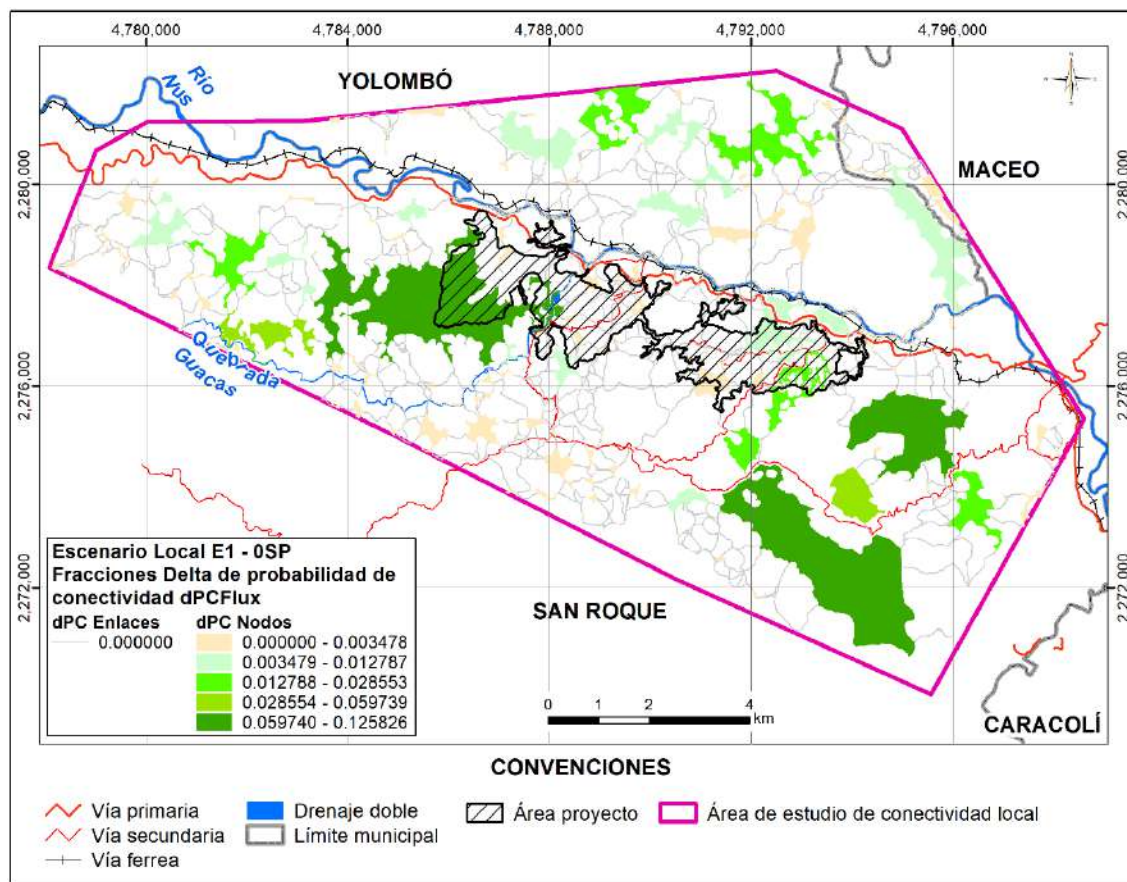


Figura 5.2.2.153. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad flux (dPCflux) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

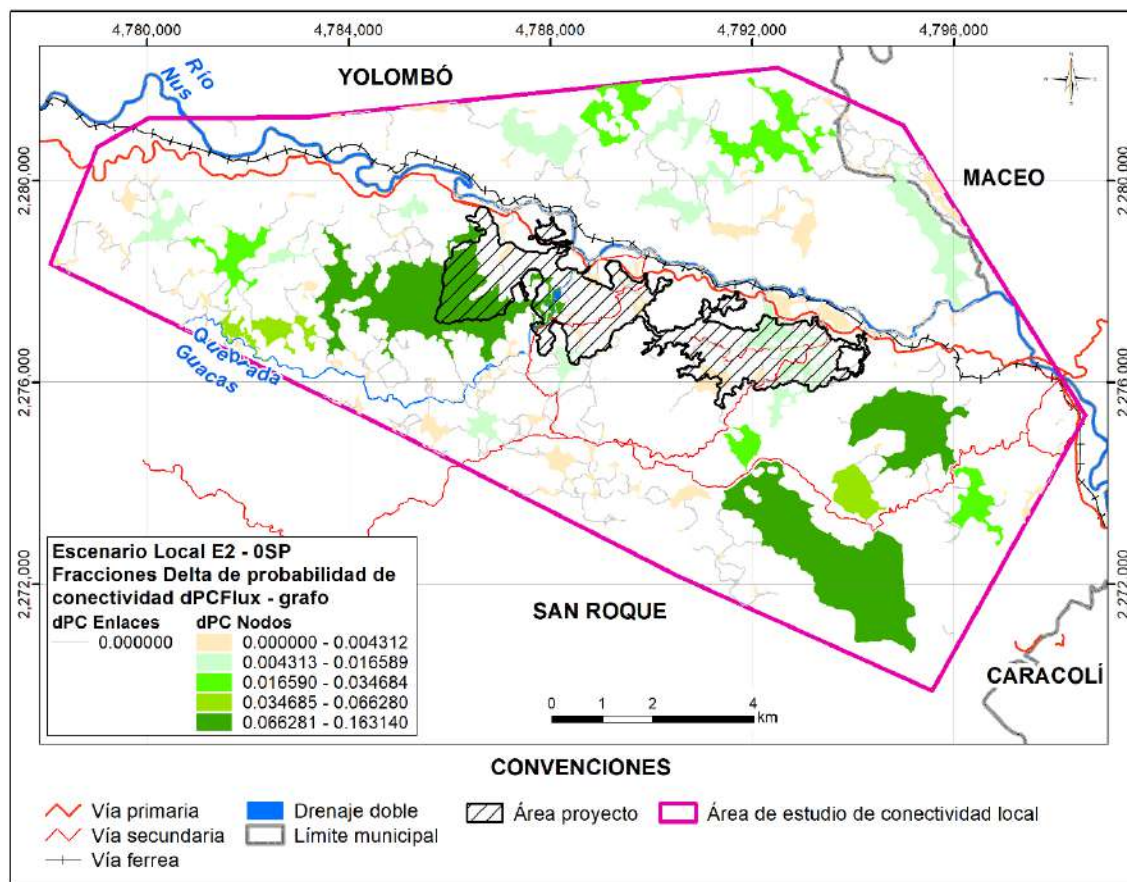


Figura 5.2.2.154. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad flux (dPCflux) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

- **Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPCconnector)**

En la Figura 5.2.2.155 y Figura 5.2.2.156, se presentan los valores del índice delta de probabilidad de conectividad (dPCconnector) en grafo y en la Figura 5.2.2.157 y Figura 5.2.2.158 en vista realista, para la E1 *L. pardalis* y para la especie E2 *O. leucopus*, respectivamente. En dichas figuras se observa que este índice identifica los nodos que cumplen un papel importante como elementos de enlace dentro de la red, actuando como conectores entre parches de hábitat que, de otro modo, podrían permanecer aislados.

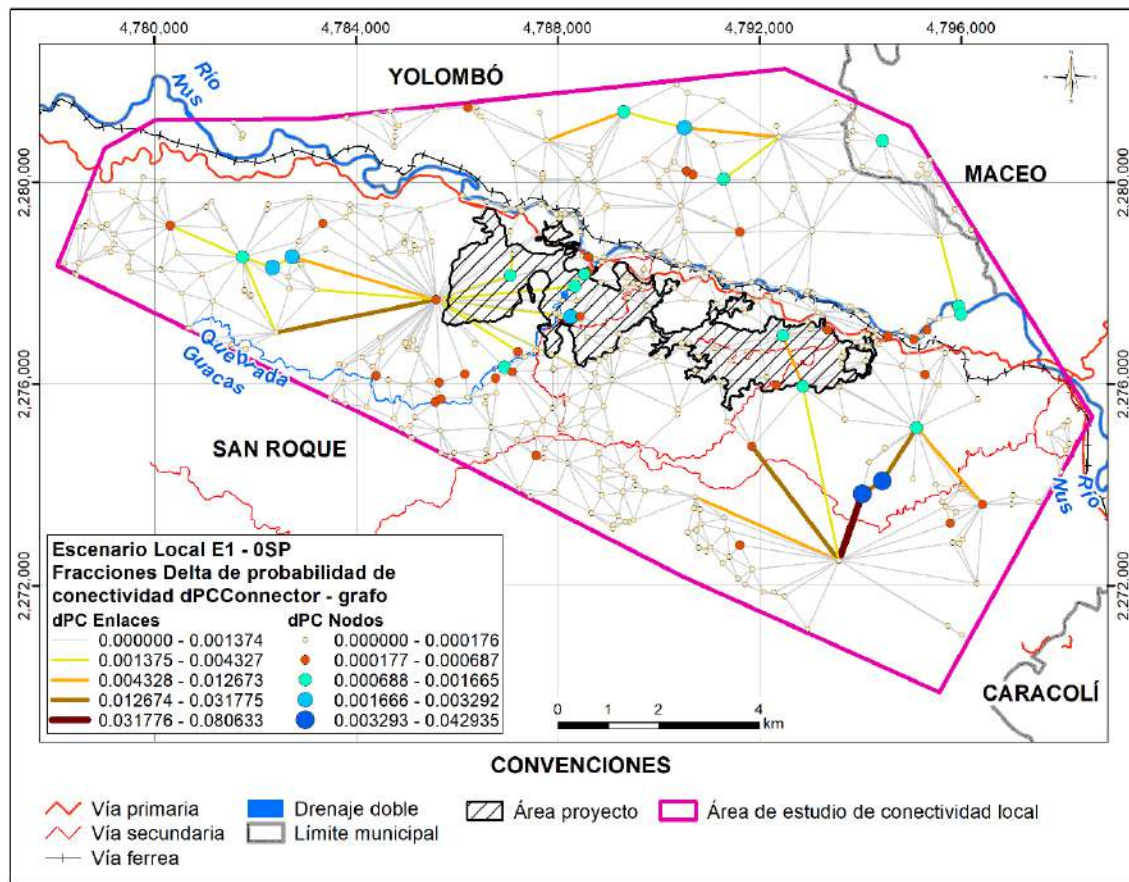


Figura 5.2.2.155. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad connector (dPCconnector) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

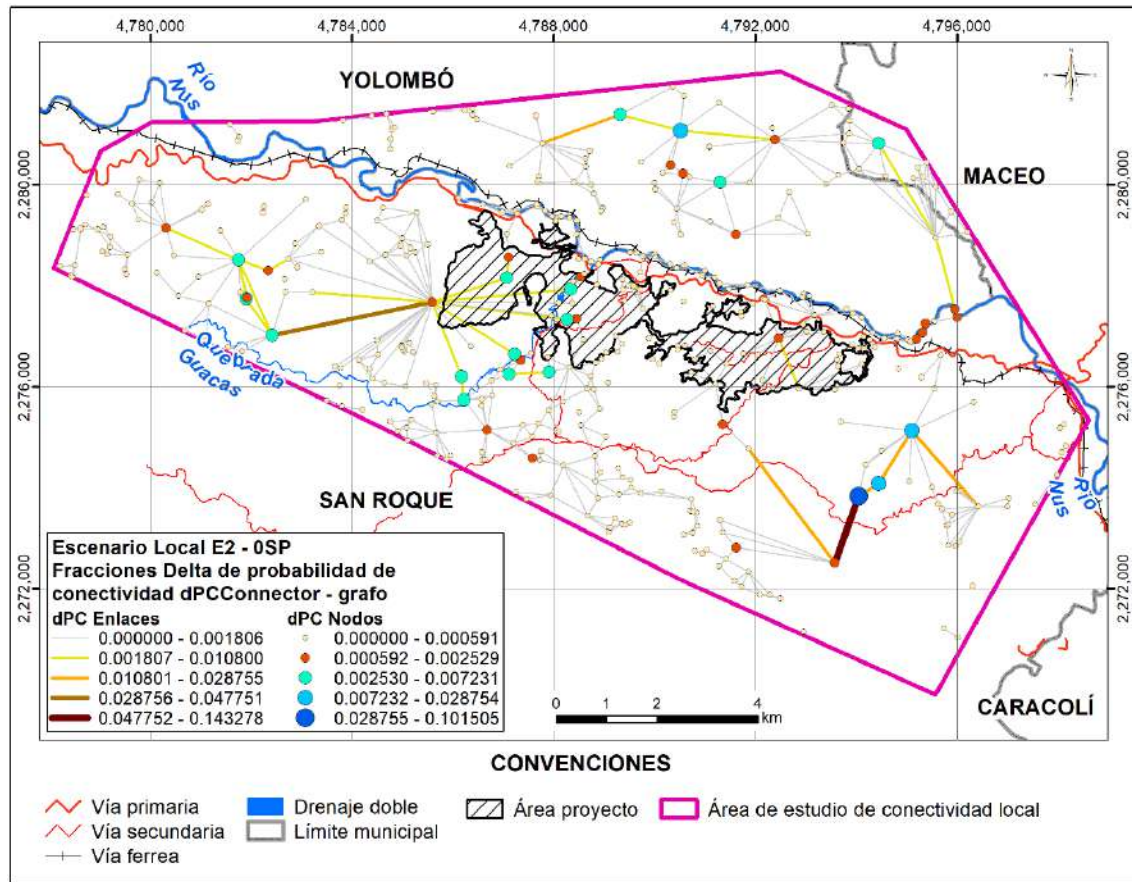


Figura 5.2.2.156. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad connector (dPCconnector) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

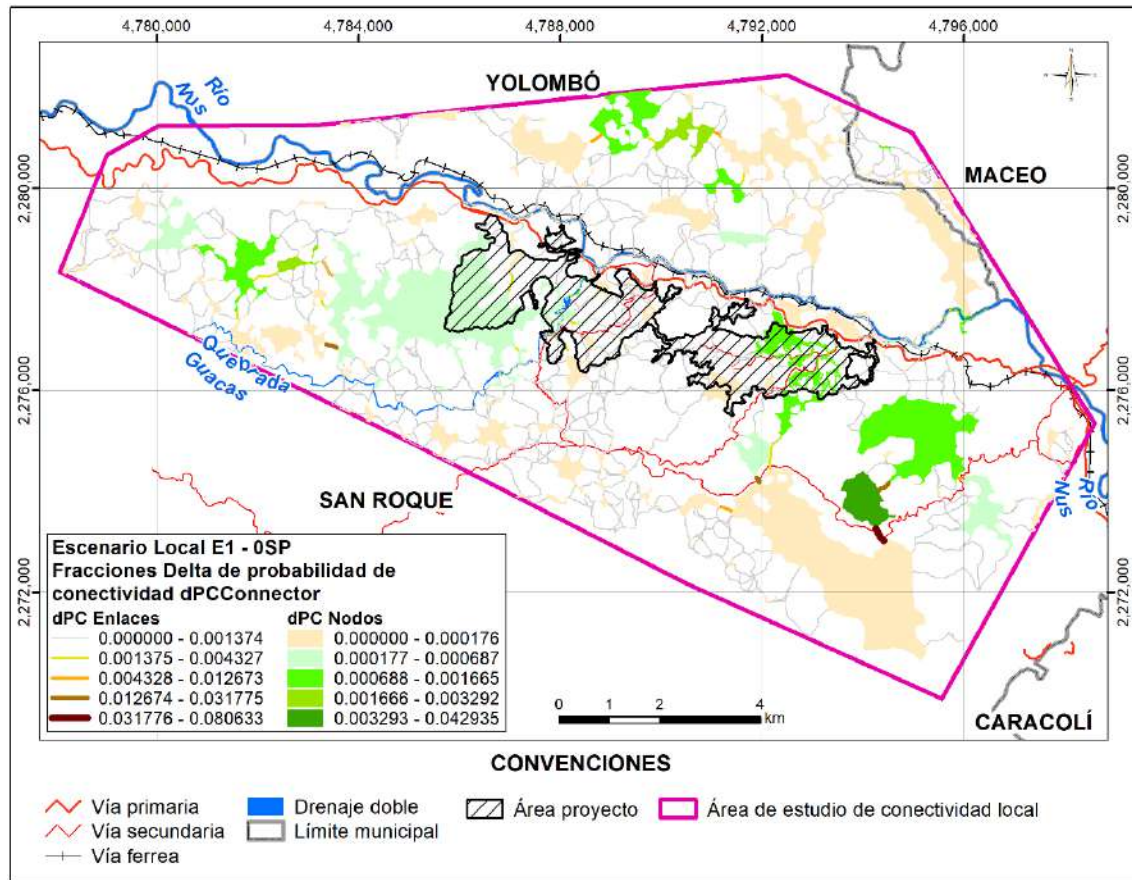


Figura 5.2.2.157. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad connector (dPCconnector) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (OSP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

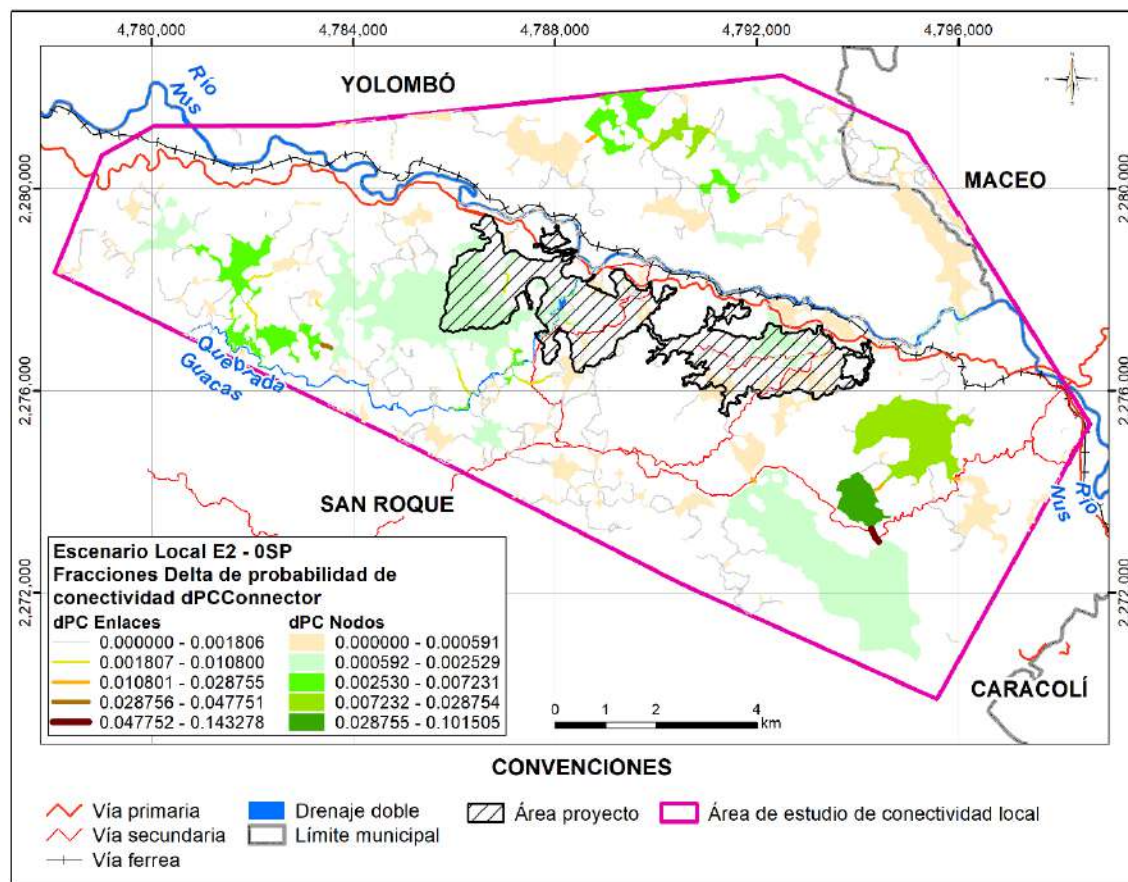


Figura 5.2.2.158. Fracción del delta del índice de probabilidad de conectividad connector (dPCconnector) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (OSP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

iii. Índice Integral de Conectividad (IIC) (delta)

En la Figura 5.2.2.159 y Figura 5.2.2.160, se presentan los valores del índice integral de conectividad (dIIC), en grafos para la E1 *L. pardalis* y para la especie E2 *O. leucopus*, respectivamente. En dichas figuras se observa que los nodos de mayor tamaño, representados en tonos azul oscuro, corresponden a aquellos con los valores más altos de dIIC. De manera complementaria, los enlaces con mayores valores de dIIC se identifican mediante colores que varían de amarillo oscuro a marrón, evidenciando la importancia estructural de nodos y enlaces dentro de la red de conectividad.

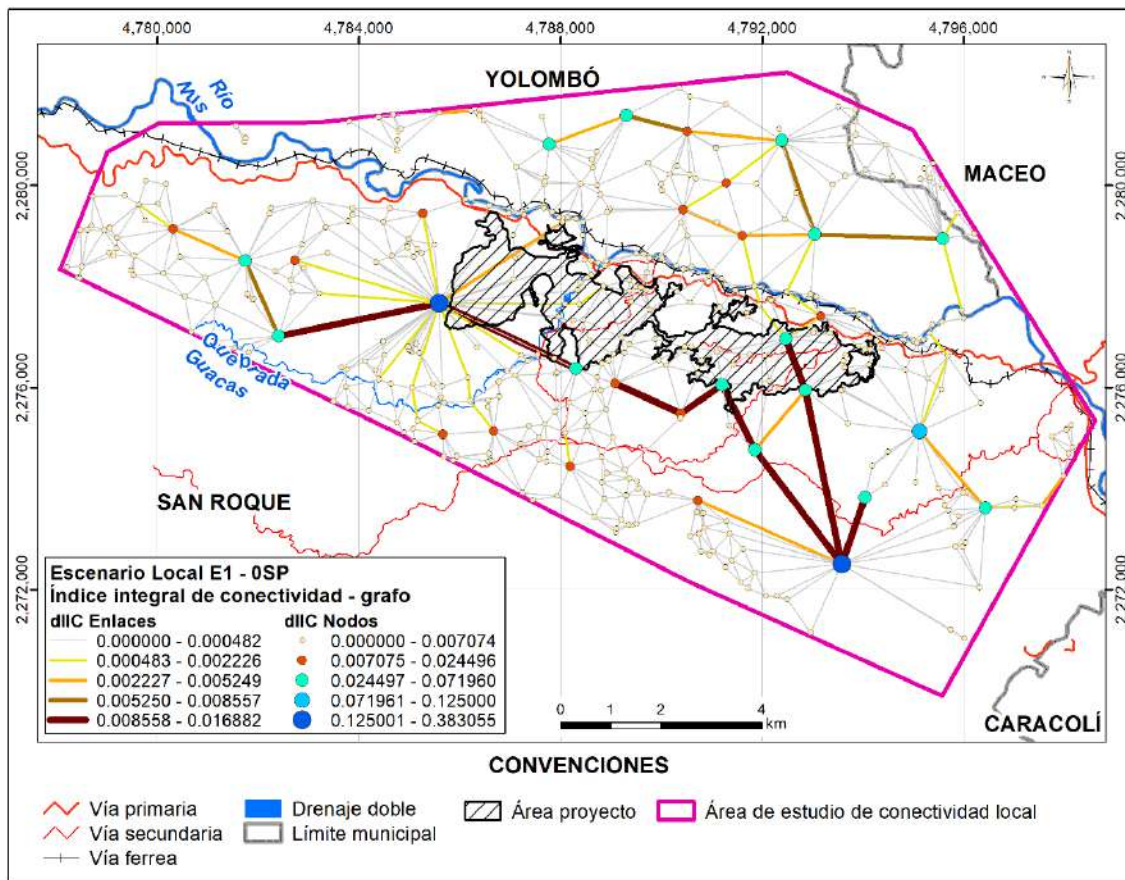


Figura 5.2.2.159. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

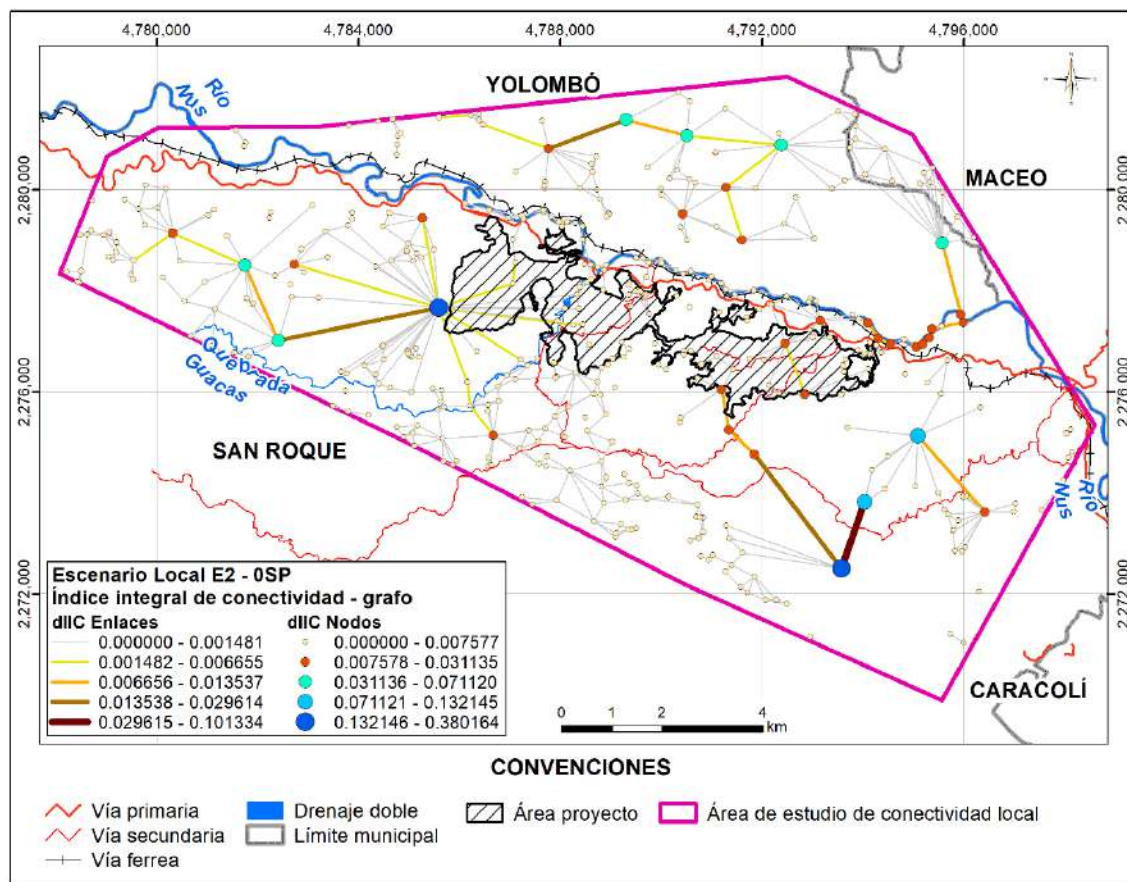


Figura 5.2.2.160. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

En la Figura 5.2.2.161 y Figura 5.2.2.162, se presentan los valores del índice integral de conectividad (dIIC), en vista realista para la E1 *L. pardalis* y para la especie E2 *O. leucopus*, respectivamente. En las figuras se observa que los nodos representados en tonos verde oscuro corresponden a los valores más altos de dIIC, lo que indica parches de hábitat con una alta importancia estructural dentro de la red de conectividad. De manera complementaria, los enlaces representados con colores que varían de amarillo oscuro a marrón señalan conexiones con mayor valor de dIIC, evidenciando su importancia en el mantenimiento de la conectividad estructural a escala local.

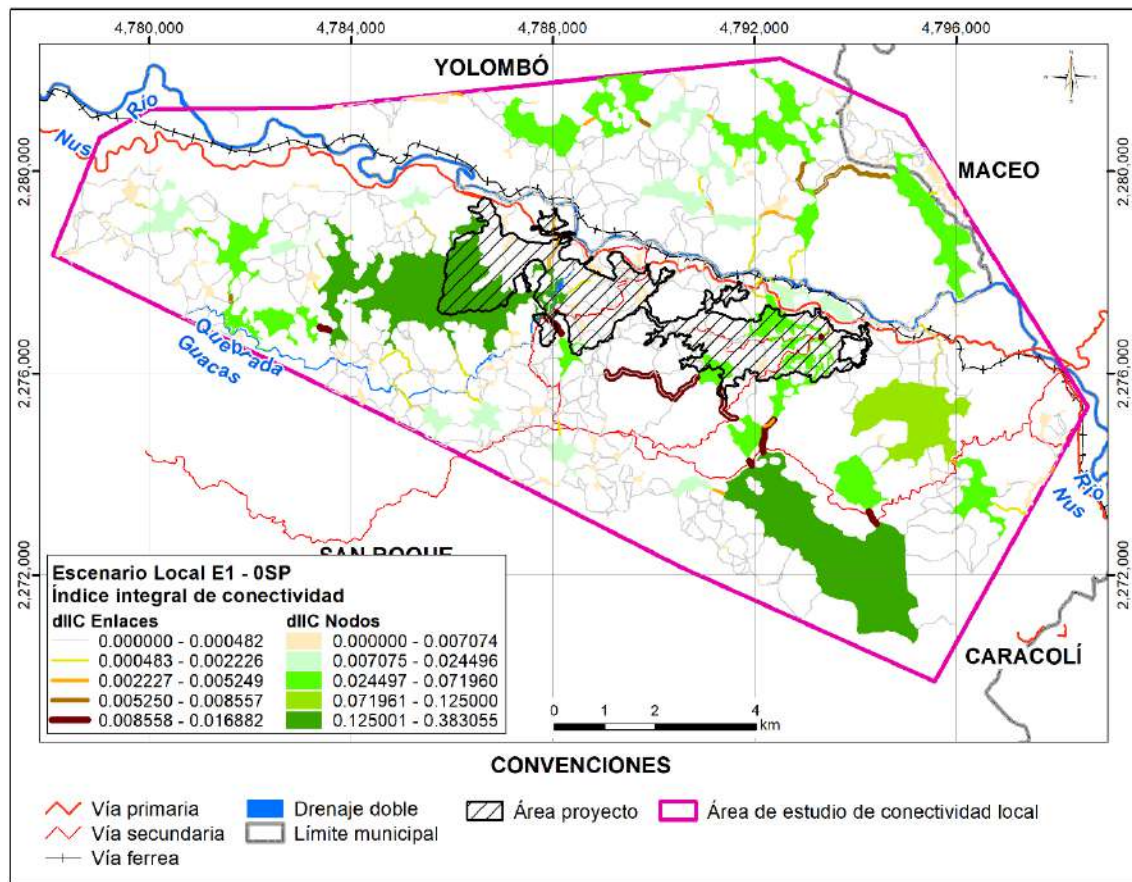


Figura 5.2.2.161. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

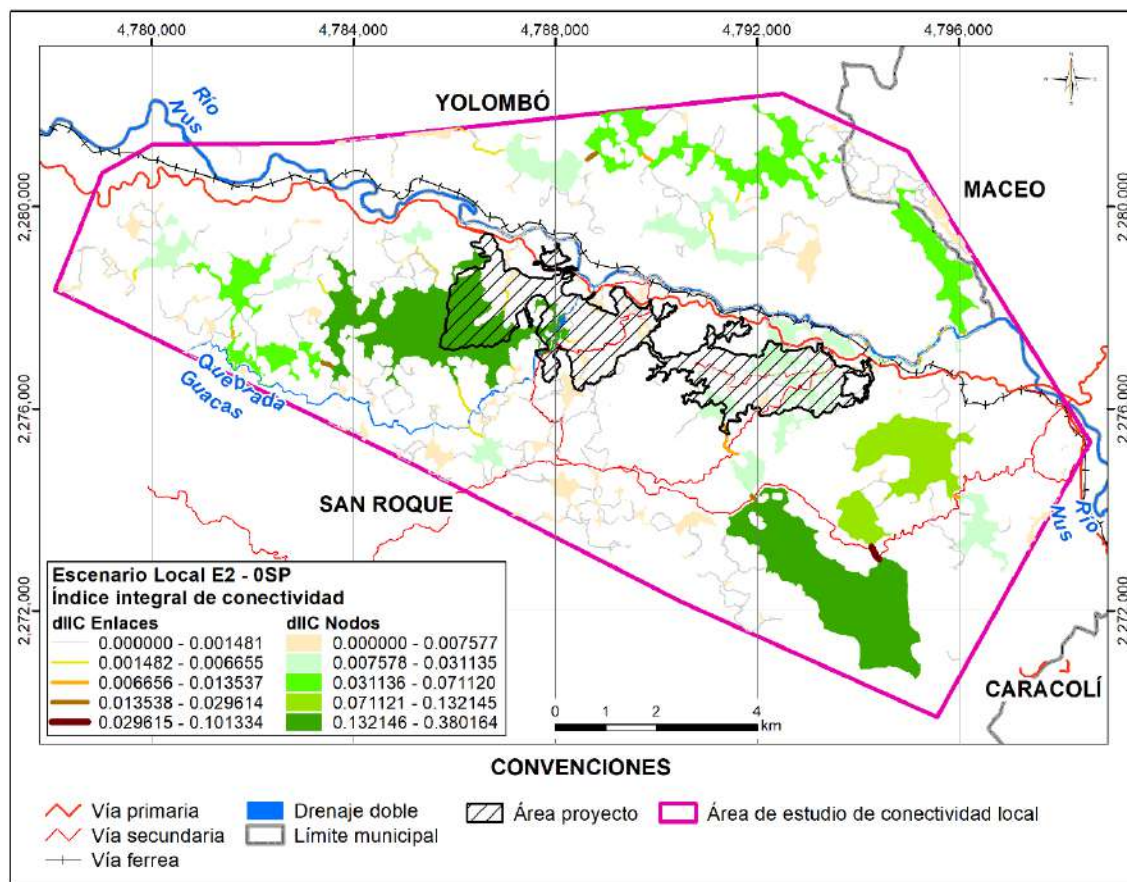


Figura 5.2.2.162. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

iv. Índice de correlación de conectividad (CCor)

En la Figura 5.2.2.163 y Figura 5.2.2.164, se presentan los valores del índice de correlación de conectividad (CCor), en grafos para la E1 *L. pardalis* y para la especie E2 *O. leucopus*, respectivamente. En dichas figuras se observa que los nodos de mayor tamaño, representados en tonos azul oscuro, concentran los valores más altos de CCor, lo que indica parches de hábitat altamente correlacionados con el resto de la red. Estos nodos actúan como elementos centrales, facilitando múltiples conexiones y contribuyendo de manera significativa a la integración de la red de conectividad a escala local.

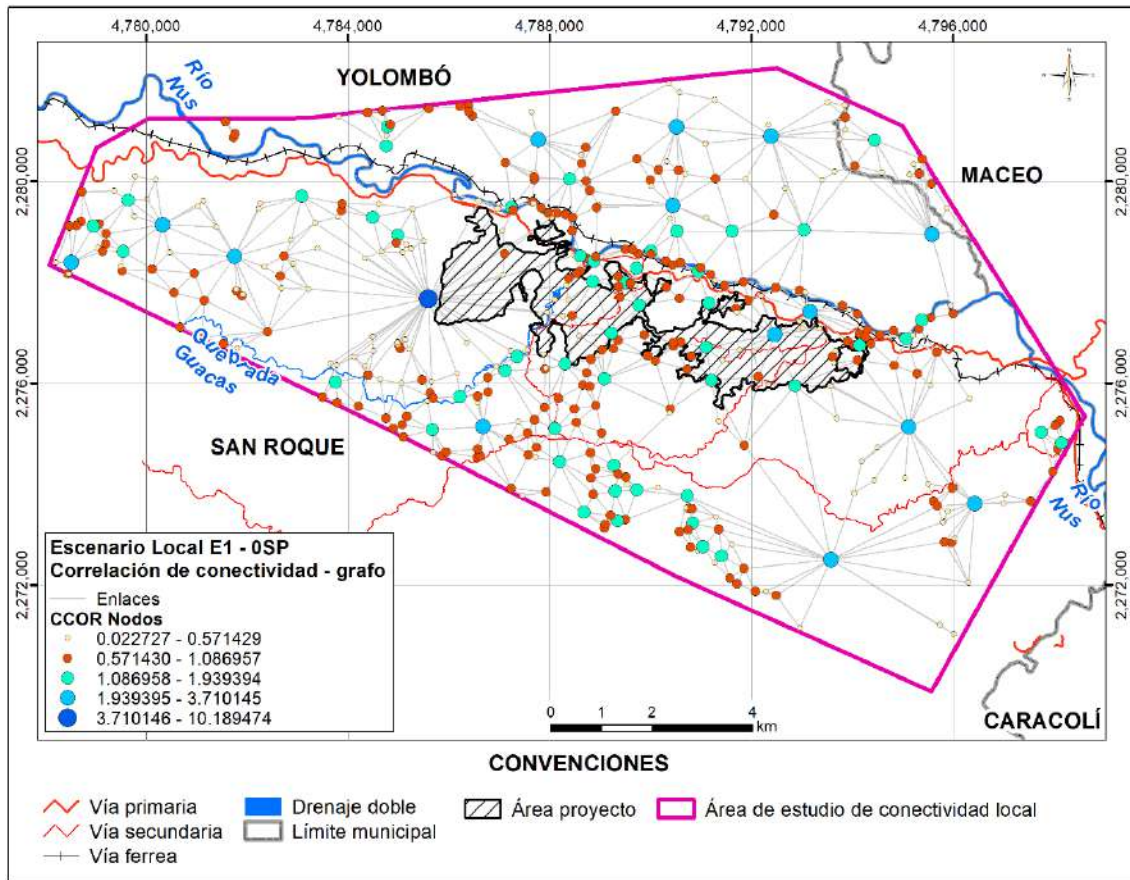


Figura 5.2.2.163. Índice de correlación de conectividad (CCor) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

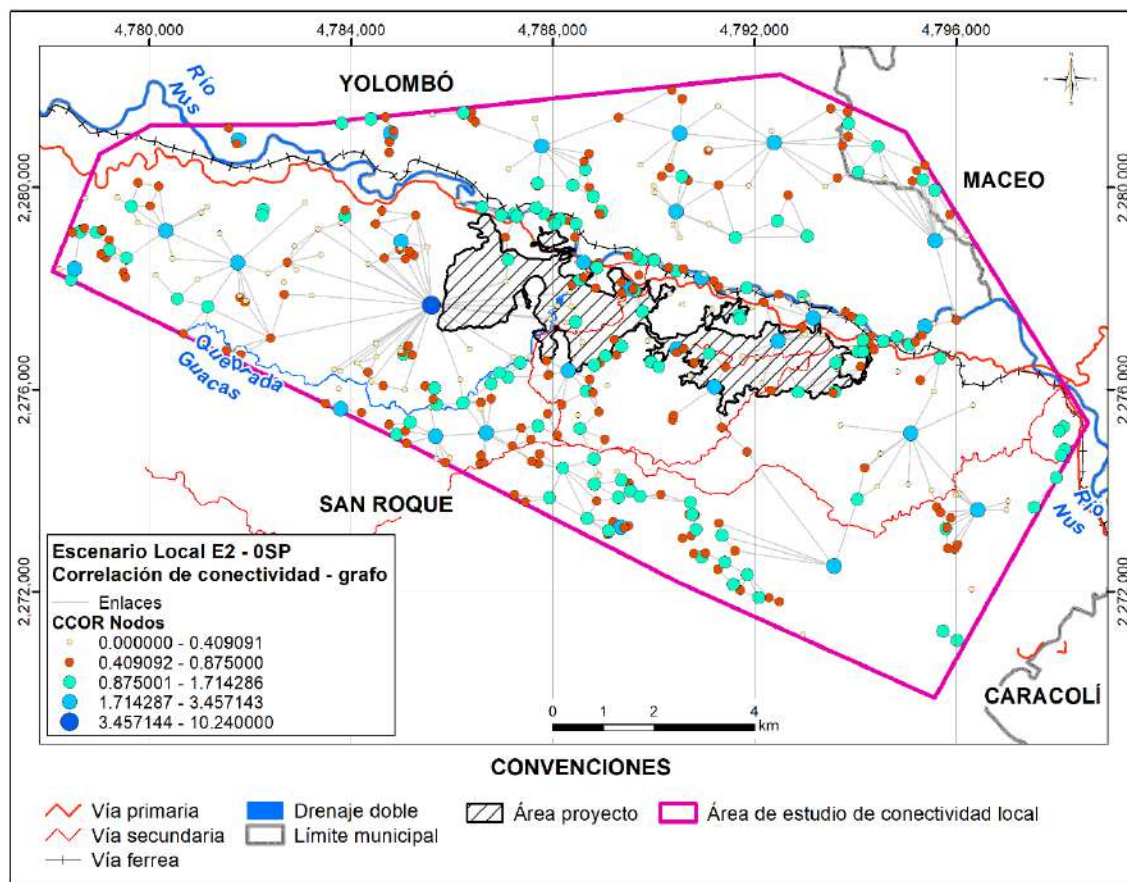


Figura 5.2.2.164. Índice de correlación de conectividad (CCor) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

En la Figura 5.2.2.165 y Figura 5.2.2.166, se presentan los valores del índice de correlación de conectividad (CCor), en vista realista para la E1 *L. pardalis* y para la especie E2 *O. leucopus*, respectivamente. En dichas figuras se observa que los parches de hábitat representados en tonos verde oscuro presentan los valores más altos del índice de correlación de conectividad (CCor), lo que indica una mayor integración funcional con el resto de la red de conectividad. En contraste, los parches con tonalidades más claras presentan valores bajos a intermedios de CCor, lo que sugiere una contribución secundaria a la conectividad local.

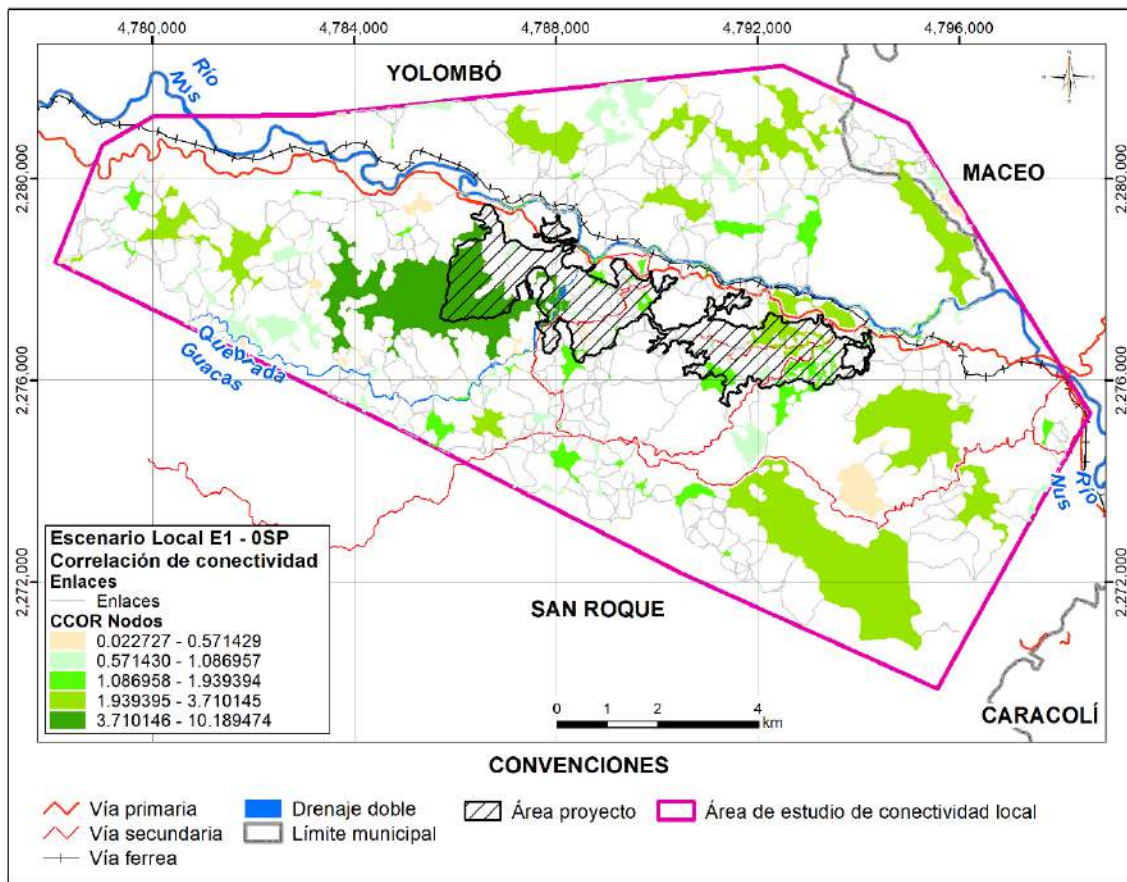


Figura 5.2.2.165. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

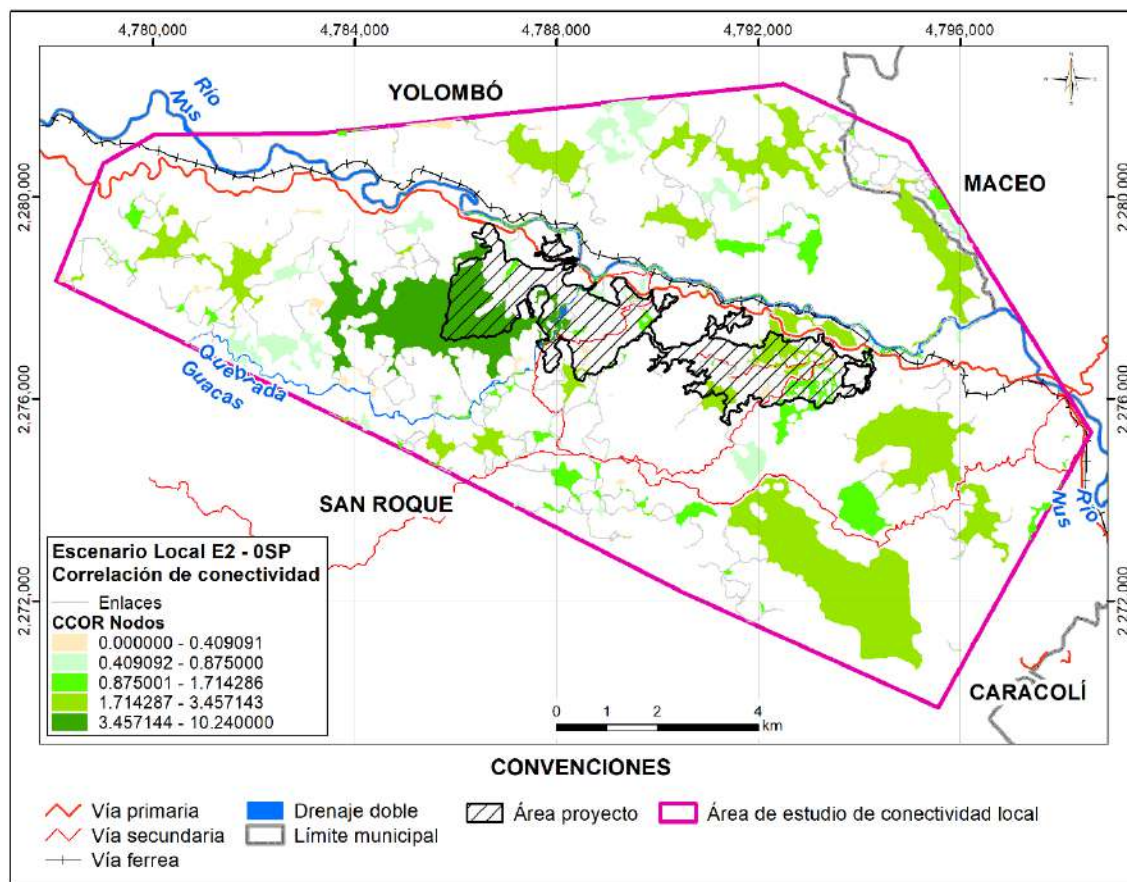


Figura 5.2.2.166. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

v. Conectividad equivalente (EC)

En la Figura 5.2.2.167 y Figura 5.2.2.168, se presentan los valores de conectividad equivalente (EC), en grafos para la E1 *L. pardalis* y para la especie E2 *O. leucopus*, respectivamente. En dichas figuras se observa que los nodos de mayor tamaño y en tonos azul oscuro concentran los valores más altos de EC, lo que indica parches de hábitat con conectividad funcional, equivalentes a grandes parches continuos o redes conectadas. De manera complementaria, los enlaces representados con colores más intensos, que varían de amarillo oscuro a marrón, corresponden a las conexiones con mayores valores de EC. Estos enlaces reflejan rutas clave para el mantenimiento de la conectividad.

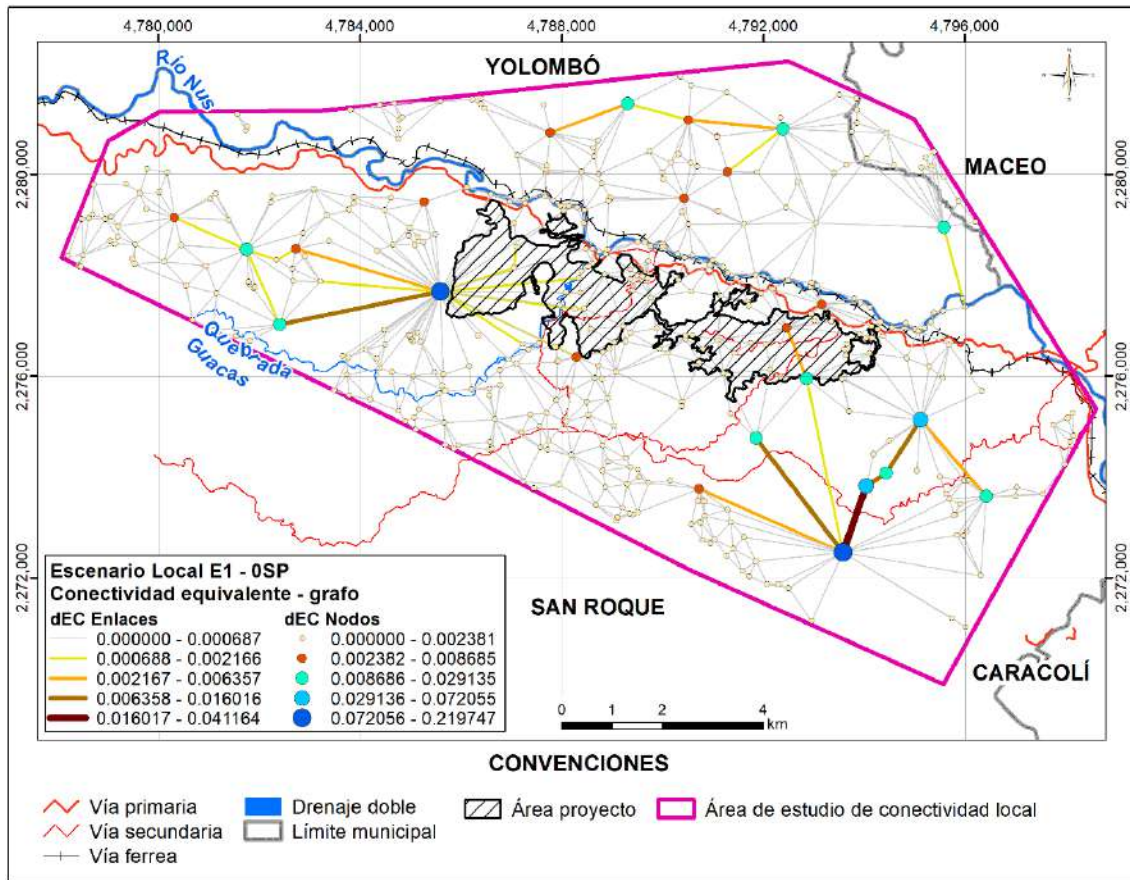


Figura 5.2.2.167. Conectividad equivalente (EC) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

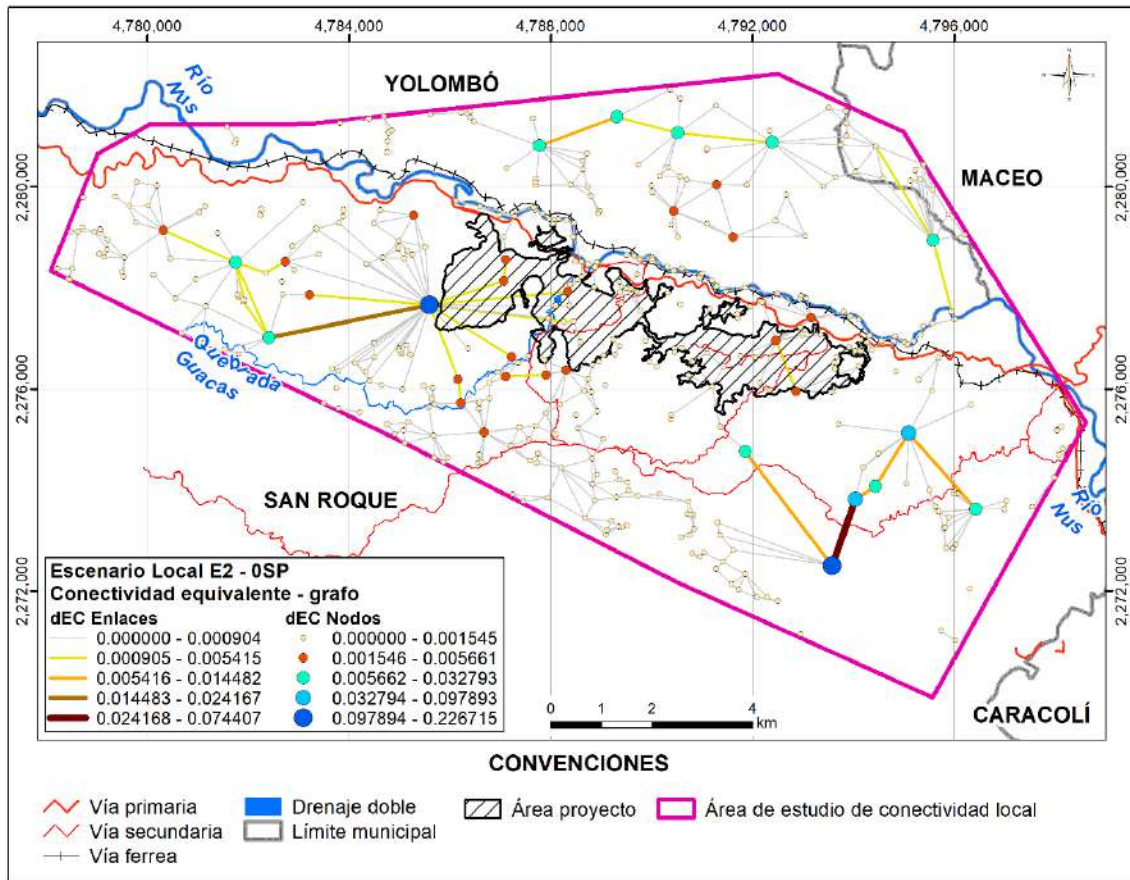


Figura 5.2.2.168. Conectividad equivalente (EC) en grafos y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

En la Figura 5.2.2.169 y Figura 5.2.2.170, se presentan los valores de conectividad equivalente (EC), en vista realista para la E1 *L. pardalis* y para la especie E2 *O. leucopus*, respectivamente. En dichas figuras se observa que los parches representados en tonos verde oscuro concentran los valores más altos de EC, lo que indica nodos de hábitat importantes para la conectividad local, que funcionan como núcleos estructurales, sosteniendo la conectividad entre diferentes sectores del área de estudio. Por el contrario, los parches con tonalidades más claras (verde claro a amarillento) presentan valores bajos a intermedios de EC, lo que sugiere una contribución secundaria o complementaria a la red de conectividad.

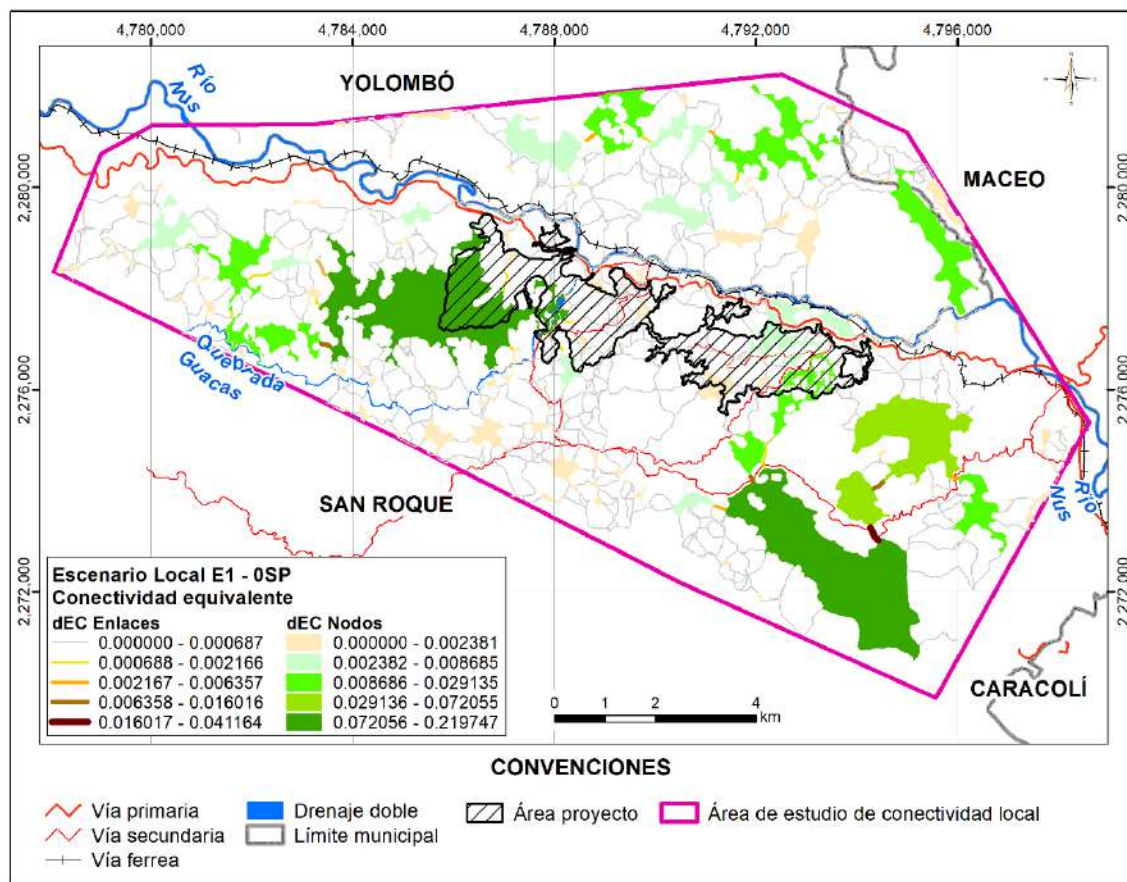


Figura 5.2.2.169. Conectividad equivalente (EC) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

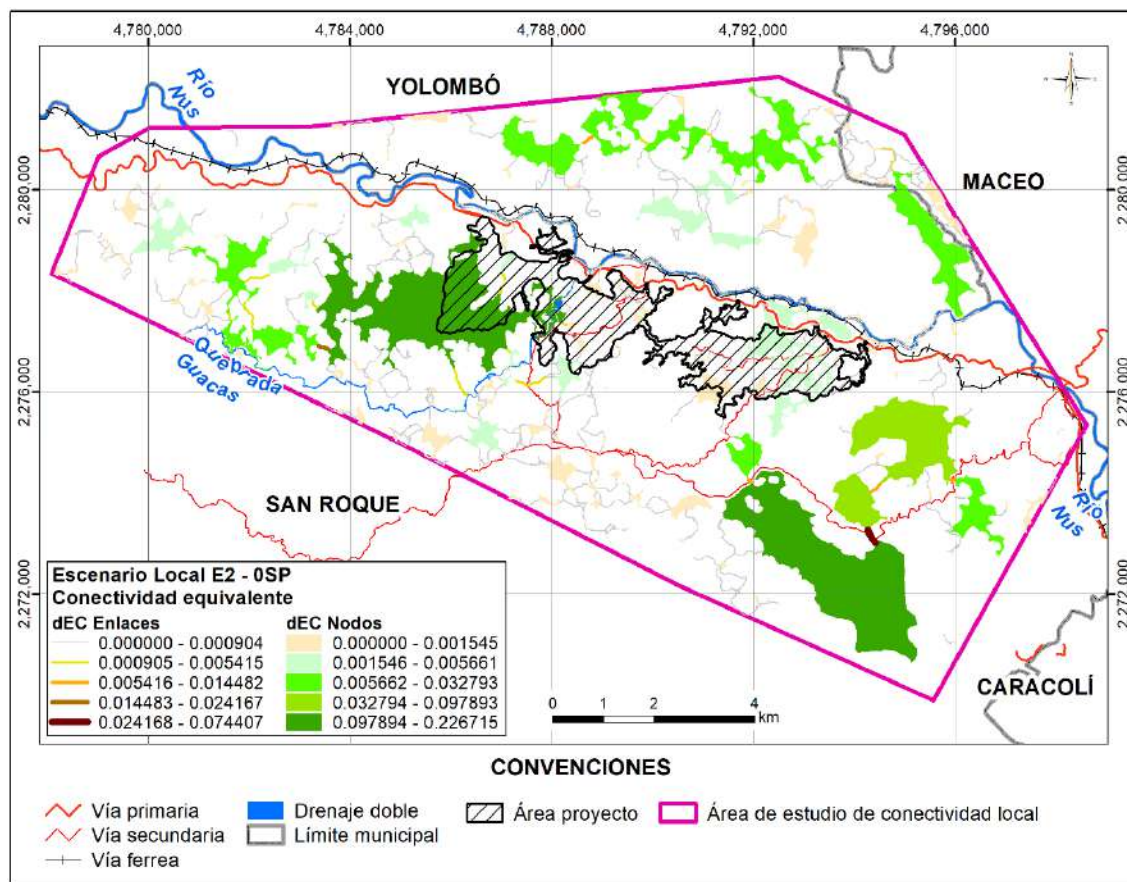


Figura 5.2.2.170. Conectividad equivalente (EC) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

Finalmente, en el escenario 0SP, se evidencia una red de conectividad con nodos y enlaces clave que aportan a la conectividad funcional para las especies *L. pardalis* y *O. leucopus*, a escala local. Estos resultados constituyen la línea base para comparar los cambios en la conectividad bajo los escenarios con proyecto (1CPL y 2CPM). La comparación de los resultados de estos escenarios se desarrolla en el numeral 5.2.2.4.4. Comparación de resultados del presente documento.

r. Corredores de menor costo en la red de conectividad

Los corredores teóricos se calcularon mediante el software Linkage Mapper (McRae B. H., 2014). A continuación, se presentan los resultados, para la E1 *L. pardalis* y la especie E2 *O. leucopus*, bajo las condiciones sin proyecto (0SP) y con el proyecto correspondiente a la presente modificación de licencia (2CPM), a escala local.

I. Corredores de menor costo sin proyecto (0SP)

En la Figura 5.2.2.171 se presentan los corredores de menor costo para la E1 *L. pardalis*, mientras que en la Figura 5.2.2.172 se muestran los correspondientes a la E2 *O. leucopus*.

En ambas figuras se observa una red de corredores caracterizada por valores de costo acumulado predominantemente bajos a intermedios (rangos 0 - 300), representados en tonos amarillos y naranjas, estos corredores conectan de manera funcional los nodos focales, favoreciendo el desplazamiento de la especie a través de áreas con menor impedancia al movimiento. Los corredores de menor costo se concentran principalmente en sectores con mayor continuidad de cobertura natural, mientras que los incrementos en el costo acumulado (tonos naranjas y rojos) se asocian a la presencia de infraestructura vial y zonas con mayor fragmentación del paisaje.

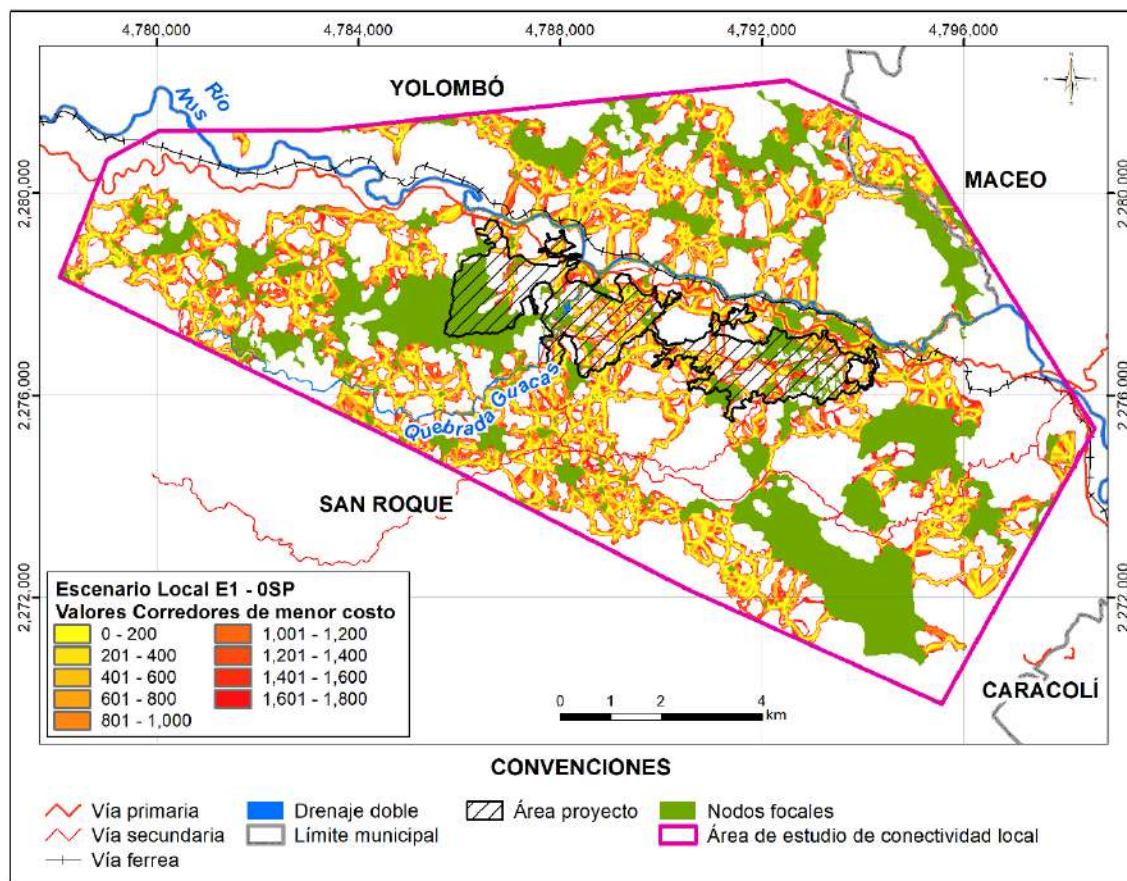


Figura 5.2.2.171. Corredores de menor costo para la especie (E1) *Leopardus pardalis* escenario sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

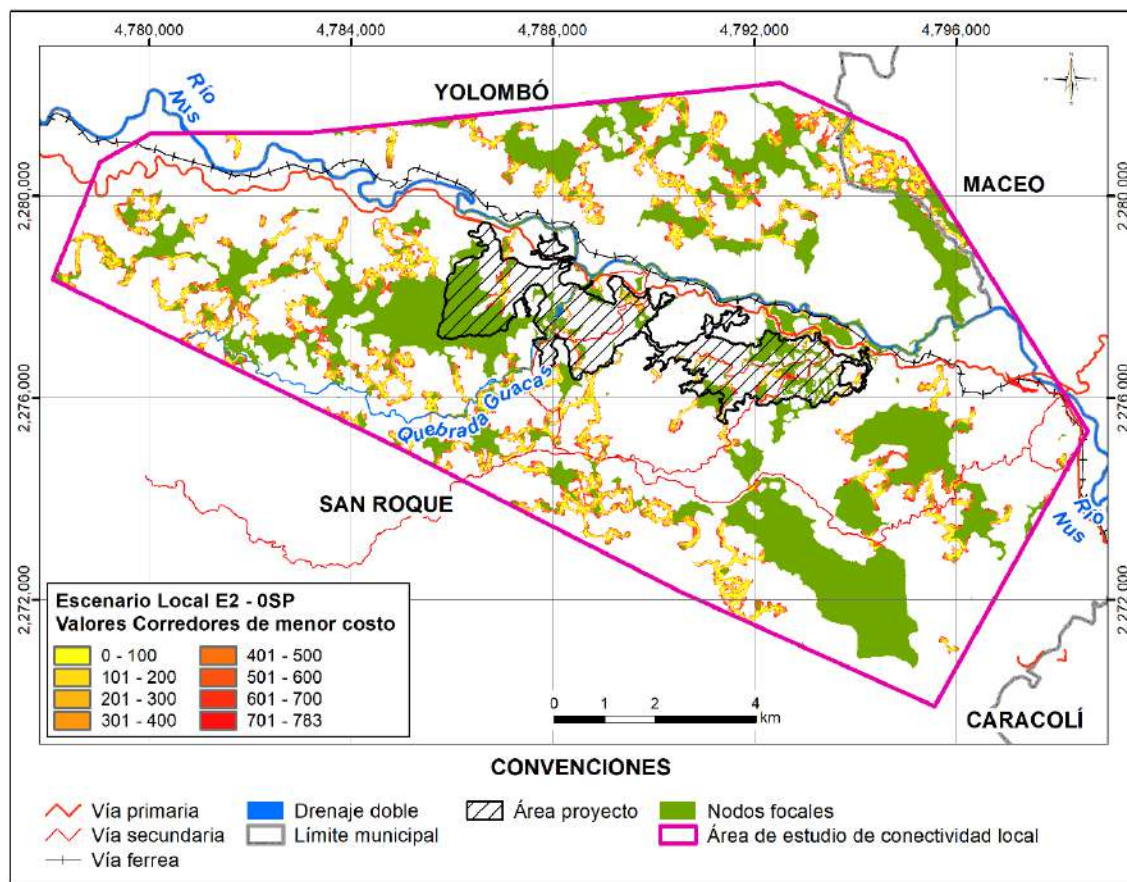


Figura 5.2.2.172. Corredores de menor costo para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* escenario sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

II. Corredores de menor costo con proyecto MEIA (2CPM)

En el escenario con proyecto (2CPM), representado en la Figura 5.2.2.173 para la especie E1 *L. pardalis*, y en la Figura 5.2.2.174 para la especie E2 *O. leucopus*, se evidencian cambios en la configuración espacial de los corredores de menor costo respecto al escenario 0SP. Estos cambios se presentan como un incremento en los valores de costo acumulado, la disminución de algunos corredores y la redistribución de las rutas de conectividad hacia sectores alternos del paisaje.

No obstante, en ambas figuras se observa que persiste una red de corredores con valores de costo acumulado predominantemente bajos a intermedios (rangos 0 - 300), representado en tonos amarillos y naranjas, asociados principalmente a sectores con mayor presencia de cobertura natural, mientras que los incrementos en el costo acumulado (tonos naranjas y rojos) se asocian a la presencia de infraestructura vial y a la infraestructura asociada a las obras del proyecto (depósito de estériles, zona de tajo, manejo de relaves) y zonas con mayor fragmentación del paisaje (Figura 5.2.2.173 y Figura 5.2.2.174).

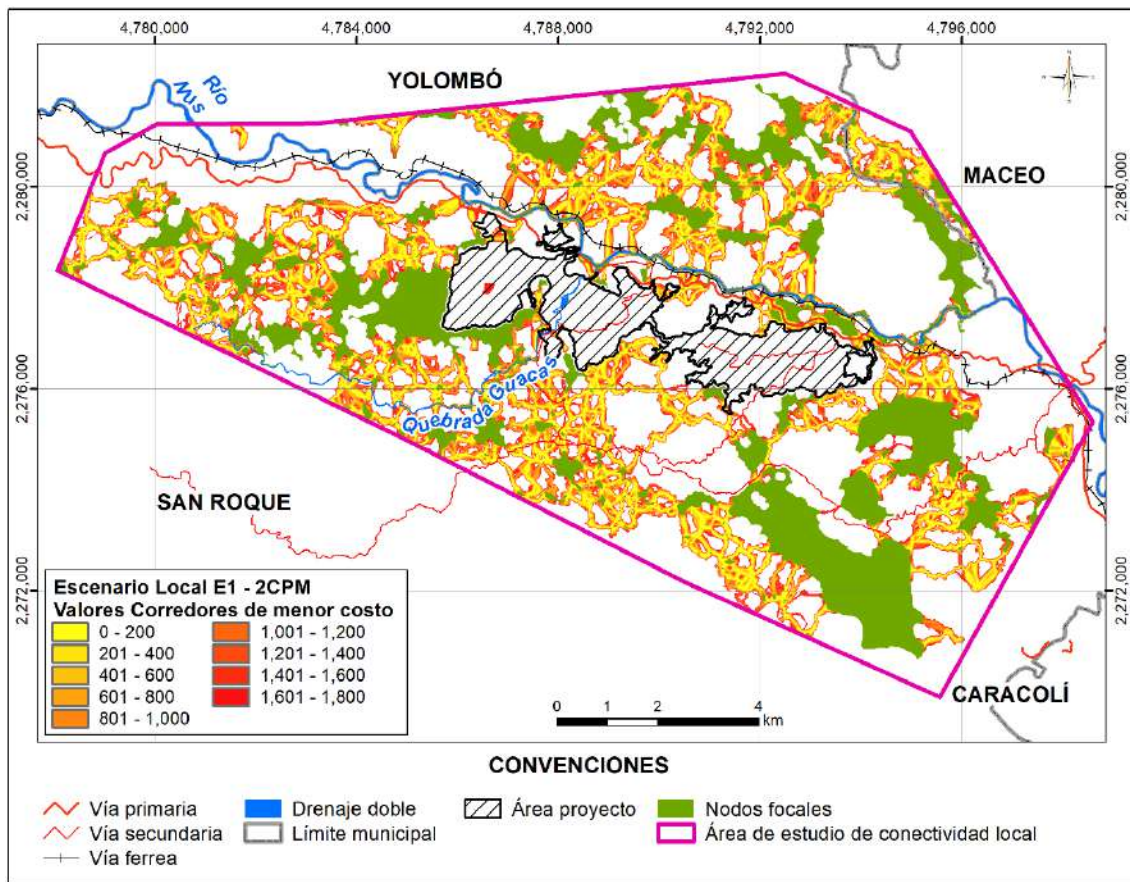


Figura 5.2.2.173. Corredores de menor costo para la especie (E1) *Leopardus pardalis* escenario con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

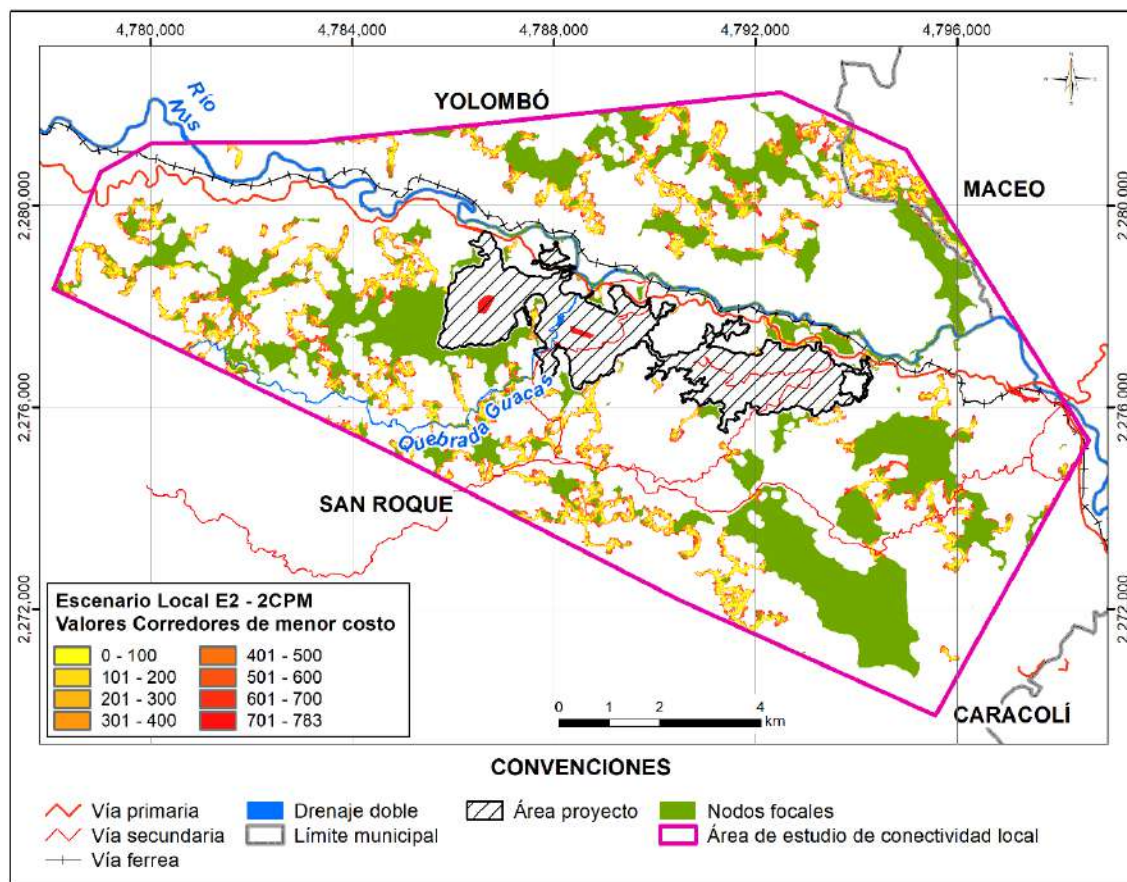


Figura 5.2.2.174. Corredores de menor costo para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* escenario con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

s. Zonas críticas para la conectividad (PinchPoint)

Las zonas críticas para la conectividad (cuellos de botella) se calcularon mediante el software Linkage Mapper (McRae B. H., 2014), con ayuda de la herramienta Pinchpoint Mapper (McRae BH., 2012). A continuación, se presentan los resultados, para la E1 *L. pardalis* y la especie E2 *O. leucopus*, bajo las condiciones sin proyecto (0SP) y con el proyecto correspondiente a la presente modificación de licencia (2CPM), a escala local.

I. Zonas críticas para la conectividad (PinchPoint) sin proyecto (0SP)

En la Figura 5.2.2.175 se presentan las zonas críticas para la conectividad para la E1 *L. pardalis*, mientras que en la Figura 5.2.2.176 se muestran los correspondientes a la E2 *O. leucopus*. En ambas figuras se observan áreas con valores elevados de flujo de corriente (tonos verdes más intensos), las cuales corresponden a puntos de estrangulamiento o cuellos de botella dentro de la red de conectividad. Las zonas críticas identificadas coinciden espacialmente con sectores próximos a infraestructura vial y zonas con mayor

grado de fragmentación del paisaje. En contraste, en áreas con mayor continuidad de cobertura natural, el flujo de corriente se presenta de manera más difusa, lo que indica una mayor disponibilidad de rutas alternas de desplazamiento.

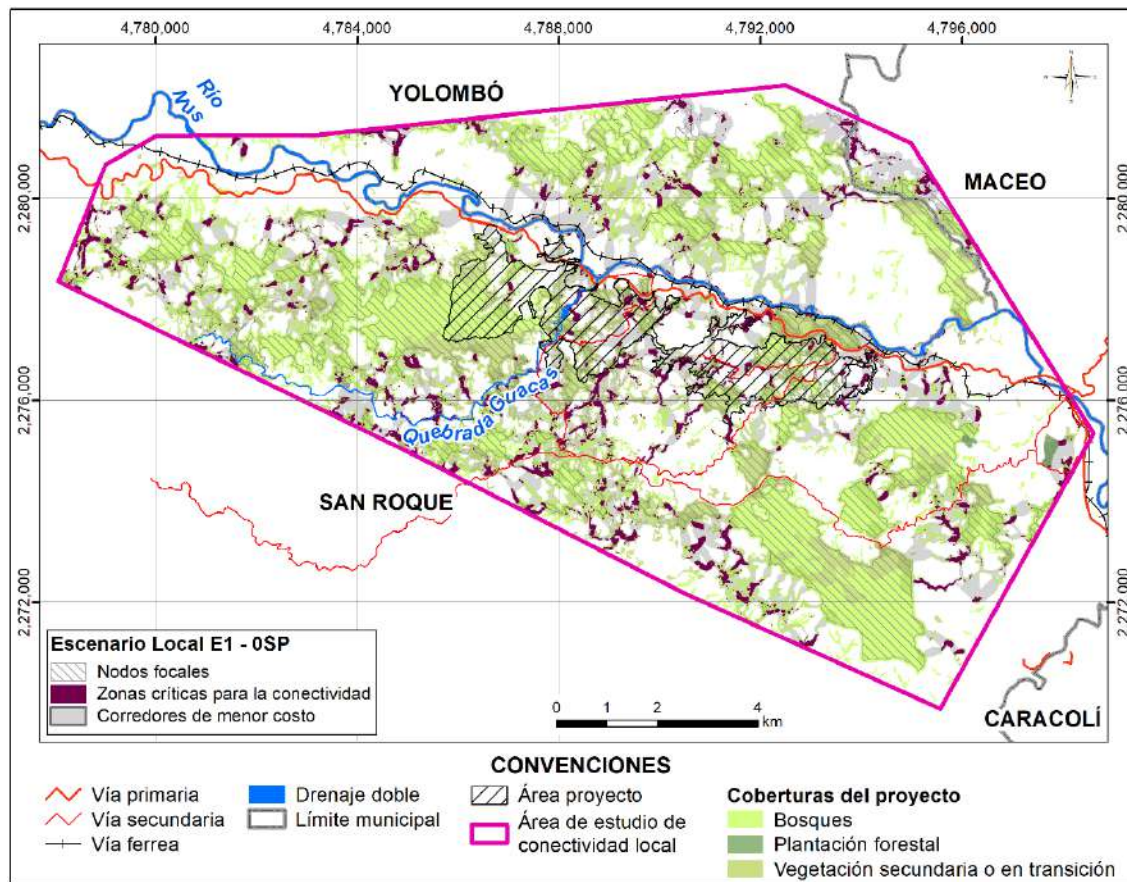


Figura 5.2.2.175. Zonas críticas para la conectividad para la especie (E1) *Leopardus pardalis* escenario sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

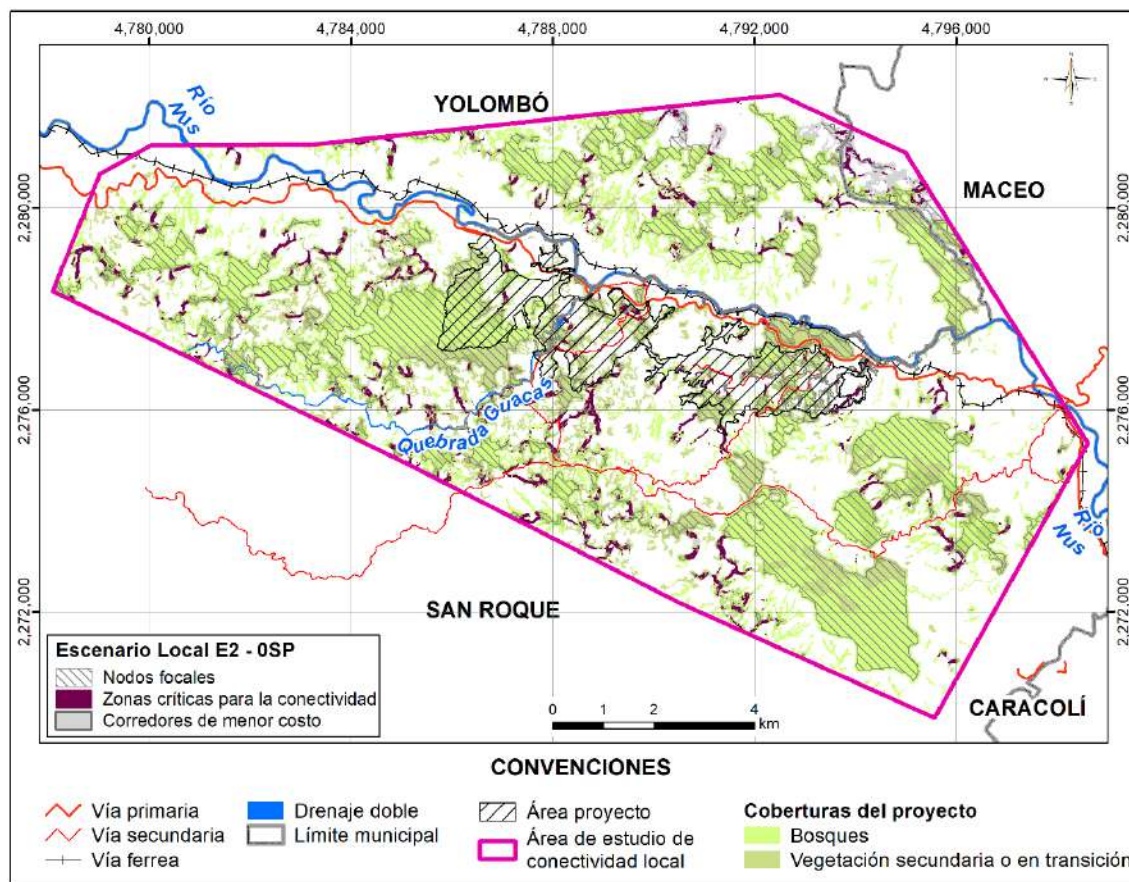


Figura 5.2.2.176. Zonas críticas para la conectividad para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* escenario sin proyecto (0SP) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

II. Zonas críticas para la conectividad (PinchPoint) con proyecto MEIA (2CPM)

En el escenario con proyecto (2CPM), representado en la Figura 5.2.2.177 para la especie E1 *L. pardalis*, y en la Figura 5.2.2.178 para la especie E2 *O. leucopus*, respectivamente, se observa una mayor concentración del flujo de corriente en sectores específicos del área de estudio, evidenciada por la presencia de tonos verdes más intensos, lo cual indica un incremento en restricción del movimiento, asociado a una reducción en la disponibilidad de rutas y a una mayor dependencia de corredores específicos para el desplazamiento de la especie.

Adicionalmente, en ambas figuras se evidencia que los puntos de estrangulamiento o cuellos de botella coinciden espacialmente con infraestructura vial y zonas con mayor grado de fragmentación del paisaje, patrón que resulta consistente con lo observado en el escenario sin proyecto (0SP), aunque con una mayor intensidad y concentración en el escenario con proyecto (2CPM).

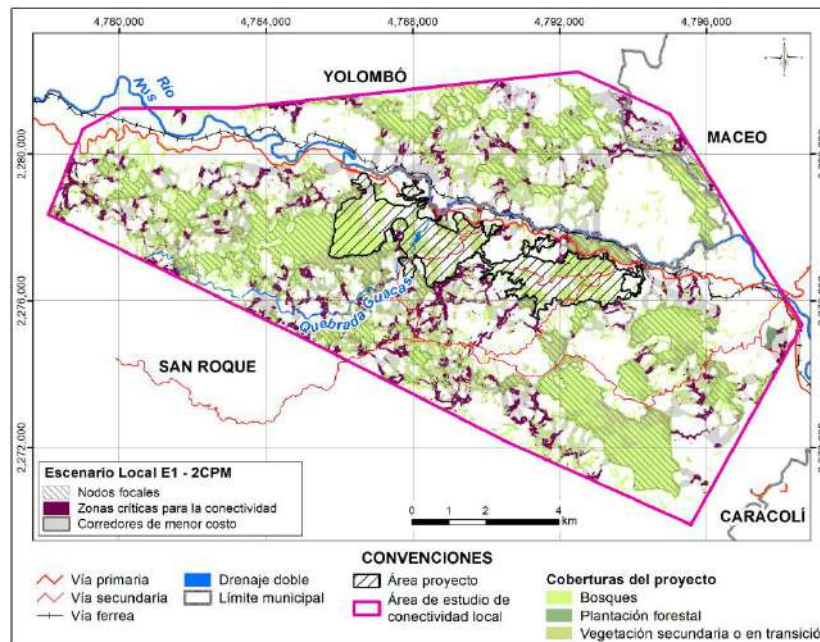


Figura 5.2.2.177. Zonas críticas para la conectividad para la especie (E1) *Leopardus pardalis* escenario con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

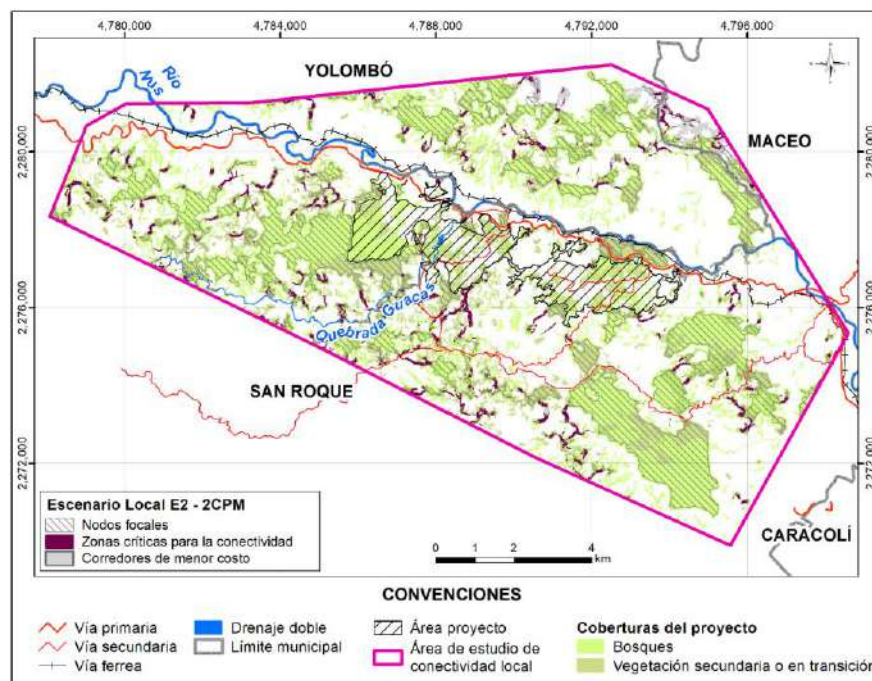


Figura 5.2.2.178. Zonas críticas para la conectividad para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* escenario con proyecto MEIA (2CPM) escala local.

Fuente: Integral S.A., 2026

t. Comparación de resultados

Para evidenciar los cambios en los resultados del análisis del área local en los escenarios 0SP, 1CPL y 2CPM se hacen una comparación de estos haciendo restas y cambios porcentuales ya que indica el porcentaje de cambio en el atributo analizado en la red de conectividad local. Esta comparación se hace para la red topológica y los índices de estimación de la conectividad.

I. Comparación de la red topológica de conectividad

Los resultados de las Tabla 5.2.2.20 y Tabla 5.2.2.21 muestran las diferencias entre los escenarios con proyecto licenciado (1CPL) y con proyecto MEIA (2CPM) respecto al escenario sin proyecto (0SP) y estas diferencias se ven mejor representadas con el cambio porcentual $(2CPL-0SP)/(0SP)$ y $(2CPM-0SP)/(0SP)$ ya que indica el porcentaje de “cambio” en el los valores de los índices de conectividad, en el número y área total de nodos y en el número de enlaces teóricos, el total del costo de los enlaces y el total de distancia de enlaces con proyecto respecto al escenario sin proyecto, que indica cambios poco significativos. En la Tabla 5.2.2.20 se presenta la comparación para la E1 *L. pardalis* y en la Tabla 5.2.2.21 para la E2 *O. leucopus*.

Tabla 5.2.2.20. Comparación resultados cuantitativos de la red de conectividad local para la E1 *Leopardus pardalis*

E1 <i>Leopardus pardalis</i>					
Métricas	Valores escenario local 0SP	Valores escenario local 1CPL	Valores escenario local 2CPM	Cambio Porcentual (2CPM-0SP) /(0SP)	Cambio Porcentual (1CPL-0SP) /(0SP)
Número de nodos	431	409	398	-0,08	-0,05
Total, Área Nodos (m2)	27127648	21877616	23891392	-0,12	-0,19
Número de enlaces	971	892	866	-0,11	-0,08
Total, distancia enlaces (m)	344873,56	320517,47	312270,83	-0,09	-0,07
Total, Costo enlaces (unidades de costo)	1325398,28	1245932,60	1192696,14	-0,10	-0,06
Promedio relación costo/distancia (costo/m)	4,14	4,16	4,13	-	-

Fuente: Integral S.A., 2026

Tabla 5.2.2.21. Comparación resultados cuantitativos de la red de conectividad local para la E2 *Oedipomidas leucopus*

E2 <i>Oedipomidas leucopus</i>					
Métricas	Valores escenario local 0SP	Valores escenario local 1CPL	Valores escenario local 2CPM	Cambio Porcentual (2CPM-0SP) /(0SP)	Cambio Porcentual (1CPL-0SP) /(0SP)
Número de nodos	430	408	397	-0,08	-0,05
Total, Área Nodos (m2)	27019760	21769728	23783504	-0,12	-0,19
Número de enlaces	621	576	569	-0,08	-0,07
Total, distancia enlaces (m)	148982,52	139657,56	138971,35	-0,07	-0,06
Total, Costo enlaces (unidades de costo)	319140,42	297249,37	296283,78	-0,07	-0,07
Promedio relación costo/distancia (costo/m)	3,29	3,15	3,18	-	-

Fuente: Integral S.A., 2026

A escala local, y considerando que los escenarios 1CPL y 2CPM se evalúan dentro de una misma área de estudio de conectividad suficientemente amplia para evitar efectos de borde relevantes, ambos escenarios con proyecto generan una reducción de la conectividad funcional para *L. pardalis* y *O. leucopus* respecto al estado actual (0SP). Esta reducción se evidencia en la disminución del número de nodos, del área de nodos y del número de enlaces, lo que refleja una simplificación estructural de la red y una disminución de la conectividad a escala local.

El escenario 2CPM presenta una afectación relativamente menor en términos de área total de nodos frente al escenario 1CPL, lo que indica que el layout del proyecto del escenario 2CPM, al estar concebido como una optimización del proyecto licenciado (1CPL), permite atenuar parcialmente la pérdida de hábitat funcional dentro del área de estudio. No obstante, dicha optimización no revierte la pérdida de conectividad local respecto al estado actual, sino que reduce su magnitud en comparación con el escenario actualmente licenciado (ver Tabla 5.2.2.20 y Tabla 5.2.2.21).

Aunque el número de enlaces es mayor en el escenario 1CPL que en 2CPM, esta diferencia no implica una mayor conectividad funcional en el escenario 1CPL. Por el contrario, la mayor cantidad de enlaces en 1CPL responde a un mayor grado de fragmentación del hábitat, que genera múltiples conexiones cortas entre parches de menor tamaño. En contraste, el escenario 2CPM presenta un menor número de enlaces asociado a una configuración espacial más compacta del proyecto y a la consolidación del hábitat funcional remanente dentro de la misma ventana espacial de análisis (ver Tabla 5.2.2.20 y Tabla 5.2.2.21).

La disminución del costo total y de la distancia total de los enlaces en el escenario 2CPM respecto a 1CPL no debe interpretarse como una mejora de la conectividad funcional, sino como una consecuencia de la reducción en el número y en la extensión de los enlaces disponibles dentro del área de estudio. En este sentido, la red resultante es estructuralmente más simple.

Sin embargo, el menor valor del promedio de la relación costo/distancia observado en el escenario 2CPM indica que las rutas que permanecen funcionales atraviesan, en promedio, sectores del paisaje con menor resistencia al movimiento. Este resultado es coherente con una concentración espacial de la afectación y con la eliminación de rutas largas y más costosas, asociadas a la optimización del layout del proyecto en el escenario 2CPM.

En conjunto, las métricas analizadas indican que el escenario 2CPM concentra espacialmente la afectación sobre la conectividad funcional y atenúa la pérdida de hábitat respecto al escenario 1CPL, sin que ello implique una recuperación de la estructura ni del alcance espacial de la red de conectividad local frente al estado actual.

II. Comparación de los índices de conectividad (PC, IIC, EC)

En las Tabla 5.2.2.22 y Tabla 5.2.2.23 se muestran los resultados de los índices globales Índice Integral de Conectividad (IIC), Probabilidad de Conectividad (PC) y Conectividad equivalente (EC) en los tres escenarios 0SP, 1CPL y 2CPM en el escenario local, y en la Figura 5.2.2.179 se muestran estos resultados de manera gráfica en gráficos de dispersión para mostrar los cambios en los índices en los tres escenarios.

Tabla 5.2.2.22. Comparación resultados de los índices PC, IIC, EC para la especie E1 *Leopardus pardalis*

E1 <i>Leopardus pardalis</i>			
Métricas	Valores escenario local 0SP	Valores escenario local 1CPL	Valores escenario local 2CPM
Índice Integral de Conectividad (IIC)	2,87E-03	1,62E-03	2,05E-03
Probabilidad de Conectividad (PC):	1,59E-03	1,01E-03	1,24E-03
Conectividad equivalente (EC)	1,01E+07	8,05E+06	8,93E+06

Fuente: Integral S.A., 2026

Tabla 5.2.2.23. Comparación resultados de los índices PC, IIC, EC para la especie E2 *Oedipomidas leucopus*

E2 <i>Oedipomidas leucopus</i>			
Métricas	Valores escenario local 0SP	Valores escenario local 1CPL	Valores escenario local 2CPM
Índice Integral de Conectividad (IIC)	1,71E-03	1,05E-03	1,32E-03
Probabilidad de Conectividad (PC):	1,78E-03	1,17E-03	1,42E-03
Conectividad equivalente (EC)	1,07E+07	8,67E+06	9,57E+06

Fuente: Integral S.A., 2026

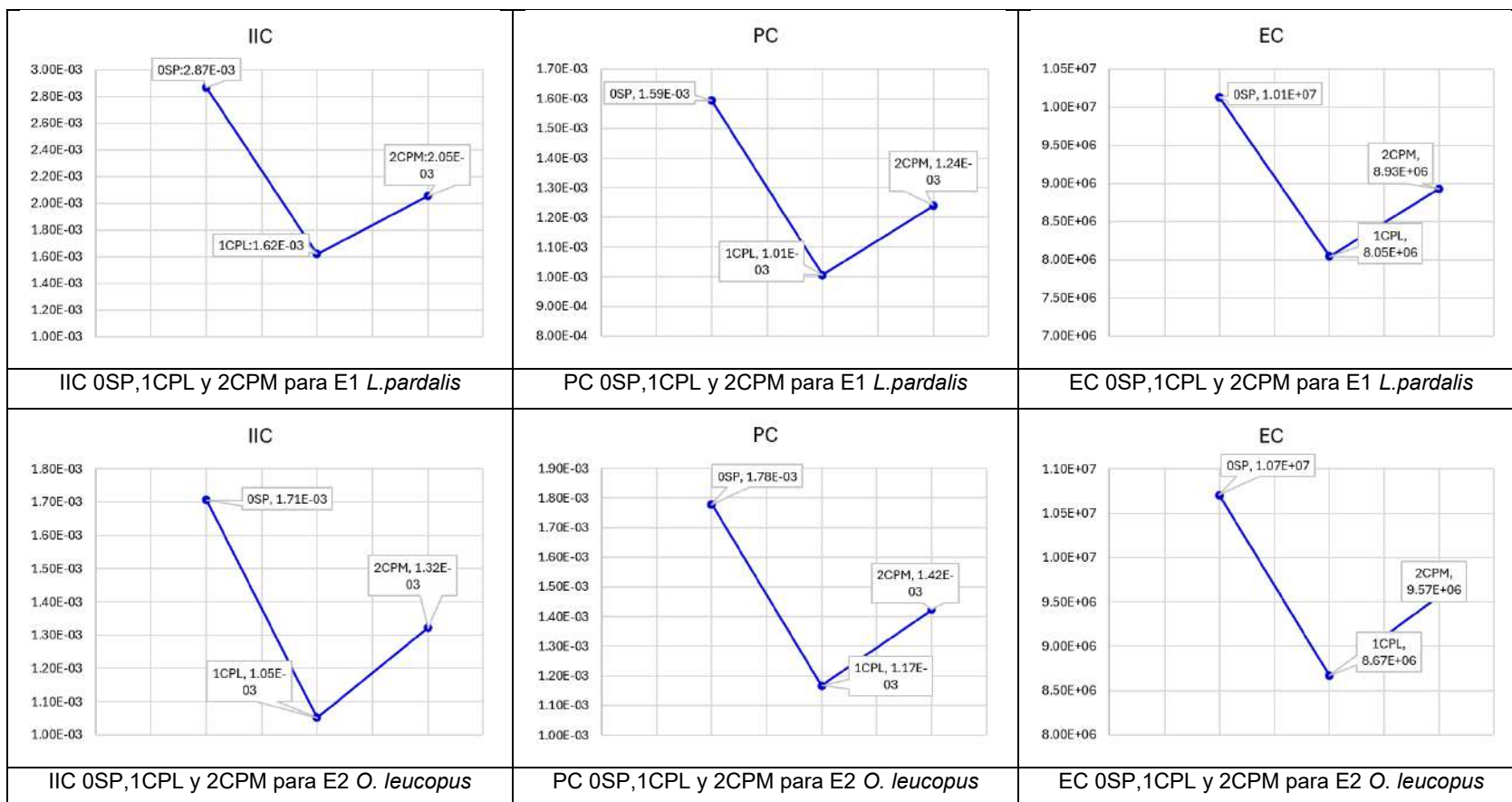


Figura 5.2.2.179. Métricas globales del IIC, PC y EC para las especies E1 *Leopardus pardalis* y E2 *Oedipomidas leucopus*, en los escenarios 0SP, 1CPL y 2CPM

Fuente: Integral S.A., 2026

Los índices globales de conectividad (IIC, PC y EC) presentados en las Tabla 5.2.2.22 y Tabla 5.2.2.23 evidencian que, a escala del área de estudio local, ambos escenarios con proyecto (1CPL y 2CPM) generan una reducción de la conectividad funcional respecto al estado actual (0SP) para las especies evaluadas. Esta reducción es particularmente marcada en el escenario 1CPL, en el cual se observa una disminución de la conectividad estructural y funcional de la red (ver Figura 5.2.2.179).

El escenario 2CPM presenta una recuperación parcial de los índices IIC y PC frente al escenario licenciado, lo que indica que el layout optimizado del escenario 2CPM mejora la funcionalidad de la red de conectividad dentro de la misma ventana espacial de análisis. No obstante, para *L. pardalis*, los valores de conectividad equivalente (EC) permanecen por debajo del estado actual, lo que evidencia que la conectividad funcional global del sistema no se restablece completamente (ver Figura 5.2.2.179).

En el caso de *O. leocopus*, el escenario 2CPM muestra una recuperación más cercana a la condición actual, particularmente en términos de conectividad equivalente, lo que sugiere una mayor resiliencia funcional asociada a sus menores requerimientos espaciales y a su capacidad de desplazamiento en por áreas con menor resistencia, lo anterior debido a sus hábitos de movilidad arborícola (ver Figura 5.2.2.179).

En conjunto, los resultados indican que el escenario 2CPM reduce la magnitud del impacto sobre la conectividad funcional en comparación con el escenario 1CPL, sin que ello implique una eliminación del impacto respecto al estado actual. La conectividad del paisaje se mantiene funcional dentro del área de estudio, pero con una capacidad reducida para especies de mayor movilidad.

u. Definición del área de influencia de conectividad

La metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales (MADS, 2018) en los numerales **2. Área de influencia** y el numeral **2.1 Lineamientos para identificar y delimitar el área de influencia**, define que: *“(...) el área de influencia del proyecto, es decir, el área en la que se manifiestan los impactos ambientales significativos de las actividades que se desarrollan durante todas sus fases de desarrollo, corresponde a la superposición de las áreas de influencia por componentes, grupos de componentes o medios que se identifiquen en cada caso”*. Para el medio biótico, los componentes o grupos de componentes que se trabajan generalmente son el componente de ecosistemas terrestres que contiene a los componentes flora y fauna y ecosistemas acuáticos que contiene al componente de la hidro biota (ANLA, 2016) (MADS, 2018), y cada componente de acuerdo con sus particularidades define y evalúa hasta donde se manifiestan los impactos significativos. Si bien la conectividad funcional no se define como un componente independiente, su análisis y resultados obtenidos permiten inferir los efectos que tiene un POA en el ecosistema, los cuales trascienden el área proyecto y otros componentes como la flora y la fauna. Lo anterior es coherente con lo mencionado en la metodología general en los numerales **2. Área de influencia** y el numeral **2.1.2.2 Medio biótico**: *“La identificación y delimitación del área de influencia de los componentes del medio biótico (...), no debe limitarse al área de intervención del proyecto, donde los impactos pueden evidenciarse de modo directo e inmediato, sino que debe extenderse más allá, en función de potenciales impactos que el proyecto pueda generar. La afectación a un ecosistema no se restringe solamente al lugar en el que ocurre un impacto; por ejemplo, la pérdida de cobertura de bosque ocasiona otros impactos directos e indirectos que afectan procesos*

ecológicos que van más allá de dicha área, como la pérdida de conectividad ecológica...” (MADS, 2018).

Es por ello por lo que, la conectividad funcional, se consideró un “componente” de importancia para el medio biótico y se define y delimita un área de influencia con el fin de espacializar las áreas donde manifiestan los impactos ambientales significativos. Para la delimitación además de la identificación de los impactos, se tuvieron en cuenta criterios acordes a los resultados del análisis y se explican de manera detallada en el capítulo de área de influencia **4_ÁREA_INFLUENCIA** de la presente modificación de licencia.

El área de influencia de conectividad funcional se delimitó de manera inicial para cada especie como se muestra en la Figura 5.2.2.180 para la E1 *L. pardalis* y en la Figura 5.2.2.181 para la E2 *O. leucopus* y finalmente a partir de la unión de las áreas de ambas especies se delimitó un área de conectividad funcional total presentada en la Figura 5.2.2.182 que corresponde a un área de 3216,57 ha.

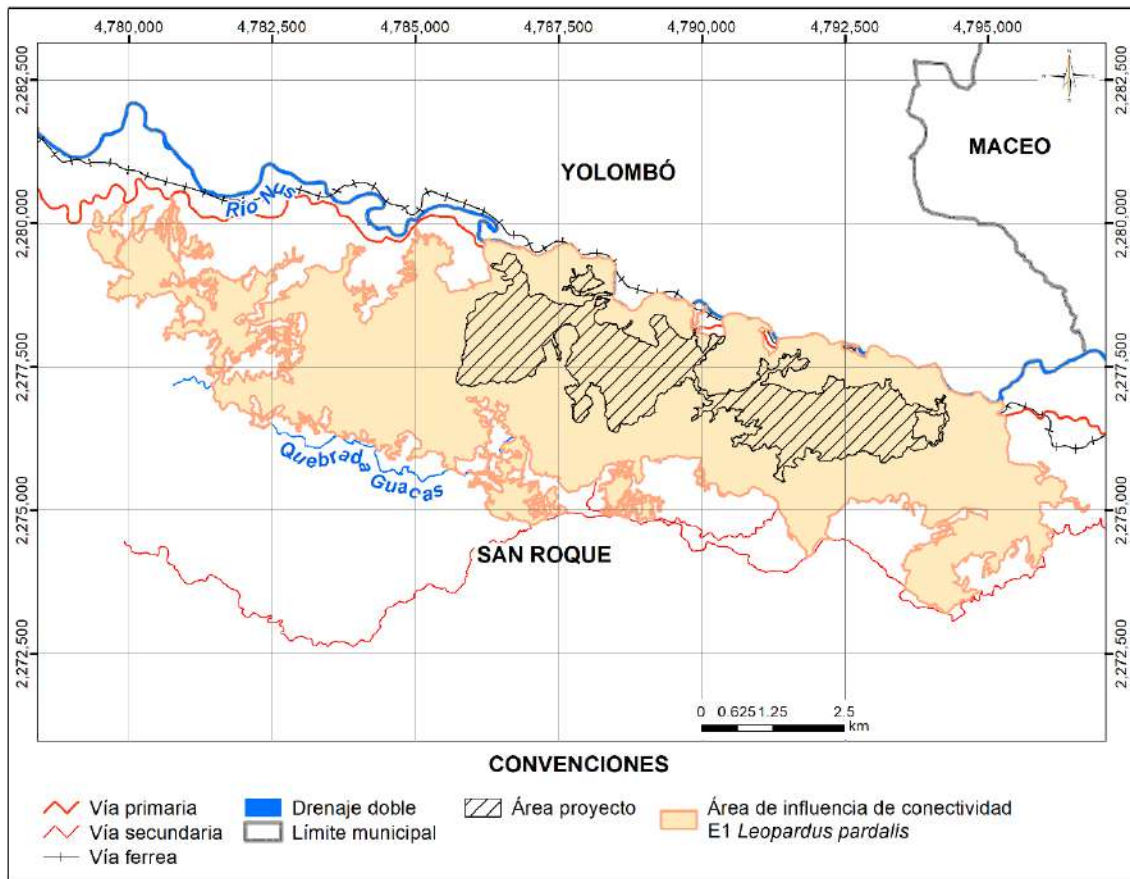


Figura 5.2.2.180. Área de influencia de conectividad funcional para la para la especie (E1) *Leopardus pardalis*.

Fuente: Integral S.A., 2026

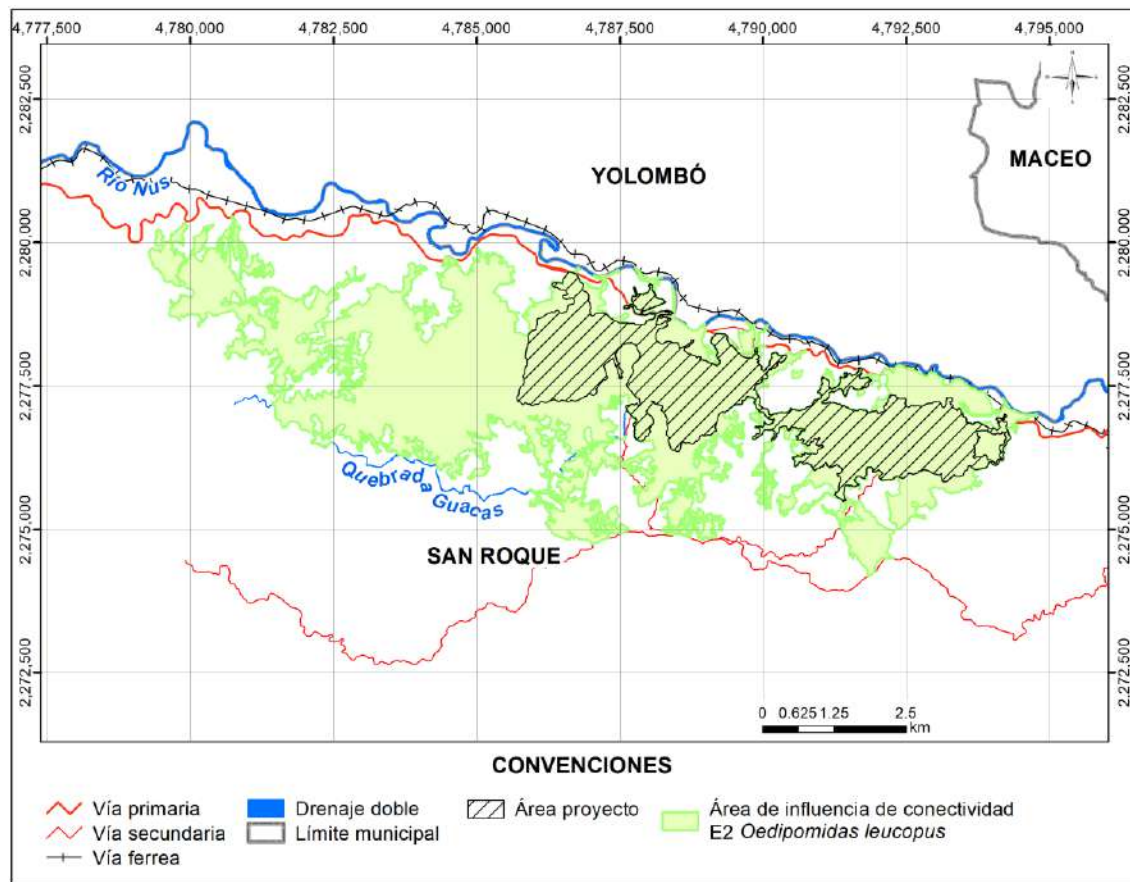


Figura 5.2.2.181. Área de influencia de conectividad funcional para la para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus*.

Fuente: Integral S.A., 2026

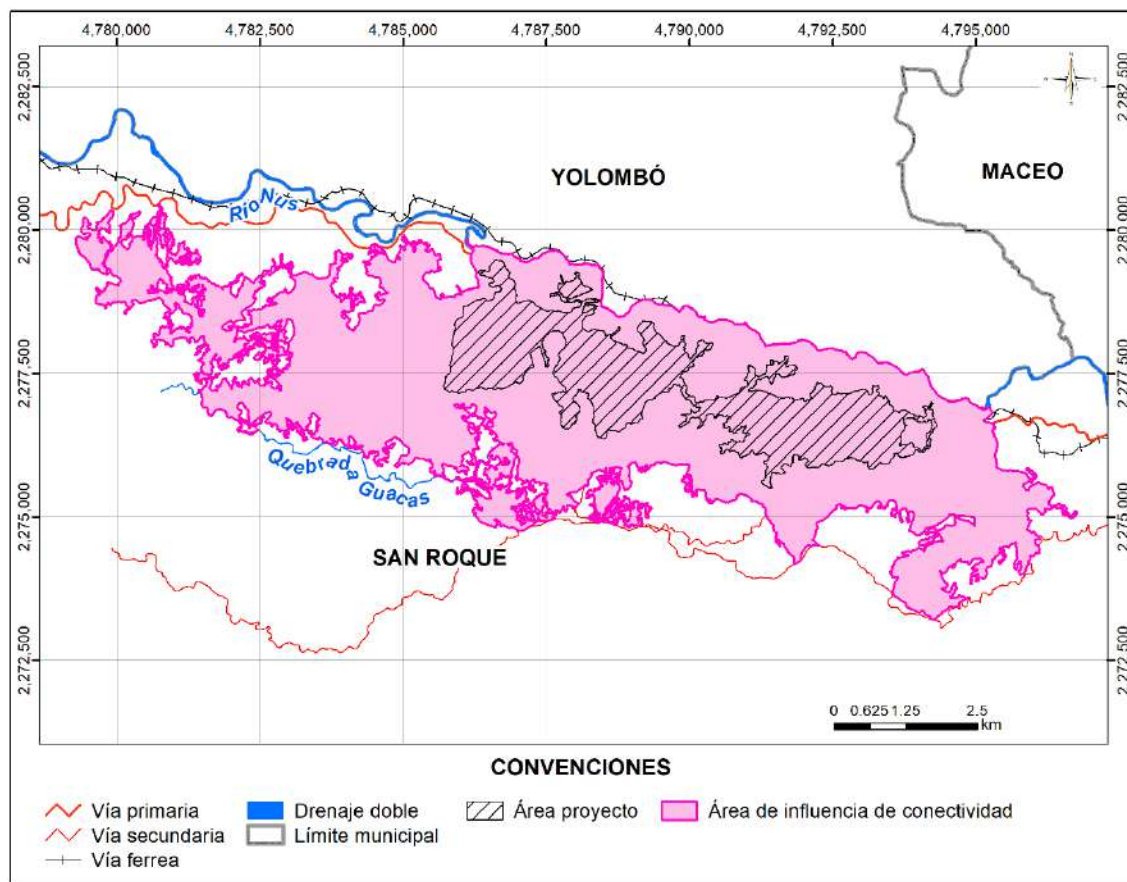


Figura 5.2.2.182. Área de influencia de conectividad funcional del proyecto.

Fuente: Integral S.A., 2026

v. Caracterización del área de influencia de conectividad

Para el área de influencia de conectividad se presentan los resultados de las matrices de resistencia, la red de conectividad y los índices de conectividad correspondientes a la especie E1 *L. pardalis* y la especie E2 *O. leucopus*, para el escenario sin proyecto (OSP).

La caracterización del área de influencia de conectividad se realiza considerando la totalidad de los elementos que conforman la red de conectividad dentro del área de estudio de conectividad local. Este enfoque permite conservar las propiedades estructurales y funcionales de la red en el escenario sin proyecto, las cuales constituyen la línea base para la evaluación y la zonificación ambientales, entre otros.

En este sentido, los resultados presentados en este numeral no se restringen al polígono del área de influencia de conectividad, a diferencia de lo que ocurre en otros componentes ambientales como coberturas vegetales, suelos u otros. Esta decisión metodológica responde a la naturaleza propia de la conectividad funcional, la cual debe ser analizada a partir de la red completa y no únicamente de fragmentos espaciales aislados.

El análisis de la conectividad funcional se fundamenta en la evaluación de los elementos individuales de la red (nodos, enlaces y rutas) en su contexto relacional, ya que es a partir

de estas interacciones y de su posición relativa dentro de la red y los valores de las métricas e índices (que dependen del área de estudio) que se pueden interpretar adecuadamente los patrones de conectividad.

I. Matrices de resistencia en el área de influencia de conectividad

A continuación, se presentan los resultados de las matrices de resistencia total al movimiento para el área de influencia de conectividad en el escenario sin proyecto (0SP), correspondientes a la Figura 5.2.2.183 para la especie E1 *L. pardalis* y a la Figura 5.2.2.184 para la especie E2 *O. leucopus*. En dichas figuras se evidencian diferencias en la permeabilidad funcional del paisaje para cada especie al interior del polígono del área de influencia de conectividad.

Para la especie E1 *L. pardalis*, las áreas al interior del polígono del área de influencia se caracterizan por una predominancia de valores bajos de resistencia (tonos verdes), lo que indica condiciones favorables para el desplazamiento y una alta permeabilidad del paisaje. Estas condiciones sugieren una mayor facilidad para el movimiento de la especie a través de la matriz del paisaje en el escenario 0SP.

En contraste, para la especie E2 *O. leucopus*, dentro del mismo polígono se observa una mayor presencia de valores intermedios de resistencia (tonos amarillos), lo cual refleja un incremento en el costo relativo de desplazamiento en comparación con la especie E1, y una permeabilidad funcional relativamente menor dentro del área de influencia evaluada.

En ambas especies, los valores más altos de resistencia se presentan de manera puntual y se asocian principalmente a la presencia de infraestructura vial, actividades mineras actuales y sectores con mayor grado de intervención antrópica, los cuales actúan como elementos restrictivos del paisaje, condicionando y canalizando el flujo de movimiento hacia zonas específicas.

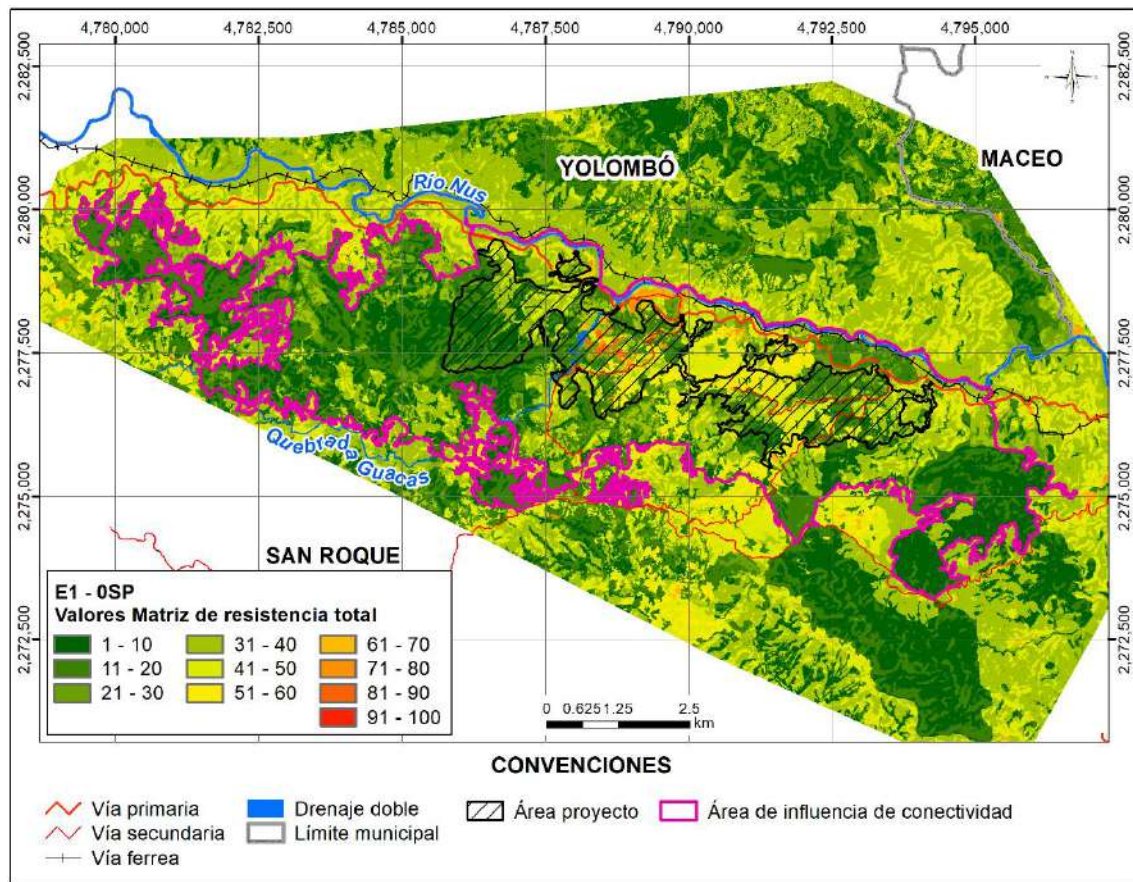


Figura 5.2.2.183. Matriz de resistencia total para la especie la (E1) *Leopardus pardalis* sin proyecto (OSP) en el área de influencia de conectividad

Fuente: Integral S.A., 2026

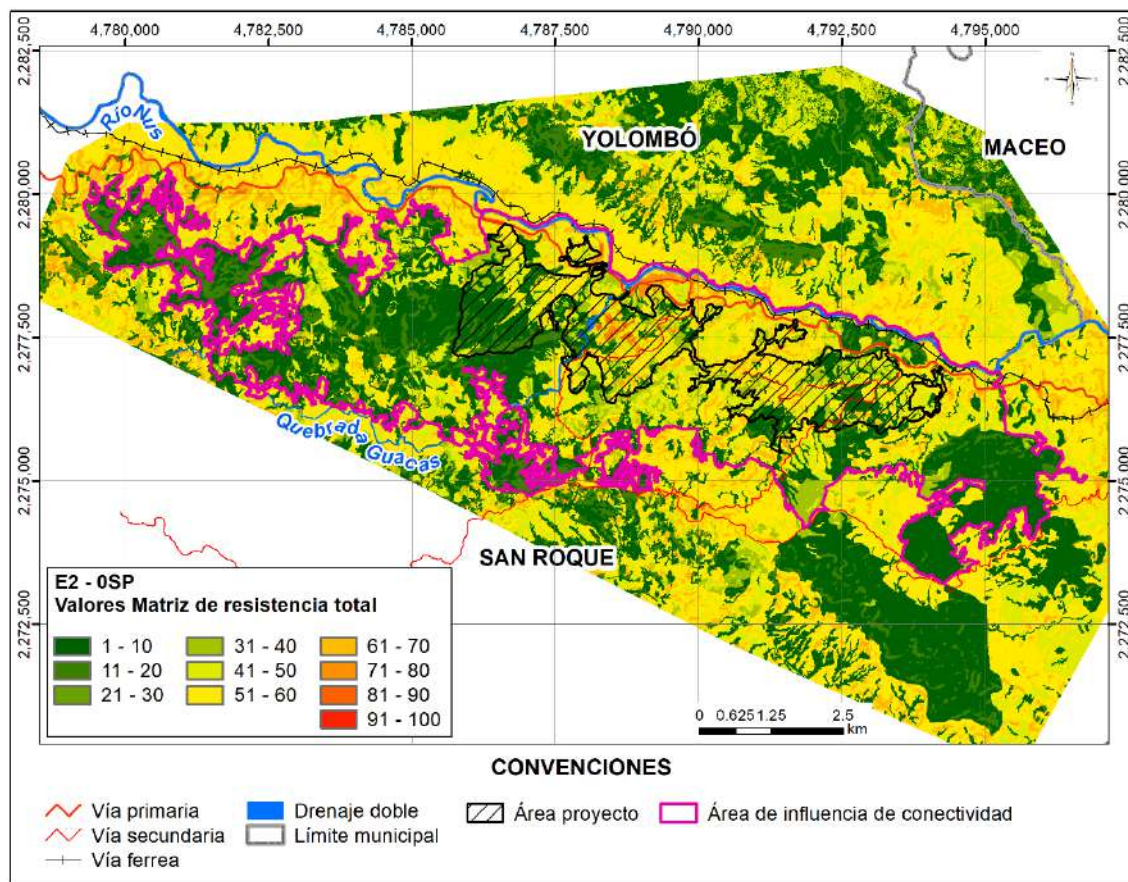


Figura 5.2.2.184. Matriz de resistencia total para la especie la (E2) *Oedipomidas leucopus* sin proyecto (OSP) en el área de influencia de conectividad.

Fuente: Integral S.A., 2026

II. Red de conectividad del área de influencia de conectividad (OSP)

A continuación, se presenta la red de conectividad del área de influencia de conectividad en grafos y vista realista y los resultados de la estimación de conectividad a través de los índices delta de probabilidad de conectividad (dPC) y el delta del índice integral de conectividad (dIIC) y el índice de correlación de conectividad (CCor).

i. Red topológica

En la Figura 5.2.2.185 se muestra la red topológica de conectividad en grafos para la especie E1 *L. pardalis*, mientras que en la Figura 5.2.2.187 se presenta su correspondiente vista realista. De manera análoga, en la Figura 5.2.2.187 se muestra la red topológica de conectividad en grafos para la especie E2 *O. leucopus*, y en la Figura 5.2.2.188 su respectiva vista realista, todas correspondientes al escenario sin proyecto (OSP).

En dichas figuras se observa la configuración de la red topológica de conectividad al interior del polígono del área de influencia de conectividad, donde los nodos focales representan los parches de hábitat y los enlaces corresponden a las conexiones potenciales entre estos.

Para la especie E1 *L. pardalis*, la red de conectividad al interior del polígono se caracteriza por una mayor continuidad espacial de los enlaces, lo cual evidencia la existencia de múltiples rutas potenciales de desplazamiento. Esta configuración contribuye a una mayor robustez estructural de la red y a una menor dependencia de nodos específicos para el mantenimiento de la conectividad funcional.

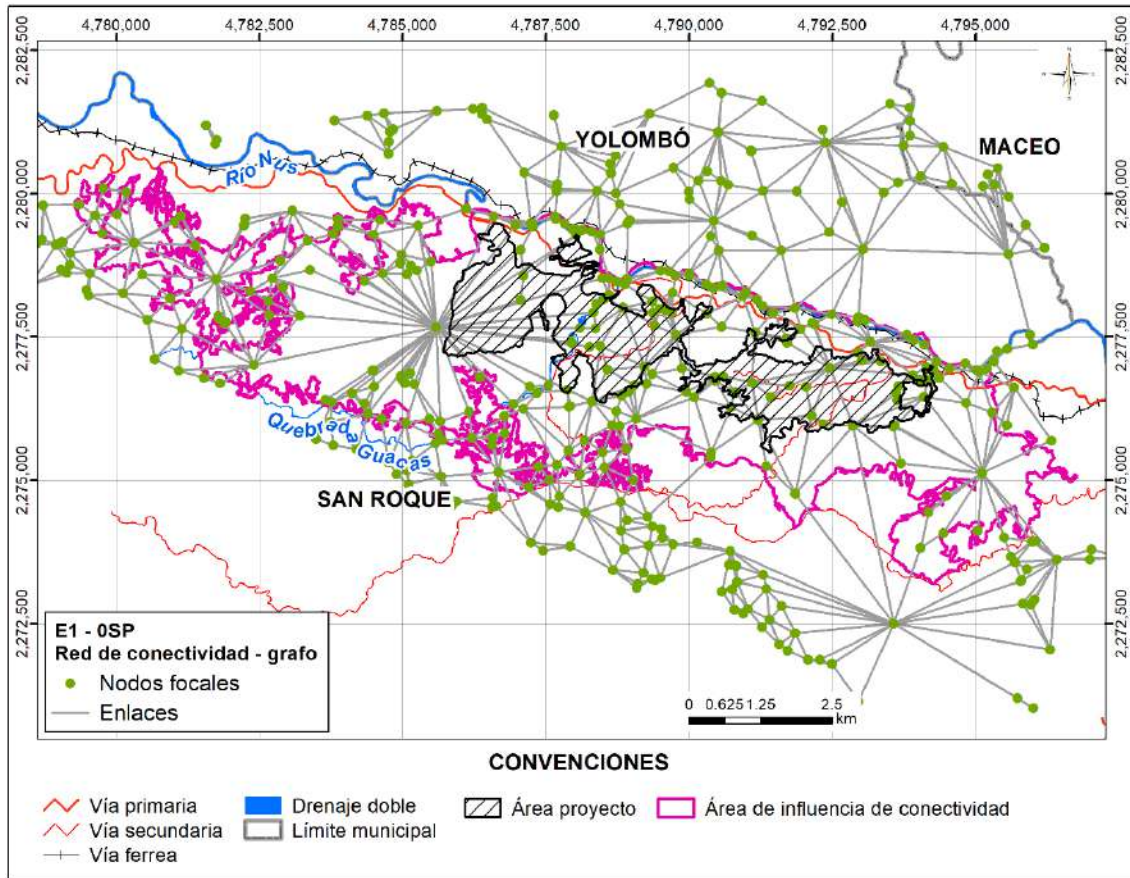


Figura 5.2.2.185. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie E1 *Leopardus pardalis* del área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

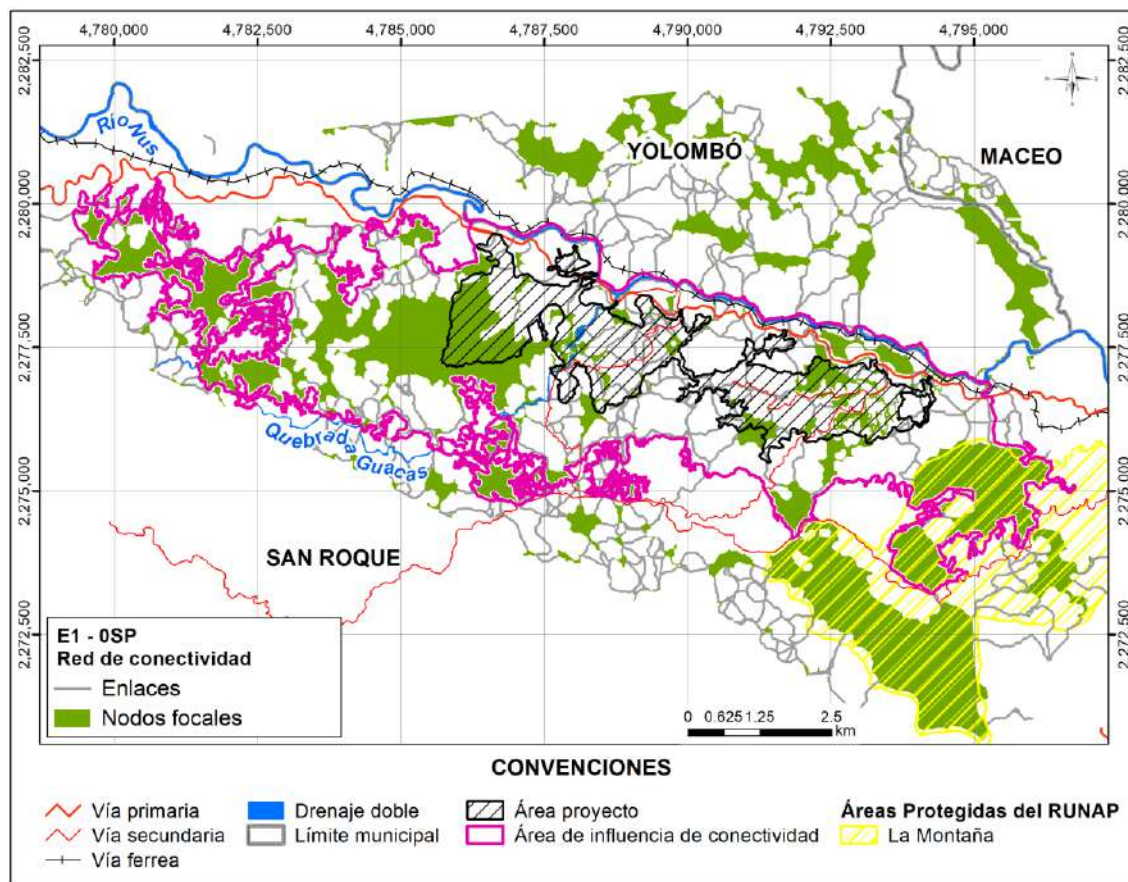


Figura 5.2.2.186. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E1) *Leopardus pardalis* del área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

En contraste, para la especie E2 *O. leucopus*, si bien se observa una distribución amplia de nodos focales dentro del área de influencia, la red presenta una menor densidad y continuidad de los enlaces, organizándose en mayor medida a través de subconjuntos de parches conectados localmente (ver la Figura 5.2.2.187 y Figura 5.2.2.188). Esta configuración indica una mayor dependencia de nodos estructurantes específicos para mantener la conectividad entre los distintos sectores del área de influencia, lo que incrementa la vulnerabilidad de la red frente a la pérdida o fragmentación de dichos parches.

En ambas especies, los nodos focales de mayor tamaño desempeñan un papel clave como elementos estructurantes de la red, al facilitar la conexión entre parches de hábitat secundarios y contribuir al mantenimiento de la conectividad global.

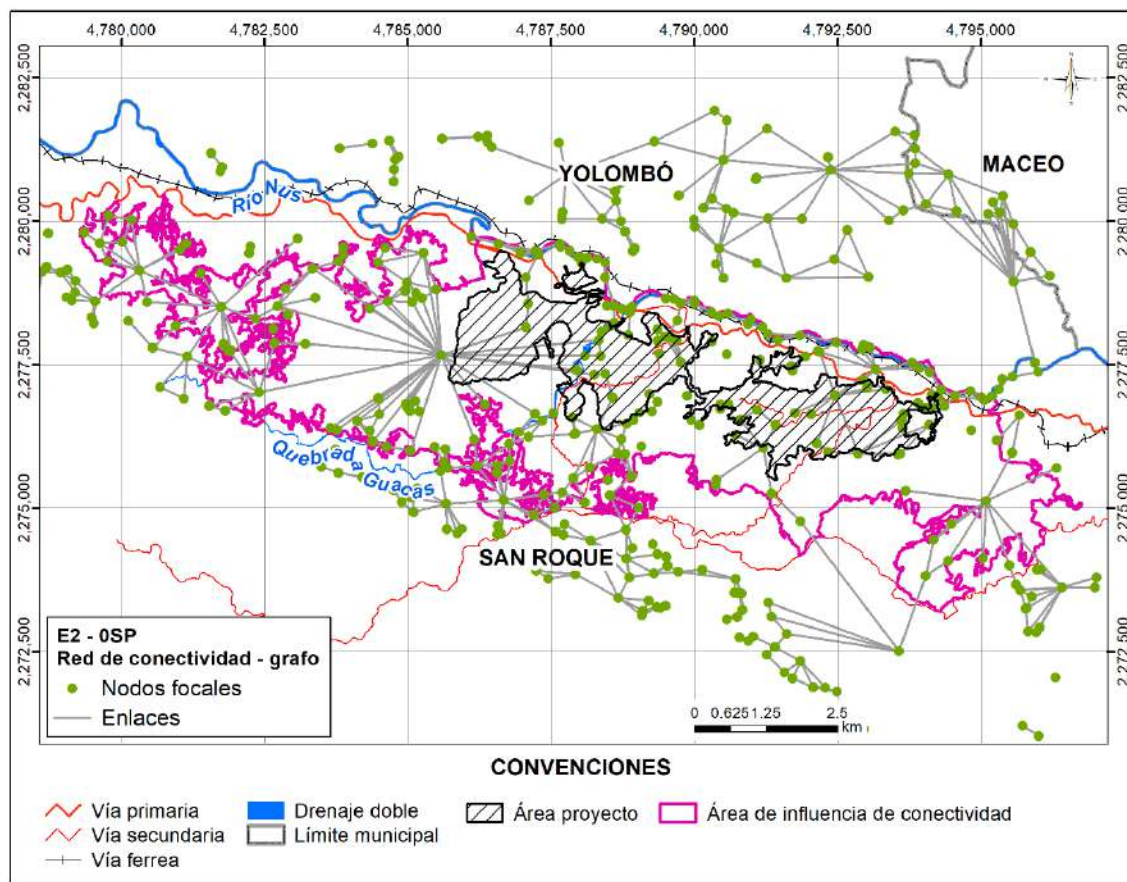


Figura 5.2.2.187. Grafos de nodos y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* del área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

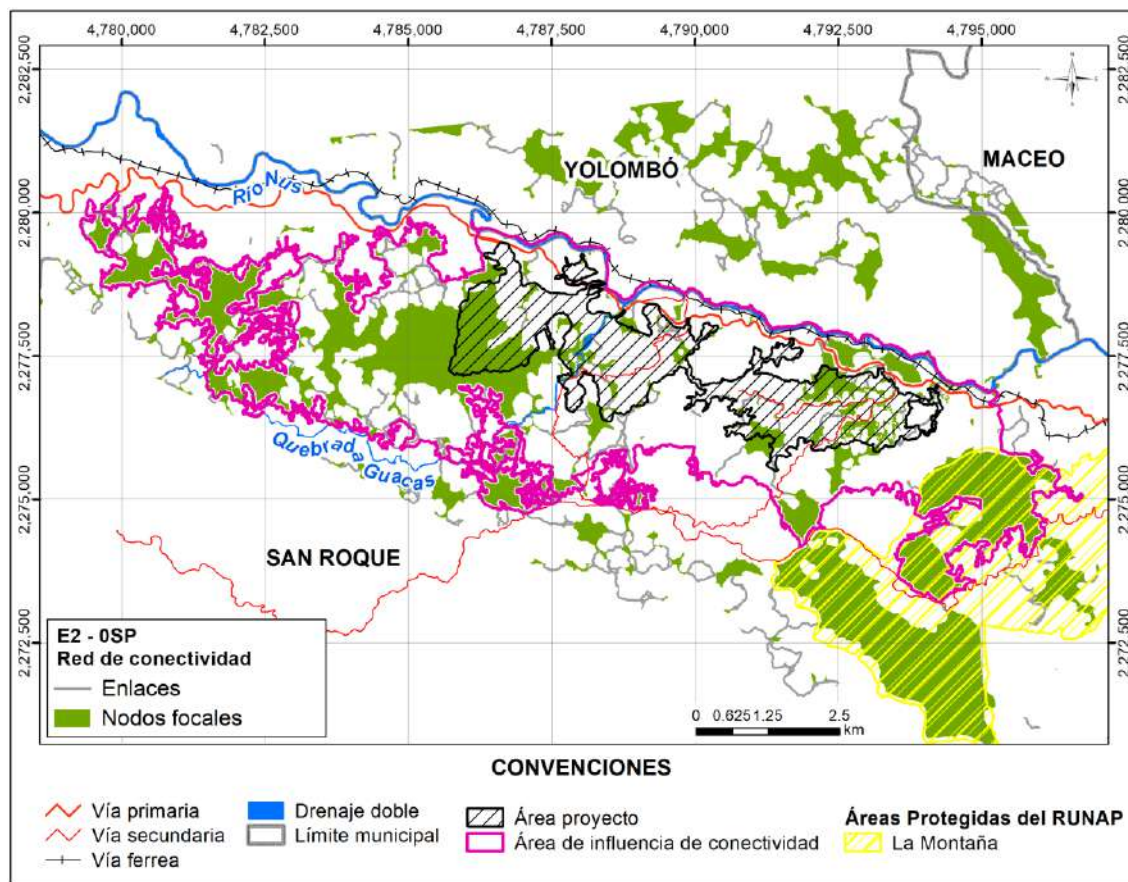


Figura 5.2.2.188. Red de conectividad de nodos de hábitat y enlaces teóricos para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* del área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

En conjunto, los resultados indican que, bajo el escenario OSP y al interior del área de influencia de conectividad, la red de conectividad presenta mejores condiciones estructurales para la especie E1 *L. pardalis* que para la especie E2 *O. leucopus*. Este patrón resulta coherente con las diferencias previamente identificadas en las matrices de resistencia, y se asocia además a los valores de distancia máxima de desplazamiento (truncamiento) definidos para cada especie en el modelo.

Finalmente, los resultados de las figuras anteriores muestran que la red de conectividad al interior del área de influencia de conectividad incluye nodos de importancia como los asociados a la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña, declarada por CORNARE, y a otros elementos de importancia local como fragmentos de bosques y vegetación secundaria en la parte occidental del área.

Con respecto a el área del proyecto, se observa que este se localiza en un sector donde se concentran enlaces que conectan nodos focales estratégicos dentro del área de influencia de conectividad. Esta disposición indica que el área del proyecto forma parte de la estructura de enlaces que articula distintos subconjuntos de parches de hábitat, contribuyendo a la conectividad estructural del paisaje.

A continuación, se presentan los resultados cuantitativos de la conectividad del área de influencia de conectividad para la E1 *Leopardus pardalis* y para la E2 *Oedipomidas leucopus* en la Tabla 5.2.2.24. Es importante mencionar que las distancias en costo fueron calculadas a partir de la ponderación del valor original a su verdadera extensión al interior del área de influencia de conectividad.

Tabla 5.2.2.24. Comparación resultados cuantitativos de la red de conectividad para la E1 y E2 en el área de influencia de conectividad.

Métricas	Valores Área de influencia de conectividad – escenario 0SP	
	E1 <i>Leopardus pardalis</i>	E2 <i>Oedipomidas leucopus</i>
Número de nodos	159	128
Total, Área Nodos (m2)	11.494.880	9.108.320
Número de enlaces	332	162
Total, distancia enlaces (m)	104.477,13	33.617,90
Total, Costo enlaces (unidades de costo)	448.700,01	93.595,23
Promedio relación costo/distancia (costo/m)	4,93	4,42

Fuente: Integral S.A., 2026

La red de conectividad presenta diferencias en el número de nodos para las especies modeladas, lo que indica que los parches de hábitat considerados reflejan las diferencias en las necesidades ecológicas y hábitos de desplazamiento. En términos de área total de los nodos, ambas especies muestran valores similares, lo que puede indicar que las diferencias en la red no están asociadas al tamaño o extensión de los parches, sino a la forma en que estos se conectan funcionalmente.

Así mismo, se observan diferencias marcadas en la estructura de los enlaces. Para la especie E1 *L. pardalis*, la red presenta un mayor número de enlaces (332) en comparación con E2 *O. leucopus* (162), lo que evidencia una red más densa y con mayor número de conexiones potenciales para la E1. De manera consistente, la distancia total de los enlaces también es considerablemente mayor para E1 *L. pardalis*, lo que puede indicar la presencia de más rutas alternativas de conexión entre los nodos. Lo anterior, se asocia además a los valores de distancia máxima de desplazamiento definidos para cada especie en el modelo.

En cuanto al costo total de los enlaces, la especie E1 *L. pardalis* presenta valores sustancialmente más altos que E2 *O. leucopus*, lo que refleja que, aunque dispone de más rutas y mayor conectividad estructural, el desplazamiento implica un mayor costo acumulado, asociado a trayectorias más largas o a condiciones del paisaje con mayor resistencia al movimiento, lo cual es coherente con su patrón terrestre de desplazamiento. Para E2 *O. leucopus*, el menor costo total en los enlaces se explica por su patrón arborícola de desplazamiento, que restringe su movimiento a través de coberturas con árboles. El promedio de la relación costo/distancia refuerza esta interpretación: E1 *L. pardalis* presenta un valor más alto (4,93 costo/m) frente a E2 *O. leucopus* (4,42 costo/m), lo que indica que, por cada metro recorrido, el desplazamiento de E1 *L. pardalis* enfrenta una mayor resistencia promedio. En contraste, E2 *O. leucopus*, aunque cuenta con menos enlaces y

menor extensión total de conectividad, se desplaza a través de trayectorias relativamente menos costosas por unidad de distancia (por ejemplo, bosques de galería), pero con menor redundancia estructural. Adicionalmente, al observar que la diferencia entre los valores costo/distancia para las dos especies no es muy amplia (11,5% de E2 frente a E1) puede indicar que las características abióticas en la matriz de resistencia tienen alta participación en el costo total del desplazamiento, lo anterior teniendo en cuenta que E1 puede desplazarse por una variedad de coberturas, mientras que E2 tiene preferencia por bosques.

ii. Índices de estimación de conectividad

- Probabilidad de conectividad PC

Las Figura 5.2.2.189 y Figura 5.2.2.190 presentan los valores del índice delta de probabilidad de conectividad (dPC) para las especies E1 *L. pardalis* y E2 *O. leucopus*, respectivamente, en el escenario sin proyecto (OSP). Este índice permite identificar la contribución relativa de los nodos y de los enlaces a la conectividad global del paisaje, al interior del área de estudio de conectividad local.

Para la especie E1 *L. pardalis*, al interior del área de influencia de conectividad se identifica dos nodos focales con valores elevados de dPC, lo que indica que la conectividad en este sector depende de manera significativa de estos dos elementos. Esta configuración refleja la importancia de estos nodos dado su aporte a la probabilidad de conectividad del sistema, incrementando la vulnerabilidad estructural de la red frente a procesos de fragmentación o pérdida de hábitat. Uno de estos nodos está en el centro del área de influencia y el otro corresponde a una fracción de la reserva foresta la montaña, localizado en el extremo oriental del área de influencia.

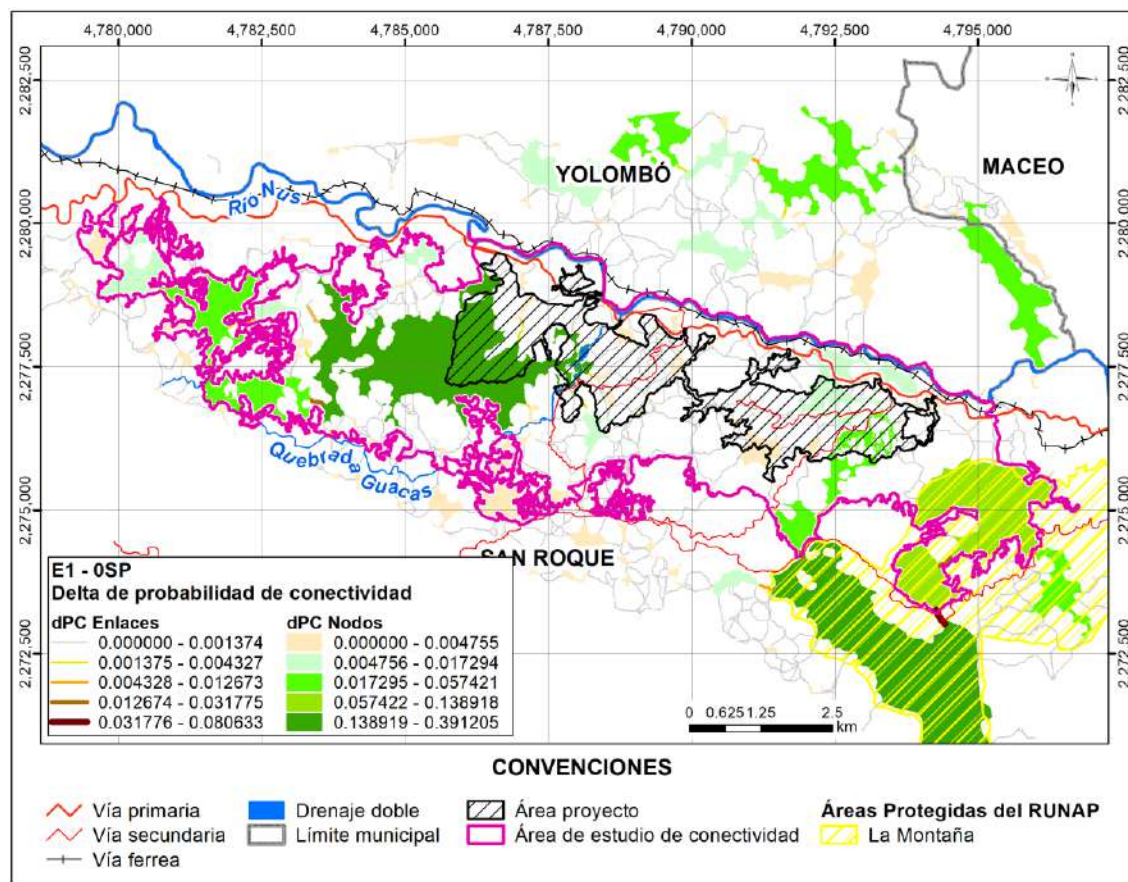


Figura 5.2.2.189. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* en el área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

En contraste, para la especie E2 *O. leucopus*, dentro del mismo polígono se identifican tres nodos focales con valores elevados de dPC, lo que evidencia una mayor contribución conjunta de nodos estratégicos al mantenimiento de la conectividad. Esta distribución indica que la conectividad funcional se encuentra mejor repartida entre varios elementos, reduciendo la dependencia de nodos dominantes y, en consecuencia, la vulnerabilidad estructural de la red.

Con respecto a los enlaces, los resultados evidencian que los valores elevados de dPC son escasos y se concentran en torno a los nodos focales estratégicos, tanto para la especie E1 *L. pardalis*, como para la especie E2 *O. leucopus*. Este patrón indica una alta probabilidad de movimiento por estas rutas puntuales asociadas a dichos nodos.

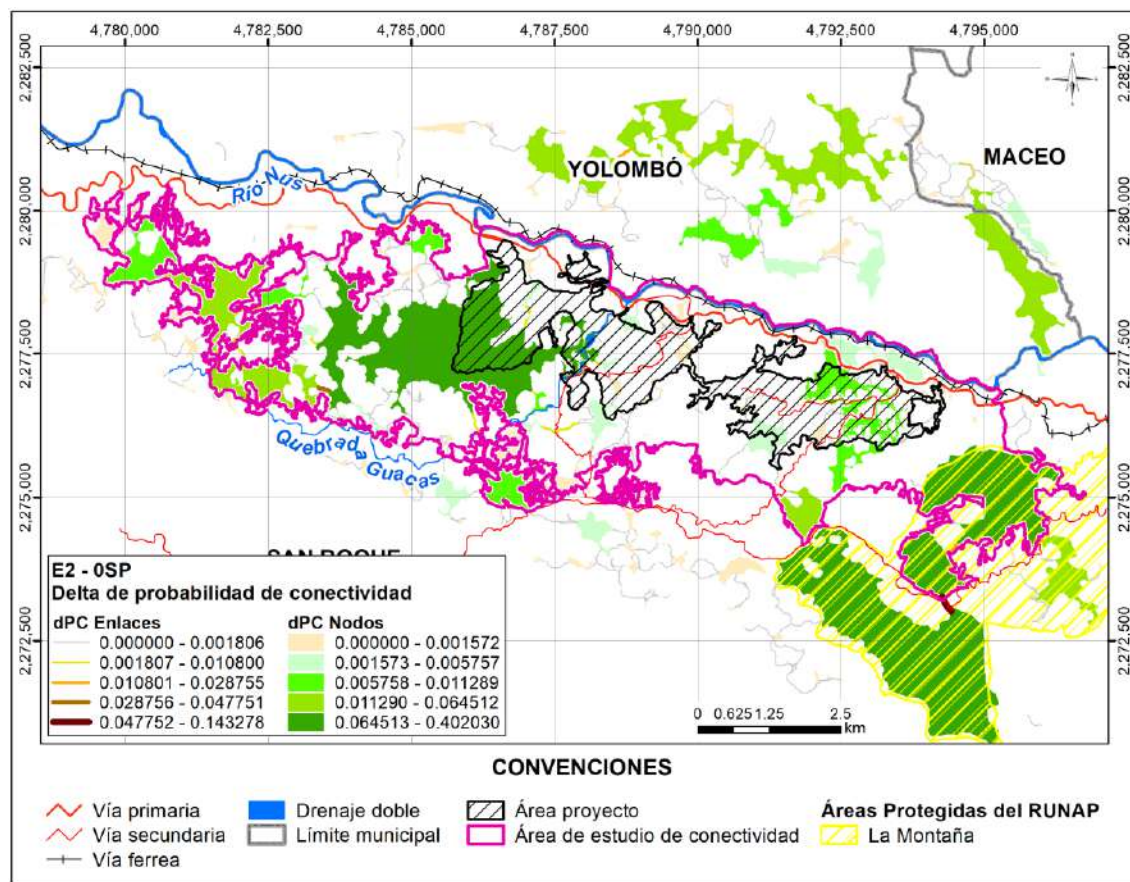


Figura 5.2.2.190. Delta del índice de probabilidad de conectividad (dPC) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* en el área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

Finalmente, se resalta que el AEI correspondiente a la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña, que se encuentra asociada a nodos que presentan los mayores valores de dPC para ambas especies evaluadas. Esta condición evidencia el papel estratégico del área protegida en el mantenimiento de la conectividad funcional del paisaje, dado que la pérdida o alteración de estos nodos generaría una disminución significativa en la probabilidad de conectividad del sistema.

• Índice integral de conectividad IIC

Las Figuras 5.2.2.191 y 5.2.2.192 presentan los valores del índice delta del índice integral de conectividad (dIIC) para las especies E1 *L. pardalis* y E2 *O. leucopus*, respectivamente, en el escenario sin proyecto (OSP). Este índice permite evaluar la importancia relativa de nodos y enlaces en el mantenimiento de la conectividad estructural del paisaje.

Para la especie *L. pardalis*, al interior del área de influencia de conectividad se observa que los nodos focales con mayores valores de dIIC se concentran en sectores específicos,

destacándose aquellos asociados a áreas con mayor continuidad de cobertura vegetal. Estos nodos presentan una alta contribución a la conectividad estructural, actuando como elementos clave para la articulación de la red. Los enlaces con mayores valores de dIIC se asocian directamente a estos nodos estratégicos, lo que indica que la conectividad, desde su estructura, depende en buena medida de conexiones puntuales bien definidas.

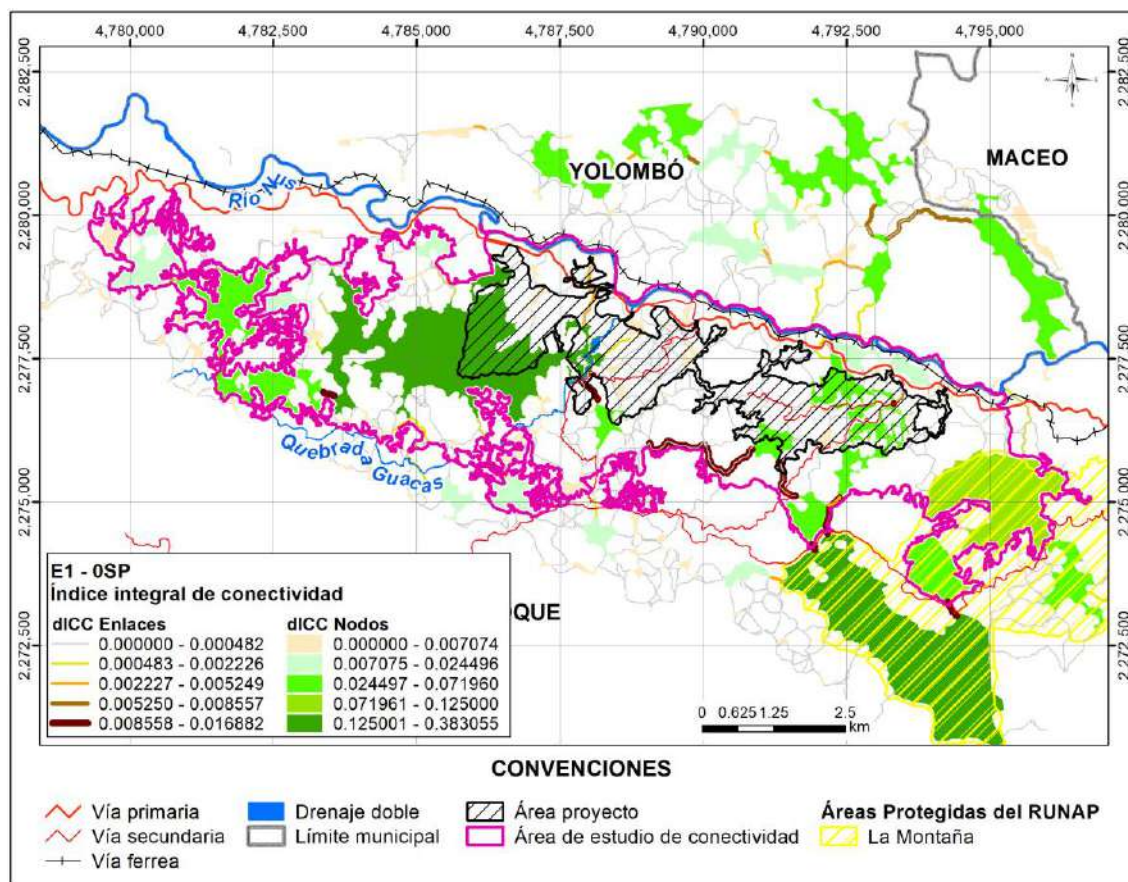


Figura 5.2.2.191. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* en el área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

En contraste, para la especie E2 *O. leucopus*, se identifica la presencia de varios nodos focales con valores altos de dIIC, distribuidos de manera más amplia en el área de influencia, aunque con valores individuales de menor magnitud en comparación con los observados para la especie E1 *L. pardalis*. Los enlaces con valores de dIIC para E2 *O. leucopus*, se presentan de forma más dispersa y con magnitudes moderadas, evidenciando una red estructural menos concentrada, en la cual la conectividad se sustenta en la contribución conjunta de múltiples nodos y enlaces, sin la dominancia marcada de elementos individuales.

Al comparar ambas especies, se evidencia que, si bien E1 *L. pardalis* presenta nodos relevantes desde el punto de vista estructural, su conectividad depende en mayor medida de elementos específicos, lo que incrementa la sensibilidad de la red ante la pérdida y/o

fragmentación de dichos nodos o enlaces. Por su parte, E2 *O. leucopus*, muestra una conectividad estructural más distribuida, en la cual varios nodos y enlaces contribuyen de manera conjunta al mantenimiento de la red.

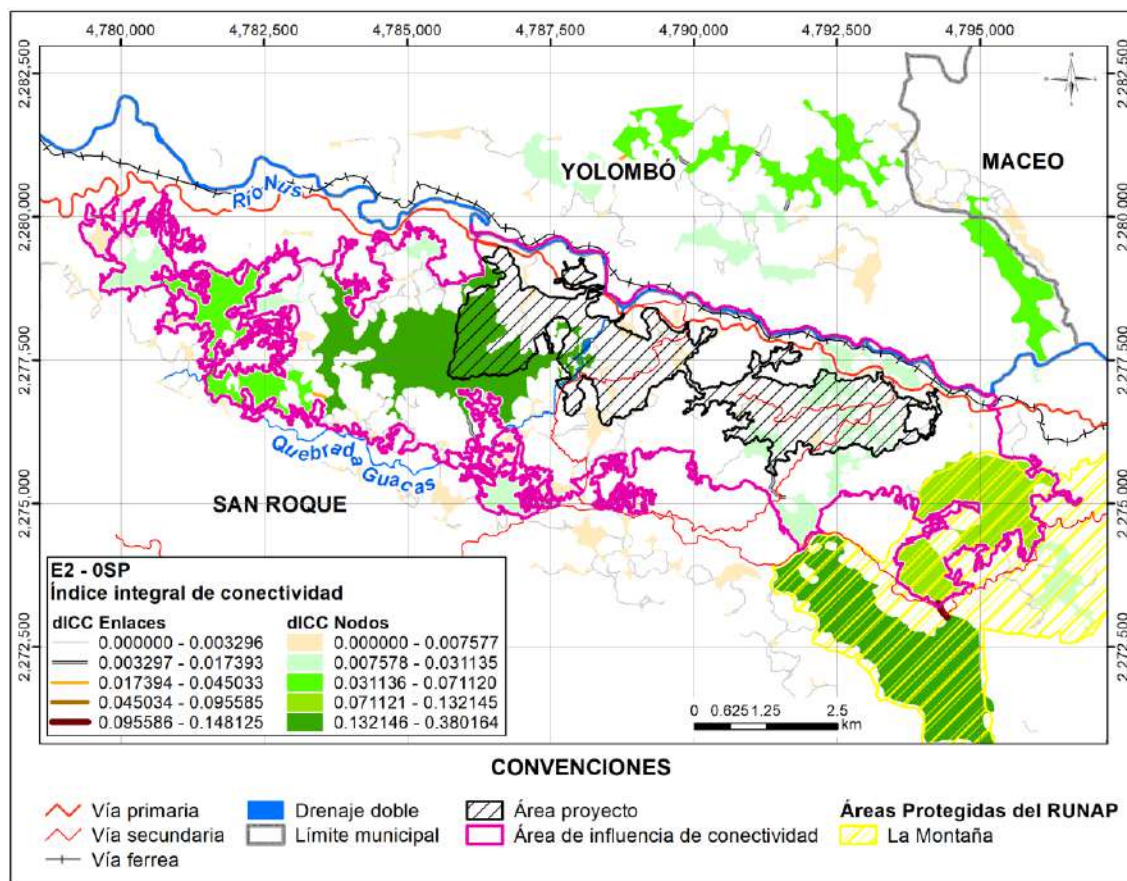


Figura 5.2.2.192. Delta del índice integral de conectividad (dIIC) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* en el área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

El análisis del índice integral de conectividad (dIIC) evidencia que el AEI asociada a la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña, coincide espacialmente con nodos focales de alta importancia estructural para ambas especies. No obstante, se observan diferencias en la magnitud de dicha contribución.

• Índice de correlación de la conectividad CCor

Las Figuras Figura 5.2.2.193 y Figura 5.2.2.194 presentan los valores del índice de correlación de conectividad (CCor) para las especies E1 *L. pardalis* y E2 *O. leucopus*, respectivamente, en el escenario sin proyecto (OSP). Este índice permite identificar los nodos que presentan una mayor correlación funcional con el resto de la red, es decir, aquellos parches cuya conectividad está más fuertemente asociada a la estructura global del sistema.

En ambas especies, al interior del polígono del área de influencia de conectividad se observa que los valores más altos de CCOR se concentran en nodos focales principalmente en sectores asociados a áreas con mayor aporte de cobertura vegetal. Estos nodos presentan una alta integración funcional con el resto de la red, actuando como elementos centrales que facilitan la conexión entre distintos subconjuntos de parches.

El análisis del índice de correlación de conectividad (CCor) evidencia que el AEI asociada a la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña presenta, para ambas especies evaluadas, nodos con valores intermedios a altos de CCOR, lo que indica una alta correlación funcional con el resto de la red y un papel importante en la articulación de los flujos de conectividad.

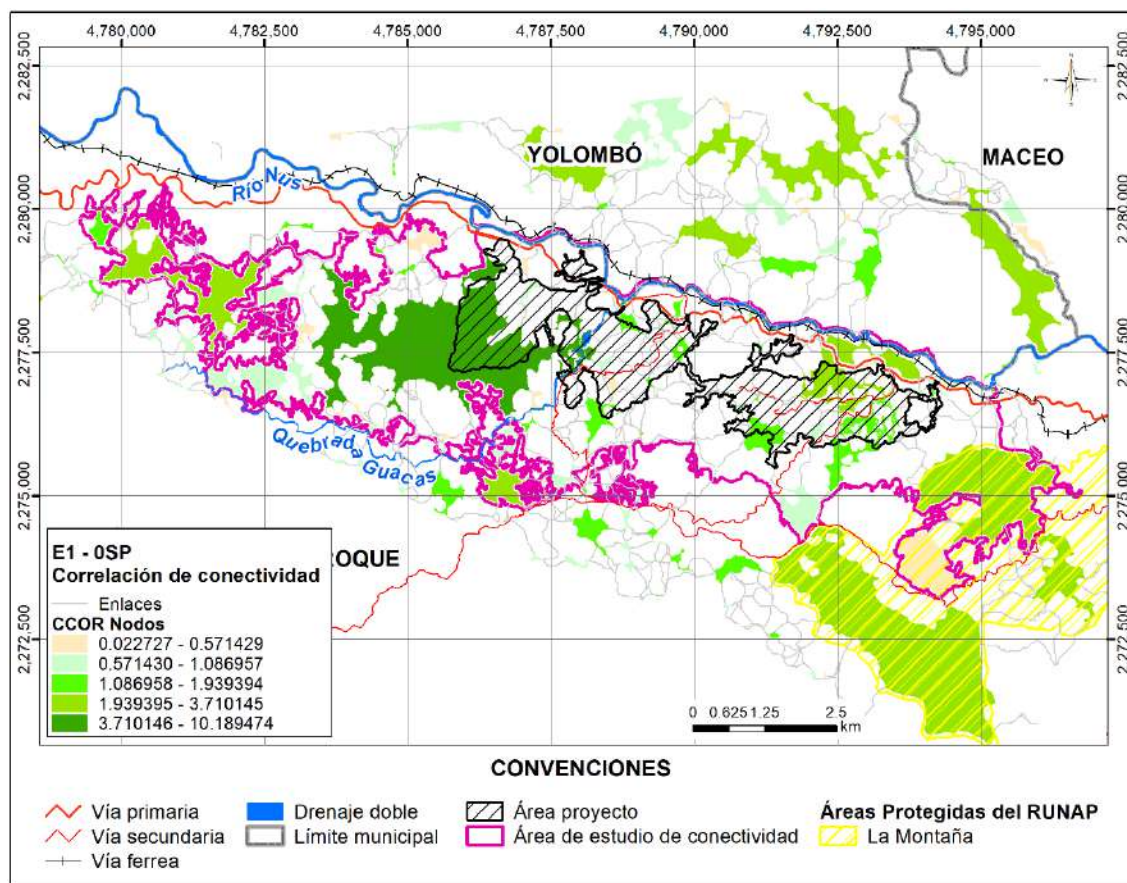


Figura 5.2.2.193. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E1) *Leopardus pardalis* en el área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

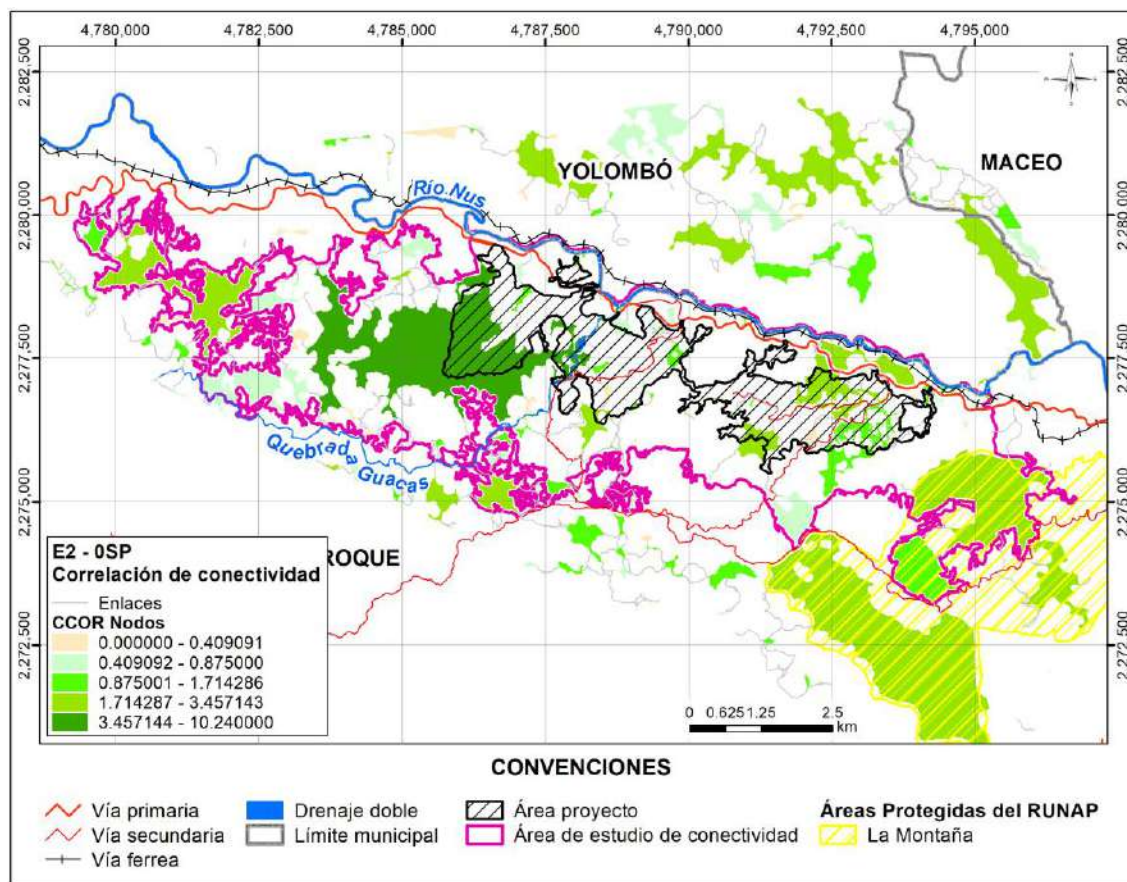


Figura 5.2.2.194. Índice de correlación de conectividad (CCor) en vista realista para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* en el área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

iii. Corredores de menor costo área de influencia de conectividad

Los corredores teóricos de menor costo del área de influencia de conectividad se presentan para la E1 *L. pardalis* en la Figura 5.2.2.195 y para la E2 *O. leucopus* en la Figura 5.2.2.196, para el escenario sin proyecto (0SP). Al interior del polígono del área de influencia de conectividad, se observa que en ambos casos los corredores se concentran en sectores con mayor continuidad de cobertura vegetal, mientras que los incrementos en el costo acumulado se asocian a áreas con mayor fragmentación del paisaje e infraestructura vial.

Para la especie E1 *L. pardalis*, los corredores de menor costo se caracterizan por una mayor continuidad espacial, con predominio de valores bajos a intermedios de costo acumulado (tonos amarillos y naranjas claros) que permiten la conexión funcional entre los nodos focales a través de múltiples rutas potenciales. Esta configuración sugiere una mayor permeabilidad del paisaje para la especie.

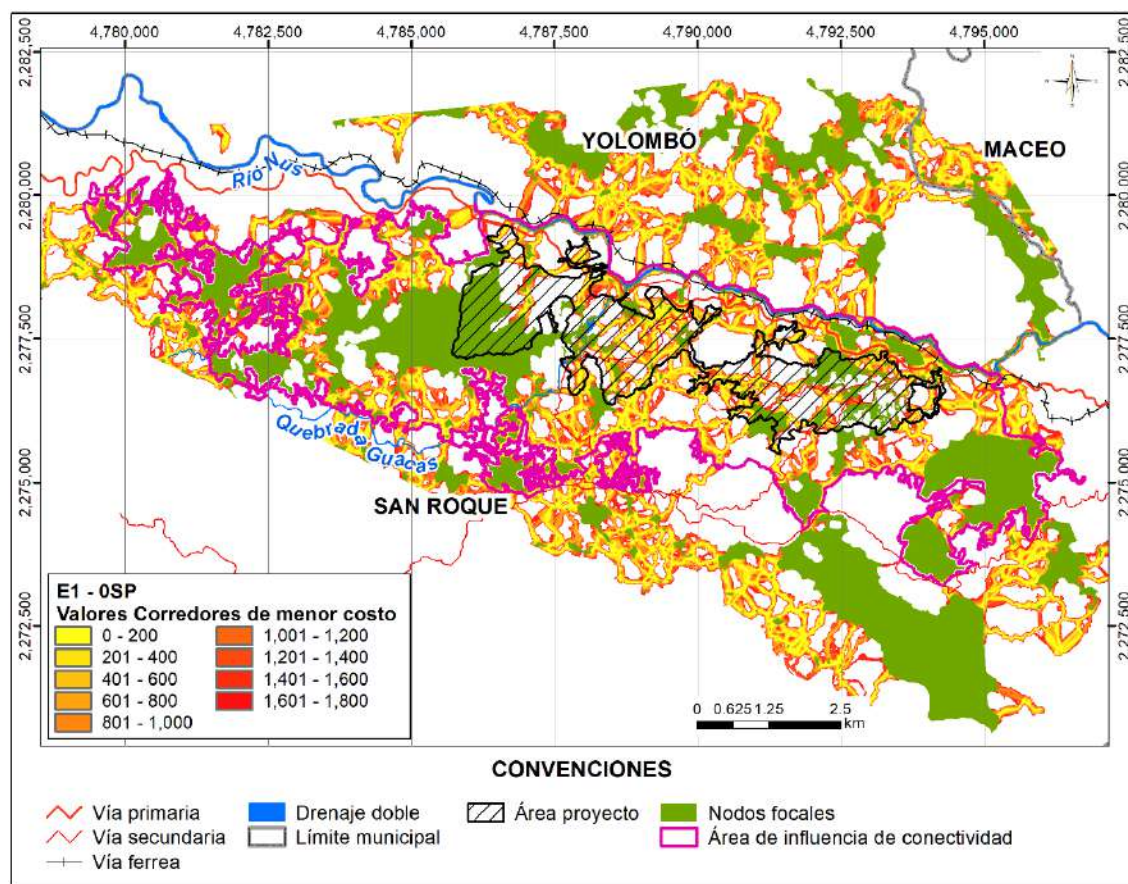


Figura 5.2.2.195. Corredores de menor costo para la especie (E1) *Leopardus pardalis* en el área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

En contraste, para la especie E2 *O. leucopus*, los corredores de menor costo al interior del mismo polígono presentan una distribución más fragmentada y una mayor presencia de valores intermedios a altos de costo acumulado. Los corredores tienden a concentrarse en rutas más estrechas y específicas, lo que indica una mayor restricción al movimiento, tanto por las características de movilidad de la especie, como por las condiciones del territorio.

En términos comparativos, los resultados evidencian que, en el escenario 0SP, el paisaje dentro del área de influencia ofrece condiciones más favorables para el desplazamiento de *L. pardalis* que para *O. leucopus*, lo cual es consistente con las diferencias observadas previamente en las matrices de resistencia, la red topológica, los índices estructurales de conectividad y se asocia además a los valores de distancia máxima de desplazamiento (truncamiento) definidos para cada especie en el modelo.

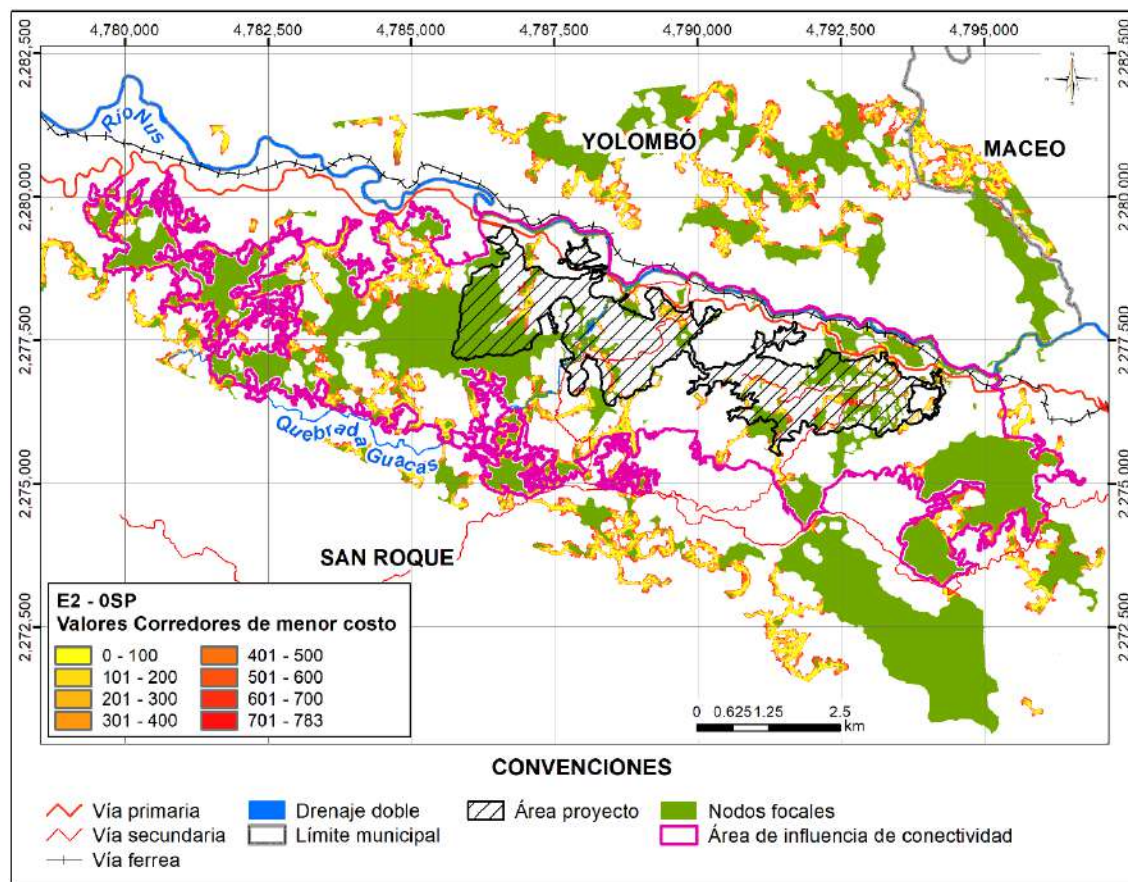


Figura 5.2.2.196. Corredores de menor costo para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* en el área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

Con respecto al área del proyecto se observa que los corredores se interceptan y se superpone parcialmente con corredores funcionales identificados para ambas especies. En particular, varios corredores con valores bajos a intermedios de costo acumulado atraviesan o bordean el área del proyecto.

iv. Zonas críticas para la conectividad escenario actual

Las zonas críticas para la conectividad del área de estudio de conectividad en la escala local sin proyecto OSP se presentan para la E1 *L. pardalis* en la Figura 5.2.2.197 y para la E2 *O. leucopus* en la Figura 5.2.2.198, en el escenario sin proyecto (OSP). Este análisis identifica los sectores del paisaje donde el flujo de movimiento se concentra, evidenciando puntos de estrangulamiento o cuellos de botella cuya alteración podría disminuir la conectividad funcional.

Para la especie E1 *L. pardalis*, al interior del área de influencia de conectividad, se observa que las zonas con valores más altos de flujo de corriente se concentran principalmente en corredores estrechos que conectan los nodos focales localizados a lo largo del área de

estudio. En áreas con mayor continuidad de cobertura vegetal, el flujo de corriente se distribuye de manera más difusa, indicando una menor restricción al desplazamiento.

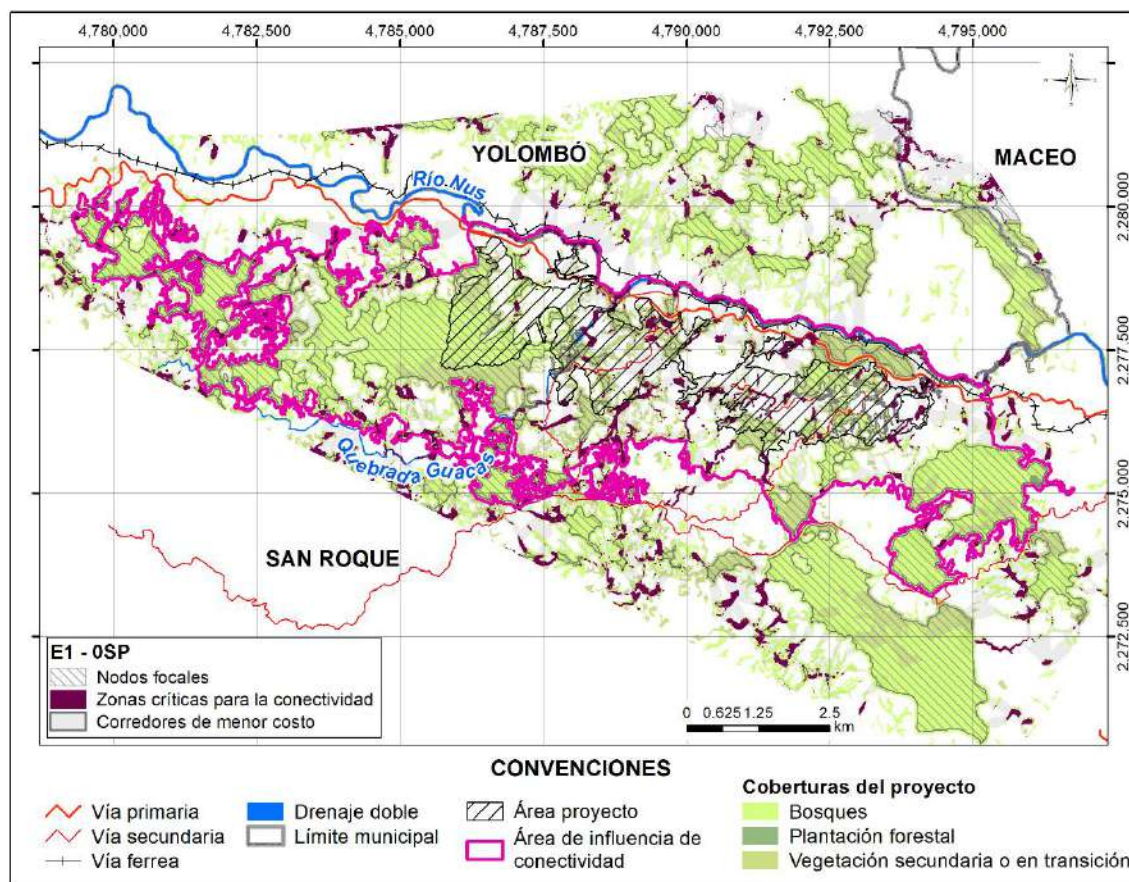


Figura 5.2.2.197. Zonas críticas para la conectividad para la especie (E1) *Leopardus pardalis* en el área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

En contraste, para la especie E2 *O. leucopus*, las zonas críticas al interior del mismo polígono presentan una distribución más dispersa, con valores de flujo de corriente que, si bien son en general de menor magnitud, se concentran en múltiples corredores estrechos. Este patrón evidencia que el movimiento de la especie se canaliza a través de varios puntos de concentración de la probabilidad de movimiento, reflejando una mayor importancia de rutas específicas para mantener la conectividad funcional entre los nodos focales.

En ambos casos, estas zonas críticas coinciden con sectores estratégicos del paisaje, por lo que su conservación resulta clave para el mantenimiento de la conectividad, en coherencia con los resultados obtenidos a partir de los corredores de menor costo, la red topológica y los índices estructurales previamente analizados.

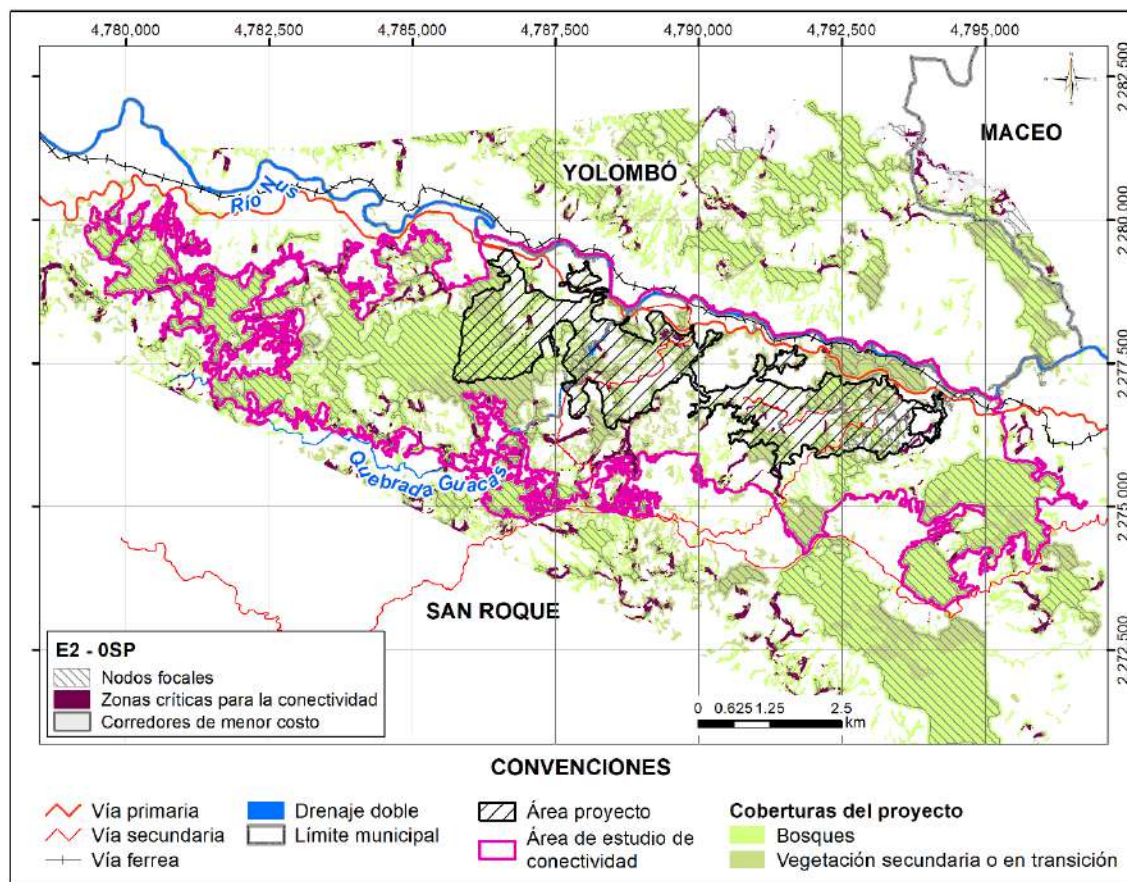


Figura 5.2.2.198. Zonas críticas para la conectividad para la especie (E2) *Oedipomidas leucopus* en el área de influencia de conectividad funcional.

Fuente: Integral S.A., 2026

Con respecto al área del proyecto se observa que las zonas críticas para la conectividad coinciden con sectores donde el flujo de movimiento se concentra, configurando puntos de concentración o cuellos de botella dentro de la red de conectividad. Estas zonas críticas se presentan en tramos donde la conectividad se ve restringida por la fragmentación del paisaje y la presencia de infraestructura. La coincidencia espacial entre el polígono del proyecto y estos pinch-points indica que al interior del área del proyecto existen áreas de mayor concentración de la movilidad sobre los corredores actuales, lo cual está en concordancia con lo evidenciado en el área de estudio de conectividad a escala local.

w. Anexo cartográfico del estudio de conectividad funcional

Como producto del presente estudio de conectividad funcional, se incluye el anexo cartográfico de conectividad, en el cual se almacenan los insumos, resultados intermedios y resultados finales de este estudio de conectividad funcional. En la Tabla 5.2.2.25. Contenido general del anexo cartográfico de conectividad. Tabla 5.2.2.25 se presenta el

contenido general del anexo cartográfico de conectividad (Anexo del MEIA: ANEXOS_CARACTERIZACION_CONECTIVIDAD).

Tabla 5.2.2.25. Contenido general del anexo cartográfico de conectividad.

Ruta	Descripción
\\01_GBD\Conectividad_GCL.gdb	GDB principal del estudio de conectividad. Almacena los insumos principales y resultados de las modelaciones y geoprocetamiento para el estudio de conectividad
\\01_GBD\Conectividad_GCL.gdb\Basica	DataSet de elementos geográficos de contexto para el estudio de conectividad
\\01_GBD\Conectividad_GCL.gdb\Criterios_AInfluencia	DataSet que almacena la información geográfica para la definición del área de influencia de conectividad
\\01_GBD\Conectividad_GCL.gdb\Graphab_Local	Dataset que almacena los resultados de las modelaciones de grafos en el área de estudio local
\\01_GBD\Conectividad_GCL.gdb\Graphab_Regional	Dataset que almacena los resultados de las modelaciones de grafos en el área de estudio regional
\\01_GBD\Conectividad_GCL.gdb\LinkageMapper_AInfluencia	Dataset que almacena los resultados de las modelaciones de corredores y pinch points en el area de estudio local
\\01_GBD\Conectividad_GCL.gdb\LinkageMapper_Local	Dataset que almacena los resultados de las modelaciones de corredores y pinch points en el area de estudio regional
\\01_GBD\Conectividad_GCL.gdb\Nodos_Local	Dataset que almacena los resultados de los análisis de nodos en el área de estudio local
\\01_GBD\Conectividad_GCL.gdb\Nodos_Regional	Dataset que almacena los resultados de los análisis de nodos en el área de estudio regional
\\01_GBD\Conectividad_GCL.gdb\Zonificacion	Dataset que almacena los insumos y resultados de elementos de importancia

	de conectividad para zonificación ambiental
\\02_RASTER	Carpeta con las imágenes Sentinel 2A que se utilizaron para el estudio de conectividad
\\03_MODELACIONES\IndicesProbiabilidad	Carpeta que contiene las modelaciones para el cálculo de índices y métricas para la caracterización de la conectividad. Para E1 y E2 en los escenarios 0SP, 1CPL y 2CPM
\\03_MODELACIONES\LinkageMapper_AInfluencia	Carpeta que contiene las modelaciones en el área de influencia de corredores y pinch points para la caracterización de la conectividad. Para E1 y E2 en los escenarios 0SP y 2CPM
\\03_MODELACIONES\LinkageMapper_Local	Carpeta que contiene las modelaciones para el cálculo de corredores y pinch points para la caracterización de la conectividad en el área local. Para E1 y E2 en los escenarios 0SP, 1CPL y 2CPM
\\03_MODELACIONES\MatricesResistencia\MatrizResistencia_E1_0SP\E1_0SP_MatrizResistencia.gdb	GDB de trabajo para el cálculo de la matriz de resistencia para la E1 en el escenario 0SP
\\03_MODELACIONES\MatricesResistencia\MatrizResistencia_E1_1CPL\E1_1CPL_MatrizResistencia.gdb	GDB de trabajo para el cálculo de la matriz de resistencia para la E1 en el escenario 1CPL
\\03_MODELACIONES\MatricesResistencia\MatrizResistencia_E1_2CPM\E1_2CPM_MatrizResistencia.gdb	GDB de trabajo para el cálculo de la matriz de resistencia para la E1 en el escenario 1CPM
\\03_MODELACIONES\MatricesResistencia\MatrizResistencia_E2_0SP\E2_0SP_MatrizResistencia.gdb	GDB de trabajo para el cálculo de la matriz de resistencia para la E2 en el escenario 0SP
\\03_MODELACIONES\MatricesResistencia\MatrizResistencia_E2_1CPL\E2_1CPL_MatrizResistencia.gdb	GDB de trabajo para el cálculo de la matriz de resistencia para la E2 en el escenario 1CPL

\\03_MODELACIONES\MatricesResistencia\MatrizResistencia_E2_2CPME2_2CPM_MatrizResistencia.gdb	GDB de trabajo para el cálculo de la matriz de resistencia para la E2 en el escenario 1CPM
\\03_MODELACIONES\MatricesResistencia_Regional	Carpeta que contiene las GDB de trabajo para el cálculo de las matrices de resistencia. Para E1 y E2 en los escenarios 0SP, 1CPL y 2CPM
\\05_JPEG\AI_Conectividad	Figuras en JPG del estudio de conectividad funcional para la caracterización del área de influencia local
\\05_JPEG\Esquematicas	Figuras esquemáticas en JPG del estudio de conectividad funcional
\\05_JPEG\Local	Figuras en JPG del estudio de conectividad funcional con los resultados del área de estudio local
\\05_JPEG\Regional	Figuras en JPG del estudio de conectividad funcional con los resultados del área de estudio regional
\\05_JPEG\RIA	Figuras en JPG del estudio de conectividad funcional para respuesta a la RIA
\\05_JPEG\Zonificacion	Figuras en JPG del estudio de conectividad funcional para zonificación ambiental
\\06_DOCUMENTOS	Documentos de soporte para la descripción de las especies, resultados de modelaciones y calificaciones de las variables de la matriz de resistencia

Fuente: Integral S.A., 2026

x. Conclusiones

Para la escala regional, la red topológica de conectividad en el escenario sin proyecto (0SP), los resultados de los índices de estimación de conectividad dPC y dIIC y las áreas de interés ambiental o de importancia ecológica evidencian que la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña constituye un elemento prioritario dentro de la red de conectividad del paisaje analizado, al concentrar nodos con valores elevados tanto de probabilidad de conectividad como de accesibilidad del hábitat para las especies evaluadas. Esta condición resalta su importancia en términos de conectividad funcional, asociada a la probabilidad de

movimiento y dispersión entre parches, así como de conectividad estructural, vinculada a la cantidad, continuidad y disposición espacial del hábitat dentro de la red.

En este contexto, el análisis del índice CCor complementa la interpretación al permitir evaluar el patrón espacial de organización de la conectividad, particularmente en relación con la disposición de los nodos más relevantes dentro de la red. Los valores de CCor asociados a la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña, superiores a 0,06 en los distintos escenarios analizados (0SP, 1CPL y 2CPM) y para ambas especies (E1 *Leopardus pardalis* y E2 *Oedipomidas leucopus*), indican una agrupación espacial no aleatoria de nodos de alta conectividad, lo que refuerza el papel de este AEI como un núcleo funcional dominante dentro de la estructura de la red.

En conjunto, estos resultados sugieren que la Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña desempeña un rol clave en la estructuración de la conectividad del paisaje, contribuyendo de manera significativa a la funcionalidad de la red y al mantenimiento de los procesos de movimiento y dispersión de las especies evaluadas. Este papel estructurante resulta central tanto para la conservación de dichas especies como para la evaluación comparativa de los efectos de los diferentes escenarios del proyecto sobre la conectividad ecológica, al constituir un referente crítico dentro del sistema analizado.

Por otro lado, la red de conectividad a escala local en el escenario 0SP presenta para la E2 *O. leucopus* una menor densidad de enlaces en comparación con la E1 *L. pardalis* lo cual se asocia a los valores de distancia máxima de desplazamiento (truncamiento) definidos para esta especie en el modelo y a su patrón de movimiento arborícola. Esta condición limita la generación de conexiones entre parches más distantes y se refleja en una red estructurada principalmente por conexiones de corto alcance. A pesar de ello, los nodos focales de mayor tamaño continúan desempeñando un papel relevante como elementos estructurantes de la red, al concentrar un mayor número de conexiones y contribuir de manera significativa al mantenimiento de la conectividad funcional local para la especie.

La red de conectividad a escala local en el escenario 0SP en cuanto a los resultados de componentes (obtenidos de Graphab), permiten inferir que elementos del paisaje como el río Nus y su llanura aluvial, la vía nacional y la vía del ferrocarril, en conjunto con coberturas de pastos con poca presencia de nodos de hábitat, representan alta resistencia al movimiento para las dos especies que aporta al aumento del costo de movilidad. Lo anterior da como resultado que se tengan dos componentes de conectividad, uno a cada lado del río, evidenciando que, a la luz de los resultados de la modelación, no hay conectividad entre ambos componentes.

La inclusión de los bosques de galería relacionados con la quebrada Guacas, quebrada Palestina y río Nus, ajustan el modelo de conectividad en cuanto su incorporación como nodos de modelación reflejan la importancia de estos elementos y complementan la red teórica de conectividad.

Con respecto a los corredores de menor costo, para el escenario actual (0SP) estos se concentran principalmente en sectores con mayor continuidad de cobertura natural, mientras que los incrementos en el costo acumulado dentro del área de estudio se asocian a la presencia de infraestructura vial existente, como la vía nacional y la vía férrea, así como a zonas fragmentadas del paisaje constituidas principalmente por áreas abiertas (potreros).

Con respecto a los corredores de menor costo, en el escenario con proyecto 2CPM, los incrementos en el costo acumulado continúan asociados de manera predominante a la

infraestructura vial existente y a las áreas fragmentadas del paisaje; adicionalmente, se identifican incrementos locales de resistencia vinculados a la infraestructura asociada a las obras del proyecto, tales como el depósito de estériles, la zona de tajo y las áreas de manejo de relaves (tailing). Este patrón indica una intensificación local de la resistencia al movimiento, sin modificar la distribución general de los principales corredores de menor costo definidos por la estructura del paisaje preexistente.

Con respecto a las zonas críticas o pinch points identificadas para el escenario actual (OSP), estas coinciden espacialmente con sectores próximos a la infraestructura vial existente, como la vía nacional y la vía férrea, así como con áreas fragmentadas del paisaje. En contraste, en sectores con mayor continuidad de cobertura natural, el flujo de corriente se distribuye de manera más difusa, lo que indica una mayor disponibilidad de rutas alternas de desplazamiento y, por tanto, una menor restricción al movimiento de las especies evaluadas.

Con respecto a las zonas críticas o pinch points identificadas para el escenario con proyecto (2CPM) se observa una mayor concentración del flujo de corriente en sectores específicos del área de estudio, lo cual evidencia un incremento en la restricción local del movimiento, asociado a una reducción en la disponibilidad de rutas alternativas y a una mayor dependencia de corredores específicos para el desplazamiento. Este patrón no implica una interrupción total de la conectividad funcional, pero sí un aumento en la vulnerabilidad del sistema ante perturbaciones adicionales, al concentrar el movimiento en un número reducido de rutas críticas.

Por otro lado, del análisis de resultados de los tres escenarios, se evidencia que los escenarios 1CPL y 2CPM generan una reducción de la conectividad funcional para *L. pardalis* y *O. leucopus* respecto al estado actual (OSP). Esta reducción se evidencia en la disminución del número de nodos, del área de nodos y del número de enlaces, lo que refleja una simplificación estructural de la red y una disminución de la conectividad a escala local.

El escenario 2CPM presenta una afectación relativamente menor en términos de área total de nodos frente al escenario 1CPL, lo que indica que el layout del proyecto del escenario 2CPM, al estar concebido como una optimización del proyecto licenciado (1CPL), permite atenuar parcialmente la pérdida de hábitat funcional dentro del área de estudio. No obstante, dicha optimización no revierte la pérdida de conectividad local respecto al estado actual, sino que reduce su magnitud en comparación con el escenario actualmente licenciado.

Aunque el número de enlaces es mayor en el escenario 1CPL que en 2CPM, esta diferencia no implica una mayor conectividad funcional en el escenario 1CPL. Por el contrario, la mayor cantidad de enlaces en 1CPL responde a un mayor grado de fragmentación del hábitat, que genera múltiples conexiones cortas entre parches de menor tamaño. En contraste, el escenario 2CPM presenta un menor número de enlaces asociado a una configuración espacial más compacta del proyecto y a la consolidación del hábitat funcional remanente dentro de la misma ventana espacial de análisis.

La disminución del costo total y de la distancia total de los enlaces en el escenario 2CPM respecto a 1CPL no debe interpretarse como una mejora de la conectividad funcional, sino como una consecuencia de la reducción en el número y en la extensión de los enlaces disponibles dentro del área de estudio. En este sentido, la red resultante es estructuralmente más simple. Sin embargo, el menor valor del promedio de la relación

costo/distancia observado en el escenario 2CPM indica que las rutas que permanecen funcionales atraviesan, en promedio, sectores del paisaje con menor resistencia al movimiento. Este resultado es coherente con una concentración espacial de la afectación y con la eliminación de rutas largas y más costosas, asociadas a la optimización del layout del proyecto en el escenario 2CPM.

En conjunto, las métricas analizadas indican que el escenario 2CPM concentra espacialmente la afectación sobre la conectividad funcional y atenúa la pérdida de hábitat respecto al escenario 1CPL, sin que ello implique una recuperación de la estructura ni del alcance espacial de la red de conectividad local frente al estado actual OSP.

Asimismo, con el fin de evidenciar los cambios en los resultados del análisis de la red topológica del área local se comparan los resultados de los índices globales de conectividad (IIC, PC y EC) y evidencian que, a escala del área de estudio local, ambos escenarios con proyecto (1CPL y 2CPM) generan una reducción de la conectividad funcional respecto al estado actual (OSP) para las especies evaluadas. Esta reducción es particularmente marcada en el escenario 1CPL, en el cual se observa una disminución de la conectividad estructural y funcional de la red.

El escenario 2CPM presenta una recuperación parcial de los índices IIC y PC frente al escenario licenciado, lo que indica que el layout optimizado del escenario 2CPM mejora la funcionalidad de la red de conectividad dentro de la misma ventana espacial de análisis. No obstante, para *L. pardalis*, los valores de conectividad equivalente (EC) permanecen por debajo del estado actual, lo que evidencia que la conectividad funcional global del sistema no se restablece completamente. En el caso de *O. leocopus*, el escenario 2CPM muestra una recuperación más cercana a la condición actual, particularmente en términos de conectividad equivalente, lo que sugiere una mayor resiliencia funcional asociada a sus menores requerimientos espaciales y a su capacidad de desplazamiento en por áreas con menor resistencia, lo anterior debido a sus hábitos de movilidad arborícola.

En conjunto, los resultados indican que el escenario 2CPM reduce la magnitud del impacto sobre la conectividad funcional en comparación con el escenario 1CPL, sin que ello implique una eliminación del impacto respecto al estado actual. La conectividad del paisaje se mantiene funcional dentro del área de estudio, pero con una capacidad reducida para especies de mayor movilidad.

El análisis integrado de la red topológica de conectividad, los corredores de menor costo y las zonas críticas para la conectividad evidencia que el área del proyecto se localiza en un sector funcionalmente estratégico del paisaje, donde convergen elementos estructurales y funcionales clave para el mantenimiento de la conectividad local. En este sector, los enlaces de la red, las rutas óptimas de desplazamiento y los puntos de concentración coinciden espacialmente, indicando que el movimiento de las especies se encuentra canalizado a través de trayectorias específicas.

BIBLIOGRAFÍA

Alba-Mejía L., C. D.-P. (2013). Spatiotemporal Interactions Among Three Neighboring Groups of Free-Ranging White-Footed Tamarins (*Saguinus leucopus*) in Colombia. *International Journal of Primatology* 34, 1281–1297.

Alonso F. Ana M., F. B. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus - Yacuambi, Ecuador. *Caldasia* 39(1), 140-156.

Amador-Alcalá S. A., A. J.-A.-V. (2022). Abundance and home range of ocelot (*Leopardus pardalis*) in northwestern Mexico. *Animal Biology*, 72(3), 227-243.

ANLA. (2016). *Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de explotación minera*. Obtenido de Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA-Términos de referencia: https://www.anla.gov.co/01_anla/documentos/normativa/terminos_referencia/resolucion_2206_tr_mineria_2016.pdf

ANLA. (2023). *Estandarización y jerarquización de impactos ambientales de proyectos licenciados por ANLA*. Bogotá, D.C.: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA.

Arias-Alzate A. (2017). Felinos en los ecosistemas andinos de Antioquia. Bosques Andinos, *Estado Actual y Retos Para Su Conservación En Antioquia*, 1(1), 295–314.

Arias-Alzate A., S. B.-C.-L. (2013). Presencia de felinos y evidencias de conflicto con humanos en tres regiones de Antioquia. En P. G. Castaño-Urbe, *Grandes Felinos de Colombia, Vol. I*. (págs. 145-154). Panthera Colombia, Fundación Herencia Ambiental Caribe, Conservación Internacional & Cat Specialist Group UICN/SSC.

Arías-Alzate, A. S.-L.-M. (2014). Depredación de *Saguinus leucopus* (mammalia: primates) sobre *Phyllomedusa venusta* (Anura: hylidae) en el departamento de Caldas-Colombia. *Revista mexicana de mastozoología nueva época*, 75-79.

Baguette M., V. D. (2007). Landscape connectivity and animal behavior: functional grain as a key determinant for dispersal. *Landscape Ecology Springer Science+Business*, 22:1117–1129.

Bandyopadhyay S., S. M. (2019). Evaluation of ecological restoration success in mining-degraded lands. *Environmental Quality Management*. 29, 1–12.

Bani, L. B. (2002). The Use of Focal Species in Designing a Habitat Network for a Lowland Area of Lombardy, Italy. *Conservation Biology*, 16, 826-831.

Barlow C.P., K. K. (2020). Evaluation of the Umbrella Species Concept at Fine Spatial Scales. *Journal Wildl. Manag.* 84, 237–248.

Benítez J. A., A. S.-M.-A. (2021a). Vías de comunicación terrestre vs. fauna: la experiencia global. En E.-S. G. Benítez Jorge A., *Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas: estudios de caso para el sureste de México* (págs. 62-87). México: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur).

- Benítez J., P.-V. A.-S. (2021b). Contaminación por ruido de fuentes fijas y móviles en el área de protección de flora y fauna Laguna de. En E.-S. G. Benítez Jorge A., *Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas. Estudios de caso para el sureste de México*. (pp.235-252). Mexico: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur).
- Bennie J., D. J.-C. (2015). Global Trends in Exposure to Light Pollution in Natural Terrestrial Ecosystems. *Remote Sensing*, 7(3), 2715-2730.
- Bertassoni A., M. G. (2017). Movement patterns and space use of the first giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*) monitored in São Paulo State, Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 52, 1, 68-74,
- Bertassoni, A. G. (2020). Space Use by Giant Anteaters (*Myrmecophaga tridactyla*) in a Protected Area Within Human-Modified Landscape. *Ecology and Evolution* 10, 7981–7994.
- Botero-Cañola S., J. D.-A. (2018). Felinos en los ecosistemas andinos de Antioquia. En B. A.-C. Quintero Vallejo E., *Bosques Andinos: estado actual y retos para su conservación en Antioquia* (págs. p. 295-314). Medellín, Colombia: Fundación Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe-Programa Bosques Andinos (COSUDE).
- Broucek J. (2014). Effect of noise on performance, stress, and behaviour of animals. *Slovak Journal of Animal Science*, 47, 111-123.
- Burt W. H. (1943). Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *Journal Mammal.*, 346–352.
- Carlisle J. D., C. A. (2018). Nontarget effects on songbirds from habitat manipulation for greater sage-grouse: implications for the umbrella species concept. *Condor* 120, 439–455.
- Caro T. M. (2010). *Conservation by Proxy: Indicator, Umbrella, Keystone, Flagship, and Other Surrogate Species*. Washington, DC, USA.: Island Press.
- CITES. (2025). *Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres: Apéndices I, II y III en vigor a partir del 7 de febrero de 2025*. Ginebra, Suiza.: Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres CITES.
- Clavijo A., R. G. (2009). Taxonomía, distribución y estado de conservación de los felinos suramericanos: Revisión monográfica. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 13(2), 43–60.
- Clevenger, A. J. (2002). GIS-generated, expert-based planning mitigation passages. *Conservation Biology* 16(2), 503–514.
- Cristescu B., S. G. (2016). Large Omnivore Movements in Response to Surface Mining and Mine Reclamation. *Scientific reports*, 6, 19177.
- Crooks K., & S. (2006). *Connectivity Conservation (Conservation Biology)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cruz-Rodríguez C., G.-M. J.-B.-M.-C. (2015). Ocelot *Leopardus pardalis* (Carnivora: Felidae) spatial ecology in a fragmented landscape of Colombia. *Revista Mexicana De Mastozoología (Nueva Época)*, 5(1), 17–24.
- Cruz-Rodríguez, C. N.-U.-R.-D.-C. (2020). Primates y deforestación en Colombia. En L. A. En: Moreno, Biodiversidad 2019. *Estado y tendencias de la biodiversidad continental de*

Colombia. (pág. 92p.). Bogotá, D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Cuartas-Calle C. A. (2004). *Distribución histórica y actual, uso de hábitat y estimación de estado de conservación de Saguinus leucopus (tití gris) en el área de jurisdicción de Corantioquia*. Medellín: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia Corantioquia.

Cuartas-Calle Carlos Arturo y Marín Cardona David. (2014). *Guía Ilustrada Mamíferos cañón del río Porce - Antioquia*. Medellín, Colombia: EPM E.S.P. Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia.

Defler T.R. (2010). *Historia Natural de Los Primates Colombianos*. Bogotá D.C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Departamento de Biología.

Defler TR, S. P. (2013). *Primates Colombianos en Peligro de Extinción*. Bogotá D.C., Colombia : Asociación Primatológica colombiana.

Dillon A., Kelly M.J. (2008). Ocelot home range, overlap and density: comparing radiotelemetry with camera trapping. *Journal of Zoology* 275, 391-398.

Duarte M., S.-L. R. (2015). The impact of noise from open-cast mining on Atlantic forest biophony. *Biological Conservation*, 191. 631.

Dueñas V. D., F. A.-Q. (2024). Análisis y estimación de la cobertura forestal de un área urbana. FIGEMPA: *Investigación y Desarrollo*, 18(2), 14-24.

Emmons L.H. (1988). A field study of ocelots (*Felis pardalis*) in Peru. *Revue d'Ecologie (Terre Vie)*, 43. 133-157.

Erbe C., D. M. (2022). The Effects of Noise on Animals. En T. J. Erbe Christine, *Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1 Methods* (pág. 517). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.

Foltête J.-C., V. G. (2021). Graphab: una aplicación para modelar y gestionar redes de hábitats ecológicos. *Software Impacts*. 8, 100065.

Foltête JC, C. C. (2012). Una herramienta de software dedicada al modelado de redes de paisajes. *Environmental Modelling & Software*, 38, 316-327.

Forman R. T. (1995a). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Forman R. T., A. L. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29, 207-231.

Forman R.T.T. (1995b). Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology* 10, 133–142.

Forman, R. T. (1981). Patches and structural components for a landscape ecology. *BioScience*, 31, Número 10, 733-740.

Garrote Germán, C. B. (2019). Estima de densidad de ocelotes (*Leopardus pardalis*) en los Llanos Orientales de Colombia. *Galemys, Spanish Journal of Mammalogy*. 31, 1-5.

GCL, Gramalote Colombia Limited. (2015). *Estudio de impacto ambiental. Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015 y la Resolución 0309 del 29 de marzo de 2016*. Expediente LAV0018-00-2015. San Roque, Colombia: Gramalote Colombia Limited.

GCL, Gramalote Colombia Limited. (2018). *Modificación de Licencia Ambiental del Proyecto Gramalote - proyecto de minería de oro a cielo abierto. Resolución 00782 del 08 de mayo de 2019*. San Roque, Colombia: Gramalote Colombia Limited.

Gómez Ruiz, D. & -A.-C.-C.-M. (2018). *Felinos. Estudio de las poblaciones de felinos en el norte de Antioquia. Estudio poblacional de Felinos (Carnivora: Felidae) en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico Ituango*. Medellín, Colombia: EPM;UdeA.

Hilty J., W. G. (2021). *Lineamientos para la conservación de la conectividad a través de redes y corredores ecológicos*. Gland, Suiza: Serie Directrices para buenas prácticas en áreas protegidas. No. 30. UICN.

IUCN. (2025). *The IUCN Red List of Threatened Species*. Obtenido de The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2025-1. <https://www.iucnredlist.org>.

JAXA. (2014). *ALOS PALSAR Radiometrically Terrain-Corrected (RTC) DEM*. Alaska Satellite Facility. Obtenido de www.earthdata.nasa.gov: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/projects/alos-palsar-rtc-project>

Jordán, F. B. (2003). Characterizing the importance of habitat patches and corridors in maintaining the landscape connectivity of a *Pholidoptera transsylvanica* (Orthoptera) metapopulation. *Landscape Ecology* 18, 83–92.

Kie J. G., M. J. (2010). The home-range concept: Are traditional estimators still relevant with modern telemetry technology? *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 365, 2221–2231.

Lambeck R. J. (1997). Focal Species: A Multi-Species Umbrella for Nature Conservation. *Conservation Biology*, 11, 849-856.

Lausch, A. B. (2015). Understanding and quantifying landscape structure—A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. *Ecological Modelling*, 295, 31-41.

Luna A. G., G.-M. Y. (2016). Behavior and ecology of the white-footed tama-rin (*Saguinus leucopus*) in a fragmented landscape of Colombia: small bodied primates and seed dispersal in Neotropi-cal forests. *Tropical Conservation Science*, 9, (2): 788-808.

MADS. (2018). *Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (MGEPEA)*. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/metodologia-general-pa>: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

MADS. (2024). Resolución 0126 del 6 febrero 2024. *Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marina costera que se encuentran en el territorio nacional*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Mancera K, M. P. (2017). The effects of acute exposure to mining machinery noise on the behaviour of eastern blue-tongued lizards (*Tiliqua scincoides*). *Animal Welfare* 26(1), 11-24.

- Matlack, G.R. (1993). Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States. *Biol. Conserv.* 66, 185-194.
- McRae B. H. (2014). *Linkage Mapper User Guide*. Washington, USA. The Nature Conservancy.
- McRae BH, K. D. (2011). *Linkage Mapper Connectivity Analysis Software*. Obtenido de The Nature Conservancy, Seattle, WA. <https://linkagemapper.org>.
- McRae BH. (2012). *Pinchpoint Mapper Connectivity Analysis Software*. Obtenido de The Nature Conservancy, Seattle, WA.: <https://linkagemapper.org>
- Merriam G. (1984). Connectivity: a fundamental ecological characteristic of landscape pattern. En J. B. (eds.), *Proceedings of the 1st International Seminar on Methodology in Landscape Ecological Research and Planning*. (pág. Pp. 515). Roskilde, Denmark: Roskilde University.
- Minor Emily, U. D. (2008). A graph-theory framework for evaluating landscape connectivity and conservation planning. *Conservation biology*, 22, 297-307.
- Moreno R., R. K.-W.-R. (2012). Ámbito de Hogar y Actividad Circadiana del Ocelote (*Leopardus pardalis*) en la Isla de Barro Colorado, Panamá. *Mesoamericana*, 16(3), 30–39.
- Mosquera-Guerra F., T. H.-M.-F.-L.-O.-V.-T. (2020). *Felinos*. Bogotá D.C., Colombia: Fundación Omacha & Project Design Development Colombia, 172 pp.
- Murcia C. (1995). Edge Effects in Fragmented Forests: Implications for Conservation. *Trends in ecology and evolution*. 10, 58-62.
- Murray J. L., G. G. (1997). *Leopardus pardalis*. *Mammalian Species*, 548: 1-10.
- Olivares, B. O.-B. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. Cuadernos de Investigación UNED, 11(2), 112-121.
- Padilla-Rivera O., M. E. (2020). Densidad poblacional del tigrillo (*Leopardus pardalis*) en el valle del Cerrejón, La Guajira, Colombia. *Mammalogy Notes*, 5(1-2), 10-15.
- Paviolo, A. C.-G. (2015). The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T11509A97212355. Obtenido de *Leopardus pardalis* (errata version published in 2016): <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T11509A50653476.en>.
- Payán Garrido E., S. V. (2012). *Los Felinos de Colombia*. Bogotá, D. C., Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Panthera Colombia.
- Peña-Becerril, J. C.-A.-S.-A. (2005). Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. TIP. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas* 8(2), 91-98.
- Pinzón Zuly V., C. A.-P. (2013). Caracterización del hábitat de tres grupos de tití gris (*Saguinus leucopus*) en un paisaje transformado por actividades agropecuarias en Victoria, Caldas. En P. S.-C. Thomas Defler, *Primates Colombianos en Peligro de Extinción* (págs. 155-163). Bogotá, Colombia: Asociación Primatológica Colombiana.

- Poveda K. & Sánchez P. (2004). Habitat use by the white-footed tamarin, *Saguinus leucopus*: a comparison between a forest-dwelling group and an urban group in Mariquita, Colombia. *Neotropical Primates*, 12(1), 6-9.
- Poveda K., Sánchez P. (2004). Habitat use by the white-footed tamarin, *Saguinus leucopus*: a comparison between a forest-dwelling group and an urban group in Mariquita, Colombia. *Neotropical Primates*, 12(1), 6–9.
- Roberge J., A. P. (2004). Usefulness of the Umbrella Species Concept as a Conservation Tool. *Conservation Biology*, 18, 76-85.
- Roncancio N, R. W. (2011). Densidad poblacional de *Saguinus leucopus* en remanentes de bosque con diferentes características físicas y biológicas. *Mastozool. Neotrop.* 18: 105–117.
- Roncancio-Duque NJ, R.-D. V.-F.-P.-C. (2012). *Plan de conservación y manejo del tití gris (Saguinus leucopus)*. Pereira, Colombia.: Carder - Corpocaldas.
- Rouse J. H. (1973). Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. USA: 3rd *ERST Symposium*, NASA, 1.
- Sahraoui Yohan, F. J.-C. (2017). A multi-species approach for assessing the impact of land-cover changes on landscape connectivity. *Landscape Ecology* 32(9), 1819-1835.
- Sánchez-Londoño Juan D., S. M. (2013). Densidad, uso de hábitat y estado de conservación de una población de *Saguinus leucopus* en un bosque premontano de Colombia. En S. M.-C. Thomas Defler P.R., *Primates Colombianos en Peligro de Extinción* (págs. 155-163). Bogotá D.C. Asociación Primatológica Colombiana.
- Saura S., P.-H. L. (2007). A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* 83(23), 91-103.
- Saura S., R. L. (2010). A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33(3), 523-537.
- Seewagen C., N.-G. J. (2023). Far-reaching displacement effects of artificial light at night in a North American bat community. *Global Ecology and Conservation* 48, 10.1101.
- Shanmukha N.T., V. M. (2024). Biodiversity loss due to mining activities. En A. K. Rathoure, *Impact of societal development and infrastructure on biodiversity decline*. (págs. pp 166–191). Davangere, India: IGI Global Scientific Publishing.
- Shannon G., M. M. (2016). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 91(4), 982–1005.
- Shier D. M., B. A. (2020). Effects of artificial light at night on the foraging behavior of an endangered nocturnal mammal. *Environmental pollution* (Barking, Essex: 1987), 263(Pt A), 114566.
- Smith M., G. M. (2023). *Geospatial analysis - a comprehensive guide to principles, techniques and software tools*. Chichester, UK: 6. Ed. Prof Paul A Longley & Associates.
- Sonter L.J., A. S. (2018). Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science. *Proceedings Royal Society B*, 285(1892), 20181926.

- Stattersfield, A. J. (1998). *Endemic bird areas of the world: priorities for biodiversity conservation*. London, England. Birdlife International.
- Su X.K., L. S. (2015). Effects of potential mining activities on migration corridors of chiru (*Pantholops hodgsonii*) in the altun National Nature Reserve, China. *J. Nat. Conserv.* 28., 119–126.
- Sunquist M.E., Sunquist F. (2002). *Wild cats of the world*. Chicago, Illinois: University of Chicago Press.
- Taylor P. D., L. F. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68, 571–573.
- Taylor P.D., F. L. (2006). Landscape connectivity: a return to the basics. In: Crooks KR, Sanjayan M (eds) *Connectivity conservation*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, pp 29–43.
- Timsina, S. H.-P. (2022). Tropical surface gold mining: A review of ecological impacts and restoration strategies. *Land Degradation & Development*, 33(18), 3661–36.
- Van Toor M.L., K. B. (2018). Integrating animal movement with habitat suitability for estimating dynamic migratory connectivity. *Landscape Ecol* 33, 879–893.
- Wickham J., W. P. (2013). The Overlooked Terrestrial Impacts of Mountaintop Mining. *BioScience* 63, 335–348.
- Wilcox, B. (1984). In Situ Conservation of Genetic Resources: Determinants of Minimum Area Requirements. *National Parks, Conservation and Development, Proceedings of the World Congress on National Parks*, J.A. McNeely and K.R. Miller, Smithsonian Institution Press. Pp. 18–30.
- Willems, J. S. (2022). Artificial light at night and anthropogenic noise alter the foraging activity and structure of vertebrate communities. *The Science of the total environment*, 805, 150223.
- WWF. (2025). [wwf.org.co](https://www.wwf.org.co/?330510/Glosario-ambiental-Que-son-las-especies-sombrilla). Obtenido de <https://www.wwf.org.co/?330510/Glosario-ambiental-Que-son-las-especies-sombrilla>
- Zhuo Y., X. W. (2022). The effect of mining and road development on habitat fragmentation and connectivity of khulan (*Equus hemionus*) in Northwestern China. *Biol. Conserv.* 275, 109770.