



CENEPRED

Centro Nacional de Estimación, Prevención y
Reducción del Riesgo de Desastres

ESCENARIO DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Noviembre 2023

<https://www.gob.pe/cenepred>

ESCENARIO DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Elaborado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

Dirección de Gestión de Procesos. Subdirección de Gestión de la Información. CENEPRED, 2023.

Av. Del Parque Norte N° 313 - 319. San Isidro - Lima – Perú

Teléfono: 2013-550, correo electrónico: info@cenepred.gob.pe

Página web: <https://www.gob.pe/cenepred>

Equipo Técnico del CENEPRED:

Sr. Miguel Yamasaki Koizumi
Jefe del CENEPRED

Ing. Juan Carlos Montero Chirito
Director de la Dirección de Gestión de Procesos

Ing. Alfredo Zambrano Gonzales
Subdirector de Gestión de la Información

Geog. Vladimir Cuisano Marreros
Especialista en Análisis Territorial

Elaborado por:
Ing. (M.Sc.) Edwin Noé Badillo Rivera
Consultor

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCION | 6 |
| CAPITULO I - ASPECTOS GENERALES | 7 |
| 1.1 Objetivo general..... | 7 |
| 1.2 Objetivos específicos | 7 |
| 1.3 Finalidad | 7 |
| 1.4 Alcances | 7 |
| 1.5 Marco normativo | 7 |
| CAPÍTULO II – SITUACIÓN GENERAL | 9 |
| 2.1 Ubicación geográfica y política | 9 |
| 2.2 Climatología..... | 9 |
| 2.3 Aspectos sociales e infraestructura | 13 |
| 2.3.1 Población | 13 |
| 2.3.2 Vivienda | 13 |
| 2.3.3 Infraestructura | 14 |
| 2.3.3.1 Vías de comunicación | 14 |
| 2.3.3.2 Aeropuertos | 14 |
| 2.3.3.3 Instituciones educativas y establecimientos de salud | 15 |
| 2.3.3.4 Recursos de respuesta a emergencias | 15 |
| 2.3.5 Área e infraestructura agrícola | 15 |
| 2.4 Fenomenología del territorio..... | 16 |
| CAPITULO III – METODOLOGÍA | 19 |
| 3.1 Determinación del peligro | 19 |
| 3.1.1 Susceptibilidad de movimientos en masa | 19 |
| 3.1.1.1 Método heurístico..... | 19 |
| 3.1.1.2 Susceptibilidad por movimientos en masa | 19 |
| 3.1.2 Metodología para determinar el factor desencadenante y peligro por movimientos en masa | 21 |
| 3.1.3 Equipos, softwares | 22 |
| 3.1.4 Información usada | 23 |
| 3.1.4.1 Escala de la información | 23 |
| a. Pendiente..... | 23 |
| b. Litología..... | 25 |
| c. Geomorfología | 27 |
| d. Hidrogeología..... | 29 |
| e. Cobertura vegetal y deforestación | 31 |
| f. Factor desencadenante | 34 |
| g. Inventario de fenómenos de movimientos en masa | 37 |
| 3.2 Análisis de los elementos expuestos | 39 |
| 3.3 Determinación de los escenarios de riesgo | 43 |
| 3.3.1 Escenario de Riesgo 1 | 43 |
| 3.2 Escenario de Riesgo 2..... | 44 |
| CAPÍTULO IV – RESULTADOS Y DISCUSIONES | 46 |
| 4.1 Susceptibilidad por movimientos en masa..... | 46 |
| 4.2 Peligro por movimientos en masa a escala departamental | 48 |
| 4.2.1 Escenario 1 (E-1) – Fenómeno El Niño | 48 |
| 4.2.2 Escenario 2 (E-2) – Precipitaciones máxima diarias bajo el P99 | 52 |
| 4.3 Análisis de los elementos expuestos | 56 |
| 4.3.1 Centros Poblados | 56 |

| | |
|--|----|
| 4.3.2 Distritos | 57 |
| 4.4 Riesgo por movimientos en masa a nivel departamental | 59 |
| 4.4.1 Escenario de Riesgo – 1 | 59 |
| 4.4.1.1 Centros Poblados | 59 |
| 4.4.1.2 Distritos | 61 |
| 4.4.1.3 Otros elementos expuestos | 63 |
| 4.4.2 Escenario de Riesgo – 2 | 66 |
| 4.4.2.1 Centros Poblados | 66 |
| 4.4.2.2 Distritos | 68 |
| 4.4.2.3 Otros elementos expuestos | 69 |
| CAPÍTULO V – CONCLUSIONES | 73 |
| CAPÍTULO VI – RECOMENDACIONES | 76 |
| VII. BIBLIOGRAFÍA | 78 |
| VIII. ANEXOS | 79 |
| 8.1 Nivel de exposición por centro poblado | 79 |
| 8.2 Nivel de exposición por distrito | 79 |
| 8.3 Exposición otros elementos expuestos | 79 |
| 8.4 Niveles de peligro de centros poblados por Escenario-1 y Escenario-2 | 79 |
| 8.5 Niveles de peligro de distritos por Escenario-1 | 79 |
| 8.6 Niveles de peligro de distritos por Escenario-2 | 79 |
| 8.7 Comparación entre número de distritos bajo diferentes niveles de peligro | 79 |
| 8.8 Comparación entre la superficie (km ²) expuestos a los diferentes niveles de peligro | 80 |
| 8.9 Gráfico de bigotes | 81 |
| 8.10 Niveles de riesgo | 82 |
| 8.10.1 Centro poblado | 82 |
| 8.10.2 Distritos | 82 |
| 8.10.3 Establecimiento de salud | 82 |
| 8.10.4 Instituciones educativas | 82 |
| 8.10.5 Otras infraestructuras, Escenario de Riesgo-1 y 2 | 82 |
| 8.10.6 Recursos de respuesta a emergencia | 82 |
| 8.10.7 Aeródromos | 82 |
| 8.10.8 Red Vial | 83 |
| 8.10.9 Canal de Riego | 83 |
| 8.10.10 Cobertura agrícola | 83 |
| 8.11 Gráficos comparativos de cantidad de elementos expuestos bajo los Escenarios de Riesgo-1 y Escenario de Riesgo-2 - Nivel de Riesgo Muy Alto | 84 |
| 8.12 Gráficos comparativos de cantidad de elementos expuestos bajo los Escenarios de Riesgo-1 y Escenario de Riesgo-2 - Nivel de Riesgo Alto | 85 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Provincias del departamento de San Martín | 9 |
| Tabla 2. Clasificación Climática del departamento de San Martín | 11 |
| Tabla 3. Viviendas particulares con ocupantes presentes | 13 |
| Tabla 4. Longitud de vías | 14 |
| Tabla 5. Puentes, pontón y túnel | 14 |
| Tabla 6. Aeropuertos del departamento de San Martín | 14 |
| Tabla 7. Instituciones educativas | 15 |
| Tabla 8. Establecimientos de salud | 15 |

| | |
|---|----|
| Tabla 9. Recursos de respuesta a emergencia. | 15 |
| Tabla 10. Área e infraestructura agrícola. | 16 |
| Tabla 11. Reporte de emergencias por fenómenos de origen natural en San Martín. | 17 |
| Tabla 12. Factor desencadenante para determinar el peligro por movimientos en masa. | 21 |
| Tabla 13. Equipos y software usados en el estudio. | 22 |
| Tabla 14. Información usada en el estudio. | 23 |
| Tabla 15. Rango de pendiente y susceptibilidad a movimientos en masa. | 24 |
| Tabla 16. Unidades litológicas y susceptibilidad a movimientos en masa. | 25 |
| Tabla 17. Unidades geomorfológicas y susceptibilidad a movimientos en masa. | 27 |
| Tabla 18. Unidades hidrogeológicas y susceptibilidad a movimientos en masa. | 29 |
| Tabla 19. Unidades de cobertura vegetal/deforestación y susceptibilidad a movimientos en masa. | 31 |
| Tabla 20. Factor desencadenante y peso asignado a cada rango de anomalía para el Escenario- 1. | 34 |
| Tabla 21. Factor desencadenante y peso asignado a cada rango de anomalía para el Escenario- 2. | 34 |
| Tabla 22. Niveles de exposición de centros poblados y distritos. | 40 |
| Tabla 23. Tabla resumen de elementos expuestos. | 41 |
| Tabla 24. Niveles de Riesgo, Escenario 1. | 43 |
| Tabla 25. Nivel de Riesgo para el elemento expuesto distritos. | 43 |
| Tabla 26. Niveles de Riesgo, Escenario 2. | 44 |
| Tabla 27. Nivel de Riesgo para el elemento expuesto distritos. | 44 |
| Tabla 28. Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa por factores condicionantes. | 46 |
| Tabla 29. Niveles de peligro por movimientos en masa a escala departamental. | 48 |
| Tabla 30. Superficie expuesta al peligro por movimientos en masa en el departamento de San Martín. | 48 |
| Tabla 31. Número de distritos por niveles de peligro a nivel de provincia. | 50 |
| Tabla 32. Niveles de peligro por movimientos en masa a escala departamental. | 52 |
| Tabla 33. Superficie expuesta al peligro por movimientos en masa en el departamento de San Martín. | 52 |
| Tabla 34. Número de distritos por niveles de exposición a nivel de provincia. | 54 |
| Tabla 35. Nivel de exposición de centros poblados a nivel provincial. | 56 |
| Tabla 36. Nivel de exposición a nivel provincial. | 57 |
| Tabla 37. Escenario de Riesgo – 1 para los centros poblados en el nivel “Muy Alto” de riesgo. | 61 |
| Tabla 38. Escenario de Riesgo – 1 para los centros poblados en el nivel “Alto” de riesgo. | 61 |
| Tabla 39. Escenario de Riesgo – 1 para los distritos en el nivel “Muy Alto” de riesgo. | 63 |
| Tabla 40. Escenario de Riesgo – 1 para los distritos en el nivel “Alto” de riesgo. | 63 |
| Tabla 41. Nivel de riesgo “Muy Alto” de otros elementos expuestos al Escenario de Riesgo – 1 a nivel provincial. | 65 |
| Tabla 42. Nivel de riesgo “Alto” de otros elementos expuestos al Escenario de Riesgo – 1 a nivel provincial. | 65 |
| Tabla 43. Escenario de Riesgo – 2 para los centros poblados en el nivel “Muy Alto” de riesgo. | 67 |
| Tabla 44. Escenario de Riesgo – 2 para los centros poblados en el nivel “Alto” de riesgo. | 67 |
| Tabla 45. Escenario de Riesgo – 2 para los distritos en el nivel “Muy Alto” de riesgo. | 69 |
| Tabla 46. Escenario de Riesgo – 2 para los distritos en el nivel “Alto” de riesgo. | 69 |
| Tabla 47. Nivel de riesgo “Muy Alto” de otros elementos expuestos al Escenario de Riesgo – 2 a nivel provincial. | 71 |
| Tabla 48. Nivel de riesgo “Alto” de los elementos expuestos al Escenario de Riesgo – 2 a nivel provincial. | 71 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Población en el departamento de San Martín. | 13 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Gráfico 2. “a” gráfico de calor normalizado y “b” serie de tiempo de emergencias mensuales registradas, 2003-2022..... | 18 |
| Gráfico 3. Flujograma de la susceptibilidad por movimientos en masa..... | 20 |
| Gráfico 4. Flujograma del modelo de susceptibilidad por movimientos en masa..... | 22 |
| Gráfico 5. Flujograma de evaluación de elementos expuestos..... | 40 |
| Gráfico 6. Flujograma de evaluación de escenarios de riesgo..... | 45 |
| Gráfico 7. Valor de AUC del mapa de susceptibilidad por movimientos en masa..... | 46 |
| Gráfico 8. Niveles de peligro por movimientos en masa para el Escenario-1..... | 48 |
| Gráfico 9. Niveles de peligro a nivel provincial..... | 50 |
| Gráfico 10. Niveles de peligro por movimientos en masa para el Escenario-2..... | 52 |
| Gráfico 11. Niveles de peligro por distrito a nivel provincial..... | 54 |
| Gráfico 12. Nivel de exposición de centros poblados por provincia..... | 56 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Clasificación Climática de Thornthwaite..... | 12 |
| Figura 2. Mapa de pendiente en el departamento de San Martín..... | 24 |
| Figura 3. Mapa de unidades litológicas en el departamento de San Martín..... | 26 |
| Figura 4. Mapa de unidades geomorfológicas en el departamento de San Martín..... | 28 |
| Figura 5. Mapa de unidades hidrogeológicas en el departamento de San Martín..... | 30 |
| Figura 6. Mapa de cobertura vegetal y deforestación en el departamento de San Martín..... | 33 |
| Figura 7. Mapa de anomalía de precipitación en eventos de El Niño (EFMA) en el departamento de San Martín..... | 35 |
| Figura 8. Mapa de precipitación máxima diaria bajo el percentil 99 (P99) para en el departamento de San Martín..... | 36 |
| Figura 9. Mapa de inventario de movimientos en masa en el departamento de San Martín..... | 38 |
| Figura 10. Otros elementos expuestos del departamento de San Martín..... | 42 |
| Figura 11. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa para San Martín..... | 47 |
| Figura 12. Mapa de peligro por movimientos en masa para San Martín para el E-1..... | 49 |
| Figura 13. Mapa de peligro por movimientos en masa a nivel distrital..... | 51 |
| Figura 14. Mapa de peligro por movimientos en masa para San Martín para el E-2..... | 53 |
| Figura 15. Mapa de peligro por movimientos en masa a nivel distrital para el Escenario-2..... | 55 |
| Figura 16. Mapa de niveles de exposición de los centros poblados..... | 57 |
| Figura 17. Nivel de exposición a nivel distrital..... | 58 |
| Figura 18. Nivel de Riesgo de los centros poblados para el Escenario-1..... | 60 |
| Figura 19. Nivel de Riesgo de los distritos para el Escenario-1..... | 62 |
| Figura 20. Nivel de Riesgo de otros elementos expuestos para el Escenario-1..... | 64 |
| Figura 21. Nivel de Riesgo de los centros poblados para el Escenario-2..... | 66 |
| Figura 22. Nivel de Riesgo de los distritos para el Escenario-2..... | 68 |
| Figura 23. Nivel de Riesgo de otros elementos expuestos para el Escenario-2..... | 70 |

INTRODUCCION

El Centro de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre – CENEPRED, en el marco de sus funciones elaboró el presente informe de escenario de riesgo por movimientos en masa para el departamento de San Martín usando como base información derivada de instituciones técnicas científicas como INGEMMET, SENAMHI, entre otros. El objetivo principal de este informe es zonificar las zonas más probables de peligro por movimiento en masa desencadenado por el Fenómeno El Niño (Escenario de Peligro-1), o por lluvias intensas bajo el percentil 99 (Escenario de Peligro-2), así como, la determinación del riesgo de los elementos expuestos del territorio (centros poblados, viviendas, establecimientos de salud, instituciones educativas, infraestructuras de transporte y agrícola).

El informe está dirigido a tomadores de decisiones de los tres niveles de gobierno, específicamente al Gobierno Regional de San Martín y direcciones regionales de salud, educación, transporte, agricultura, además de gobiernos locales y a entidades públicas y privadas que se encuentren involucradas, directa o indirectamente, con la finalidad de planificar y asignar recursos, en el marco de sus competencias, relacionados a los procesos de la gestión del riesgo de desastre.

En el Capítulo I se define brevemente las generalidades del estudio, como los objetivos, finalidad, antecedente, alcances y marco normativo. En el Capítulo II, se presenta la ubicación del área de estudio, los aspectos sociales y de infraestructura y fenomenología del territorio de estudio.

En el Capítulo III, se presenta la metodología para determinar el peligro. Este capítulo incluye la metodología para analizar y zonificar la susceptibilidad por movimientos en masa a nivel departamental. También incluye la metodología para determinar el factor desencadenante y la estimación del peligro. En el Capítulo IV se muestra la metodología para determinar los elementos expuestos al peligro por movimientos en masa a nivel departamental. Además, en el Capítulo V se presenta la metodología para determinar los escenarios de riesgo por movimientos en masa a nivel departamental.

En el Capítulo VI, se muestra los resultados y discusión de estos. Como resultado de este tercer entregable, se zonificó la susceptibilidad por movimientos en masa de factores condicionantes, además, se realizó la determinación del peligro bajo el escenario de Fenómeno de El Niño Global o Costero (Escenario-1) y bajo el escenario de precipitaciones máxima bajo percentil 99 (Escenario-2). También se presenta el análisis de los elementos expuestos a nivel departamental, por último, se presenta los resultados de los niveles de riesgo para cada escenario analizado.

En los Capítulos VII, VIII, IX y X se presentan las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos de este estudio.

CAPITULO I - ASPECTOS GENERALES

1.1 Objetivo general

Elaborar el Escenario de Riesgo – 1 por Fenómeno El Niño y el Escenario de Riesgo – 2 Lluvias intensas P99 por movimientos en masa para el departamento de San Martín.

1.2 Objetivos específicos

Los escenarios de riesgo tienen los siguientes objetivos específicos:

- Zonificar la susceptibilidad y peligro relacionado a movimientos en masa en el departamento de San Martín.
- Analizar los elementos expuestos al peligro por movimientos en masa en el departamento de San Martín.
- Determinar el escenario de riesgo por movimientos en masa en el departamento de San Martín.

1.3 Finalidad

Este estudio tiene por finalidad identificar los niveles de riesgo ante fenómenos de movimientos en masa en el departamento de San Martín, a fin de que los profesionales de los gobiernos locales y regionales cuenten con un instrumento técnico para la focalización de sus intervenciones.

1.4 Alcances

El presente informe está dirigido a tomadores de decisiones de los tres niveles de gobierno, específicamente al Gobierno Regional de San Martín y direcciones regionales de salud, educación, transporte, agricultura, además de gobiernos locales y a entidades públicas y privadas que se encuentren involucradas, directa o indirectamente, con la finalidad de planificar y asignar recursos, en el marco de sus competencias, relacionados a los procesos de la gestión del riesgo de desastre.

1.5 Marco normativo

Nacional

- Ley N°29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres (SINAGERD).
- Decreto Supremo N°048-2011-PCM, que aprueba el Reglamento de la Ley N°29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre (SINAGERD).
- Ley N°30779, Ley que dispone medidas para el Fortalecimiento del Sistema Nacional de Gestión del Riesgos de Desastres (SINAGERD).

- Decreto Supremo N°038-2021-PCM, que apruebe la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres al 2050.
- Resolución Ministerial N°334-012-PCM: Aprueban “Lineamientos Técnicos del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastre”.
- Resolución Ministerial N°147-2016-PCM, Aprobación de los “Lineamientos para la implementación del proceso de Reconstrucción”.
- Resolución Ministerial N°046-2013-PCM: Aprueban directiva “Lineamientos que definen el marco de responsabilidades en gestión del riesgo de desastres de las entidades del estado en los tres niveles de gobierno” y su anexo.

CAPÍTULO II – SITUACIÓN GENERAL

2.1 Ubicación geográfica y política

El departamento de San Martín se localiza en el sector septentrional y central del territorio peruano, colindante con la cordillera andina por su flanco oriental, morfológicamente se emplaza mayoritariamente sobre territorios de selva alta y bosque tropical amazónico; sin embargo, por el oeste, algunos sectores de su límite jurisdiccional llegan al borde oriental de la alta meseta andina. Geográficamente se ubica entre los paralelos 5° 24' 00" y 8° 47' 00" de latitud sur y 75° 27' 45" y 77° 48' 00" de longitud oeste (Nuñez et al., 2010), presentan altitudes entre los 130m snm y los 4460 m snm y una superficie aproximada de 51014.04 km².

El departamento de San Martín limita por el norte con el departamento de Amazonas, por el este con Loreto, al sur con Huánuco y al oeste con el departamento de La Libertad. Políticamente el departamento de San Martín cuenta con 10 provincias: Moyobamba, San Martín, Bellavista, El Dorado, Huallaga, Lamas, Mariscal Cáceres, Picota, Rioja y Tocache, además, existen 78 distritos.

Tabla 1. Provincias del departamento de San Martín.

| Provincia | Capital | Población (2017) | Área (km ²) |
|------------------|------------------|------------------|-------------------------|
| Bellavista | Bellavista | 55033 | 8049.53 |
| El Dorado | San José de Sisa | 36752 | 1293.12 |
| Huallaga | Saposoa | 27506 | 2417.31 |
| Lamas | Lamas | 81521 | 4741.95 |
| Mariscal Cáceres | Juanjui | 64626 | 14263.19 |
| Moyobamba | Moyobamba | 122365 | 3923.38 |
| Picota | Picota | 40545 | 2107.59 |
| Rioja | Rioja | 122544 | 2652.44 |
| San Martín | Tarapoto | 193095 | 5538.82 |
| Tocache | Tocache | 69394 | 6026.73 |
| Total | | 813381 | 51014.04 |

INEI, 2017.

2.2 Climatología

Según el método de clasificación climática de Warren Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el departamento de San Martín presenta siete (7) tipos de clasificaciones climáticas en donde predominan el clima lluvioso, con humedad abundante en todas las estaciones del año y regímenes térmicos entre cálido y templado, a continuación, se describe brevemente cada uno de las clases de clima propuesto por SENAMHI, (2020), ver Tabla 2.

Muy lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Cálido. A (r) A'

Esta región presenta durante el año, en promedio, temperaturas máximas de 31°C a 33°C; mientras que, las temperaturas mínimas oscilan entre 21°C a 25°C en norte. Asimismo, los acumulados anuales de lluvia se encuentran entre los 2100 mm y los 5000 mm.

Muy lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado. A (r) B'

Esta región presenta durante el año, en promedio, temperaturas máximas de 27°C a 29°C; mientras que, las temperaturas mínimas se encuentran en el rango de 17°C a 21°C. Asimismo, los acumulados anuales de lluvias alcanzan entre los 2000 y los 3500 mm.

Muy lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Frío. A (r) C'

Esta región presenta durante el año, en promedio, temperaturas máximas de 17°C a 21°; por su parte, las temperaturas mínimas de varían de 3°C a 7°C. Los acumulados anuales de precipitación en esta región varían de 1200 mm a 1800 mm aproximadamente.

Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Cálido. B (r) A'

Esta región presenta durante el año, en promedio, temperaturas máximas de 29°C a 31°C; mientras que, las temperaturas mínimas varían de 21°C a 23°C. Además, se registra acumulados anuales de lluvias de 2000 mm a 3500 mm aproximadamente.

Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado. B (r) B'

Esta región presenta durante el año, en promedio, temperaturas máximas de 25°C a 29°C de y temperaturas mínimas de 11°C a 17°C. Los acumulados anuales de lluvias en esta zona puede variar desde los 1200 mm hasta los 3000 mm aproximadamente.

Lluvioso con otoño e invierno secos. Templado. B (o , i) B'

Esta región presenta durante el año, en promedio, temperaturas máximas de 19°C a 23°; mientras que, las temperaturas mínimas varían entre los 3°C y 7°C. Por su parte, los acumulados anuales de precipitación varían desde los 700 mm hasta los 1500 mm aproximadamente.

Semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año. Cálido. C (r) A'

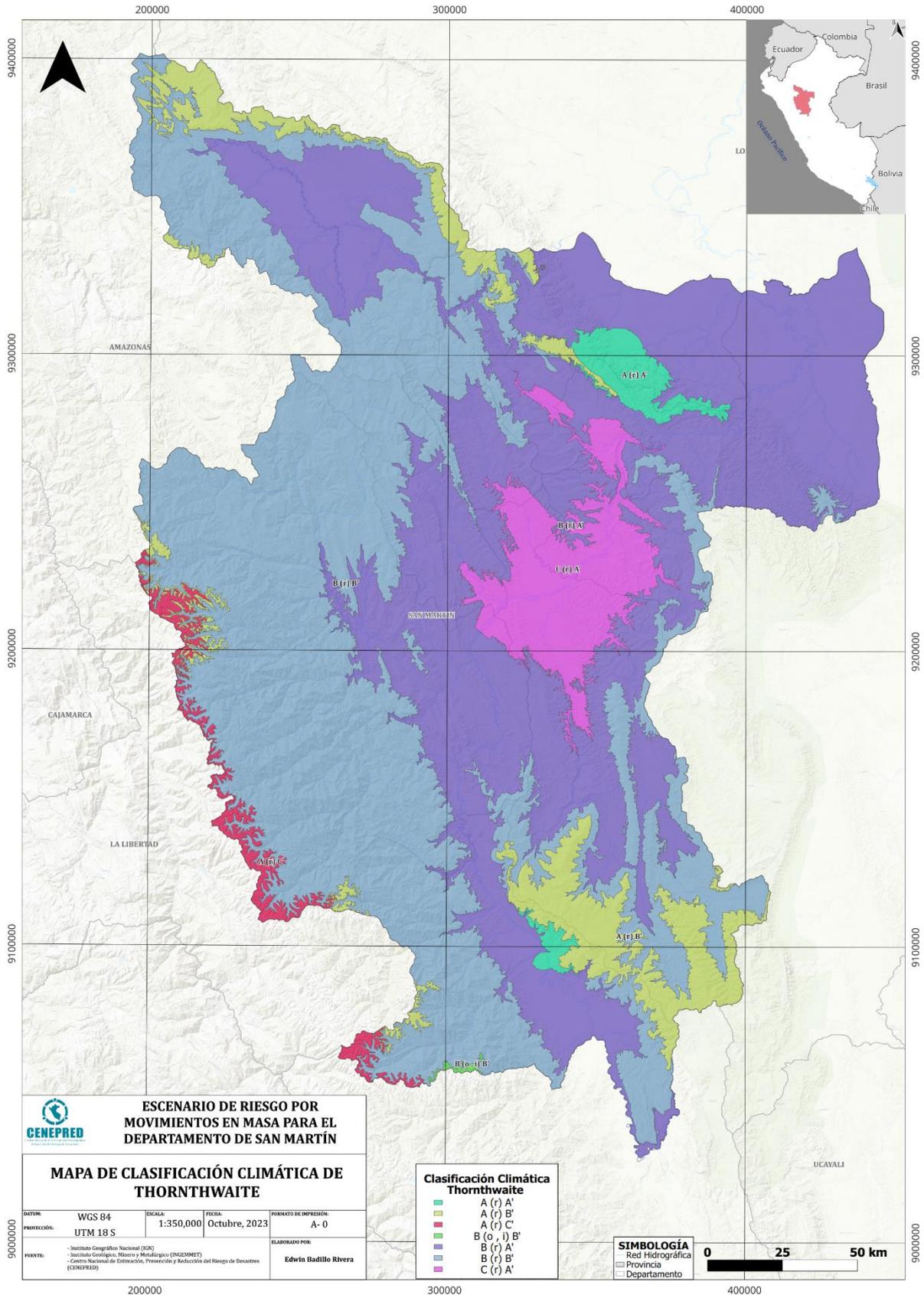
Esta región presenta durante el año, en promedio, temperaturas máximas de 29°C a 33°C y temperaturas mínimas de 19°C a 23°C. Asimismo, los acumulados anuales de lluvias pueden variar entre los 900 mm y 1200 mm aproximadamente.

Tabla 2. Clasificación Climática del departamento de San Martín.

| Código | Descripción | Imagen |
|--------------|--|--|
| A (r) A' | Muy lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Cálido. |  |
| A (r) B' | Muy lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año |  |
| A (r) C' | Muy lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Frío. |  |
| B (r) A' | Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Cálido. |  |
| B (r) B' | Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado. |  |
| B (o , i) B' | Lluvioso con otoño e invierno secos. Templado |  |
| C (r) A' | Semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año. Cálido. |  |

SENAMHI (2020).

Figura 1. Clasificación Climática de Thornthwaite.



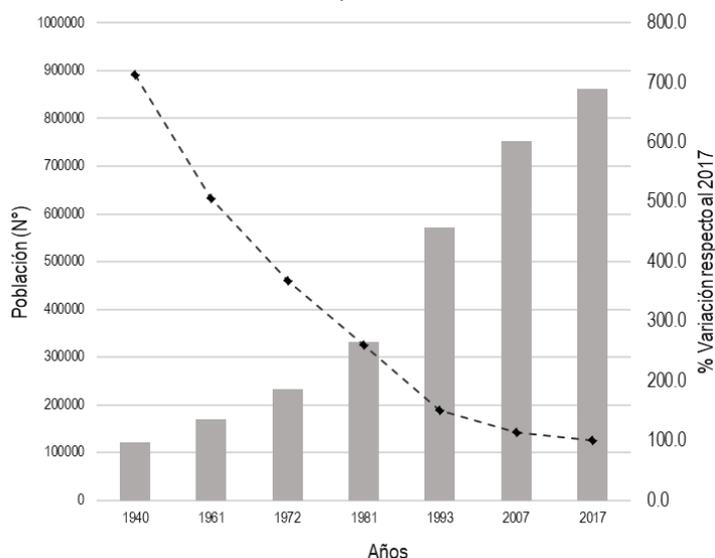
Fuente: SENAMHI.

2.3 Aspectos sociales e infraestructura

2.3.1 Población

El departamento de San Martín existen 862459 habitantes según el último censo nacional (INEI, 2018) de los cuales 51.3% son hombres y el 48.7% son mujeres. Desde 1940 se ha evidenciado un aumento de hasta 7 veces en términos de número de habitantes en San Martín en 77 años.

Gráfico 1. Población en el departamento de San Martín.



Fuente: INEI

Por otro lado, en el censo del año 2017 existían 134 comunidades nativas y 4 pueblos indígenas u originarios censados.

2.3.2 Vivienda

Según el Gobierno Regional de San Martín, en el departamento de San Martín existen 258005 viviendas, de los cuales el aproximadamente el 66% (141720) son urbanas y lo restante 34% son rurales (82319), además, existen 2035 viviendas desocupadas.

Tabla 3. Viviendas particulares con ocupantes presentes.

| Tipo | Material Predominante de las paredes | | | | | | | |
|--------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|---------|------------------|--------|--------------------------|
| | Ladrillo o bloque de cemento | Piedra o sillar con cal o cemento | Adobe | Tapia | Quincha | Piedra con barro | Madera | Triplex/calamina/ estera |
| Urbana | 14214 | 65 | 3920 | 1488 | 7006 | 478 | 40784 | 1115 |
| Rural | 89356 | 322 | 12749 | 5104 | 10689 | 720 | 19226 | 2781 |
| Total | 103570 | 387 | 16669 | 6592 | 17695 | 1198 | 60010 | 3896 |

INEI, 2018.

El material predominante de construcción de las paredes es el de ladrillo o bloque de cemento (49%), seguido de las viviendas del tipo madera (29%), quincha y adobe (16%). Por otro lado, el material predominante de los techos de las viviendas son las planchas de calamina con un 79% del total de viviendas, seguido por el concreto armado (11%).

2.3.3 Infraestructura

2.3.3.1 Vías de comunicación

El departamento de San Martín está conectado por vías nacionales, departamentales y vecinales que alcanzan una longitud de 5812.7 km.

Tabla 4. Longitud de vías.

| Tipo de vía | Longitud (km) |
|---------------|---------------|
| Nacional | 971.9 |
| Departamental | 1167.1 |
| Vecinal | 3673.7 |

MTC, 2021.

Por otro lado, en el departamento de San Martín, se han inventariado 160 infraestructura del tipo puente, puente (puentes de dimensiones pequeñas, por lo general, de 3 hasta los 10m) y túnel que se enumeran en la siguiente tabla.

Tabla 5. Puentes, pontón y túnel.

| Tipo | Cantidad |
|--------|----------|
| Pontón | 24 |
| Puente | 135 |
| Túnel | 1 |

PROVIAS, 2021.

2.3.3.2 Aeropuertos

En el departamento de San Martín existen 7 aeropuertos de los cuales 7 son aeródromos y 1 es hilipuerto ubicados en 6 de los 78 distritos del departamento de San Martín.

Tabla 6. Aeropuertos del departamento de San Martín.

| Nombre | Provincia | Distrito | Administra | Estado | Tipo |
|--|------------------|-------------|---------------------------|-----------|------------|
| Aeródromo Palmas Del Espino | Tocache | Santa Lucía | Palmas Del Espino S.A. | Operativo | Aeródromo |
| Aeródromo Saposoa | Huallaga | Pischoyacu | Corpac S.A. | Operativo | Aeródromo |
| Aeródromo Tocache | Tocache | Tocache | Corpac S.A. | Operativo | Aeródromo |
| Aeropuerto Cdte Fap Guillermo Del Castillo Paredes | San Martín | Tarapoto | Aeropuertos Del Perú S.A. | Operativo | Aeropuerto |
| Aeropuerto Juan Simons Vela | Rioja | Rioja | Corpac S.A. | Operativo | Aeropuerto |
| Aeropuerto Juanjuí | Mariscal Cáceres | Juanjuí | Corpac S.A. | Operativo | Aeropuerto |

| Nombre | Provincia | Distrito | Administra | Estado | Tipo |
|----------------------------------|------------|----------|----------------|-----------|------------|
| Helipuerto De Superficie Helinka | San Martín | Tarapoto | Helinka S.A.C. | Operativo | Helipuerto |

MTC, 2021.

2.3.3.3 Instituciones educativas y establecimientos de salud

El Ministerio de Educación (ESCALE) reportó que en el departamento de San Martín existen 2346 instituciones educativas y una población estudiantil de 192225 estudiantes.

Tabla 7. Instituciones educativas.

| Tipo | N° IIEE | N° alumnos | N° docentes |
|------|---------|------------|-------------|
| IIEE | 2346 | 192225 | 10763 |

ESCALE, 2023.

En cuanto a los establecimientos de salud, en el departamento de San Martín existen 534 establecimientos entre hospitales, establecimientos de salud, puestos de salud, consultorios y centros odontológicos, además, según el INEI la cobertura de salud representa el 67.3%.

Tabla 8. Establecimientos de salud.

| Tipo de Establecimiento de Salud | Número |
|--|--------|
| Establecimiento de Salud Sin Internamiento | 467 |
| Establecimiento de Salud Con Internamiento | 36 |
| Servicio Médico de Apoyo | 31 |

MINSA, 2023.

2.3.3.4 Recursos de respuesta a emergencias

A la fecha, existen 4 almacenes de respuesta a emergencia ubicados en los distritos de Tarapoto, Tocache, Huimbayoc y Moyobamba, además, existen 53 comisarias distribuidas en 40 de los 78 distritos del departamento de San Martín.

Tabla 9. Recursos de respuesta a emergencia.

| Tipo | N° |
|------------|----|
| Almacenes | 4 |
| Comisarias | 53 |
| Bomberos | 7 |
| Tambo | 4 |

INDECI, 2022.

2.3.5 Área e infraestructura agrícola

En términos de superficie, la cobertura agrícola cubre una superficie de 13227.7 km² que representa el 26% de la superficie del departamento de San Martín. Además, la infraestructura agrícola, específicamente los canales de riego tienen una longitud de 215.8 km, 115 centros de acopio y 60 organizaciones agrarias como asociaciones, comités, cooperativas, entre otras.

Tabla 10. Área e infraestructura agrícola.

| Infraestructura | Unidad | N° |
|-----------------------------------|--------|---------|
| Cobertura agrícola | Km2 | 13227.7 |
| Canal de riego | Km | 215.8 |
| Centro de acopio | Unidad | 115 |
| Organizaciones agrarias | Unidad | 60 |
| Infraestructura de transformación | Unidad | 89 |

MIDAGRI (2023), ARA (2022).

2.4 Fenomenología del territorio

Por su ubicación geográfica, el departamento de San Martín tiene influencia de corrientes oceánicas, los Andes y la extensa llanura amazónica, además, dadas sus condiciones locales como geología, geomorfología, dinámica ambiental y antrópica la zona de estudio está expuesta a una serie de peligros generados por fenómenos de origen natural. En este apartado se realizará una descripción de los peligros generados por fenómenos de origen natural en el ámbito de influencia del departamento de San Martín. Así mismo, se adopta la clasificación de peligros propuesta por el CENEPRED en el Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales Versión 02 (CENEPRED, 2015).

El registro histórico de los eventos generados por el impacto de peligros originados por fenómenos de origen natural en el departamento de San Martín ha sido recabado del sistema de reporte de emergencias del INDECI, además, se ha usado el inventario nacional de peligros geológicos del INGEMMET. Según el INDECI (2023) en su plataforma de reporte de emergencias, en el departamento de San Martín se han registrado 2689 reportes de emergencias, de estos, 162 (6%) relacionados a movimientos en masa, siendo los deslizamientos los de mayor recurrencia (124 eventos) desde el 2003 al 2023.

Tabla 11. Reporte de emergencias por fenómenos de origen natural en San Martín.

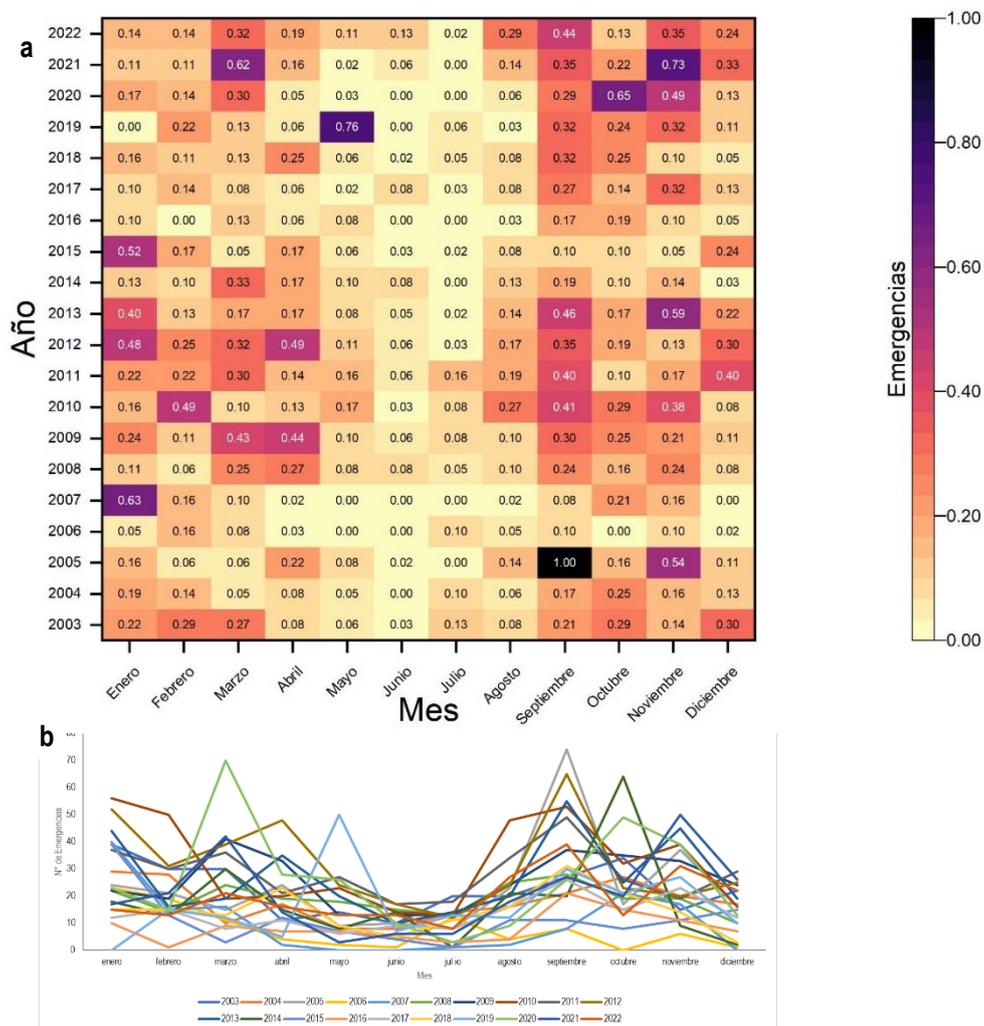
| Clasificación | N° de eventos | Clase | Tipo de fenómeno | N° de emergencias |
|---------------------------|---------------|---------------------|--|-------------------|
| Geodinámica externa | 162 | Movimientos en masa | Deslizamiento | 124 |
| | | | Huaycos | 18 |
| | | | Derrumbes | 14 |
| | | | Reptación | 1 |
| | | Aludes | 2 | |
| | | - | Otros fenómenos de geodinámica externa | 3 |
| Geodinámica interna | 142 | - | Sismos | 142 |
| Hidrometeorológicos | 2,385 | - | Vientos fuertes | 1,162 |
| | | | Inundación | 628 |
| | | | Lluvias intensas | 499 |
| | | | Inundación por desborde de río | 52 |
| | | | Temporales (vientos con lluvias) | 23 |
| | | | Sequías | 8 |
| | | | Tormentas eléctricas | 4 |
| | | | Precipitaciones pluviales | 3 |
| | | | Incendios forestales | 2 |
| | | | Erosión fluvial | 1 |
| | | | Inundación por desborde lago o laguna | 1 |
| | | | Otros fenom. Met.o hidrol. | 1 |
| Precipitaciones - granizo | 1 | | | |

Elaborado en base a INDECI (2023)

A la fecha se ha estimado que se ha afectado la vida y salud de 12215 personas y damnificado 2810 personas. Además, 1295 viviendas y 5 instituciones educativas han sido afectados y 473 viviendas y 2 instituciones educativas fueron destruidas por el impacto de algún evento relacionado con los movimientos en masa. Además, se ha generado daño a establecimientos de salud, infraestructura de comunicación como vías, puentes, actividades económicas como energía, agricultura también se han visto comprometidas por el impacto de los peligros de movimientos en masa.

Como se observa del siguiente gráfico, los mayores eventos de reporte de emergencia registrados coinciden con la temporada de lluvias, de setiembre a mayo (tonalidades oscuras en el gráfico de calor).

Gráfico 2. “a” gráfico de calor normalizado y “b” serie de tiempo de emergencias mensuales registradas, 2003-2022.



Elaborado en base a INDECI.

CAPITULO III – METODOLOGÍA

3.1 Determinación del peligro

3.1.1 Susceptibilidad de movimientos en masa

3.1.1.1 Método heurístico

El método cualitativo o heurístico ha sido ampliamente usado para evaluar la susceptibilidad (Aristizábal & Yokota, 2006), y se basan en la ponderación o asignación de pesos a las diferentes variables determinadas por juicio de criterio de expertos (Wati et al., 2010), estudios previos y características físicas y naturales que representan los efectos de cada parámetro en el mecanismo de ocurrencia de los movimientos en masa. El peso de cada variable depende del grado de influencia de un parámetro dado que puede causar un evento de movimiento en masa.

$$I = \sum_{i=1}^n X_i * W_i \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde I , representa el índice de susceptibilidad de movimiento en masa, " X_i " es el valor de clase de cada variable y " W_i " es el peso de cada variable (Ahyuni et al., 2021) que sumado es igual a 1.

La asignación de peso de las clases de cada variable se realizó en función a la metodología y criterio establecido por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), es decir, en una escala de susceptibilidad de 0 a 4, donde el valor de 0 no tiene relevancia como clase causativa de movimientos en masa, por otro lado, el valor de 4 tiene un factor causal preponderante a movimientos en masa.

Finalmente, para obtener el mapa de susceptibilidad de los factores condicionantes (SFC) se aplicó la fórmula planteada por el INGENMET.

$$SFC = (I_1 + I_2 + \dots + I_n)/n \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde " n " representan el número de variables.

3.1.1.2 Susceptibilidad por movimientos en masa

La susceptibilidad por el método heurístico fue aplicado usando los factores que usa el INGENMET (2010) en el reporte de Nuñez et al., (2010) para el departamento de San Martín, además, se incluyó la variable de cobertura vegetal (información al 2015) y deforestación (información al 2021) en la construcción del modelo de susceptibilidad.

Los pesos asignados a cada subclase de los factores condicionantes como litología, geomorfología, pendiente e hidrogeología corresponden a los pesos de susceptibilidad que están en un rango de 0 a 4 acorde a lo propuesto por el INGENMET, aunque en su reporte asignan el valor de 0 a subclases cuya

susceptibilidad es muy baja, en este estudio se usó el valor de 0.1, bajo el sustento de evitar superficies sin un valor de susceptibilidad al realizar el cruce de información.

Se replicó el modelo propuesto por el INGEMMET, para lo que se usó el ráster de pendiente de 30m y se agregó la variable de cobertura vegetal y deforestación en el modelo heurístico, para lo cual se implementó la siguiente fórmula en el software QGIS.

$$SMM_h = ((FC_1 * 0.35) + (FC_2 * 0.25) + (FC_3 * 0.20) + (FC_4 * 0.05) + (FC_5 * 0.15))/5$$

Ecuación (3)

Donde:

FC_1 : Factor condicionante, litología

FC_2 : Factor condicionante, pendiente

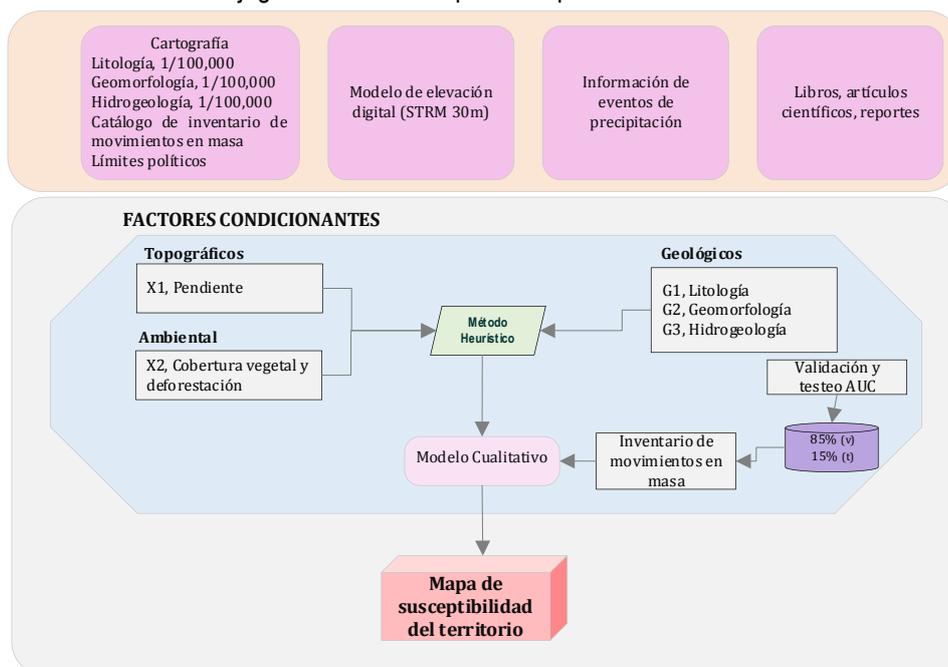
FC_3 : Factor condicionante, geomorfología

FC_4 : Factor condicionante, hidrogeología

FC_5 : Factor condicionante, cobertura vegetal y deforestación

En el siguiente gráfico se muestra el flujo metodológico para determinar la susceptibilidad por movimientos en masa.

Gráfico 3. Flujograma de la susceptibilidad por movimientos en masa.



Los niveles de susceptibilidad por movimientos en masa se clasificaron en 4 niveles. Los niveles “Muy Bajo” y “Bajo” propuesto por el INGEMMET, se agruparon en un solo rango, como “Bajo”, esto con la finalidad de

cruzar el mapa de susceptibilidad por factores condicionantes con el factor desencadenante y obtener el mapa de peligrosidad por movimientos en masa; finalmente se clasificó la susceptibilidad en cuatro (4) rangos, tal y como propone CENEPRED en los escenarios de riesgo a nivel departamental, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto.

Por último, se validó (85% de datos) el mapa de susceptibilidad usando el inventario de movimientos en masa del INGEMMET con el valor del área bajo la curva (AUC).

3.1.2 Metodología para determinar el factor desencadenante y peligro por movimientos en masa

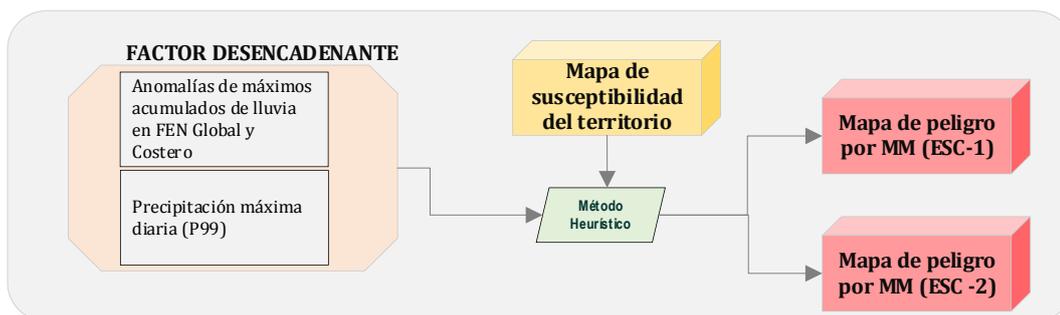
Para los fines de estudio del peligro se seleccionaron dos factores desencadenantes, es decir, se consideró dos escenarios de peligrosidad por movimientos en masa. El primer escenario asociado a anomalías oceánicas-atmosféricas de Fenómeno El Niño registrados en el periodo de enero, febrero, marzo y abril (EFMA) de los años 1983, 1997/98, 2016/17 y verano 2023; y como segundo escenario se consideró a las precipitaciones máximas en condiciones climatológicas normales en el departamento de San Martín, este último, con base a los percentiles de precipitación (P99). Vale indicar que, en el caso del factor desencadenante ambas fuentes de información fueron generadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Tabla 12. Factor desencadenante para determinar el peligro por movimientos en masa.

| Escenarios | Factor desencadenante | Indicador | Fuente |
|-------------|---|-------------|---------|
| Escenario 1 | Anomalías de precipitación durante FEN (EFMA) | SPI | SENAMHI |
| Escenario 2 | Precipitación máxima diaria – Percentil 99 | Percentiles | SENAMHI |

La determinación del peligro por movimientos en masa resulta de la combinación de los factores condicionantes y desencadenantes, basado en una ponderación cualitativa o heurística, este geoproceso se realizó usando la calculadora ráster de QGIS.

Gráfico 4. Flujograma del modelo de susceptibilidad por movimientos en masa.



Para determinar los escenarios de peligro se usó la siguiente ecuación, que fue implementada en la calculadora ráster de QGIS.

$$Peligro_{Esc-1} = (SMM \times 0.75) + (FD_{FEN} \times 0.25) \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$Peligro_{Esc-2} = (SMM \times 0.75) + (FD_{P99} \times 0.25) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde, $Peligro_{Esc-1}$ y $Peligro_{Esc-2}$ representan los mapas del Escenario 1 y 2 respectivamente, “SMM” es el ráster de susceptibilidad por movimientos en masa, FD_{FEN} es el factor desencadenante bajo el escenario del Fenómeno El Niño y FD_{P99} representa el factor desencadenante de precipitaciones máximas bajo el P99.

Vale indicar que, para el caso del nivel de peligrosidad a nivel distrital, se estimó considerando como criterio asignar a cada distrito el nivel de peligro que abarca la mayor superficie en el límite distrital. Para realizar esto, los ráster que se obtuvieron luego de aplicar la Ecuación 4 y 5, fueron reclasificados en los cuatro (4) rangos de peligro usando la herramienta de reclassify by table de QGIS. Luego de la reclasificación, este nuevo ráster fue convertido a formato vectorial con la herramienta de raster>conversión>polygonize (raster to vector) de QGIS, a esta shapefile se aplicó la herramienta vector>geoprocessing tool>dissolve. Finalmente, se interceptó la última capa con la de distritos del departamento de San Martín, en donde se estimó la superficie que abarca cada nivel de peligro en los límites distritales.

3.1.3 Equipos, softwares

En la siguiente tabla se detalla los equipos y softwares usados en la ejecución del presente estudio.

Tabla 13. Equipos y software usados en el estudio.

| Equipos | Software |
|---------------------|---|
| Computador portátil | QGIS |
| Tablet | Anaconda – Jupyter Notebook |
| - | Python 3.8 |
| - | Microsoft Office (Word, Excel, Power Point) |
| - | Visio |

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Información usada

3.1.4.1 Escala de la información

Se usó información geoespacial de tipo vectorial y ráster. La información fue recopilada de fuentes oficiales como repositorios institucionales, geoportales, visores de mapas, y otros de ámbito nacional e internacional. En la siguiente tabla se resume la información usada y la escala (información vectorial) o resolución espacial (información rasterizada), así como la fuente de información.

Tabla 14. Información usada en el estudio.

| N° | Tipo | Descripción | Tipo | Escala o resolución espacial | Año | Fuente | Link (último acceso 30/08/2023) |
|----|-----------|-----------------------------------|----------|------------------------------|------|--------------------|---|
| 1 | Vectorial | Litología | Discreta | 1/100,000 | - | INGEMMET | https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/ |
| 2 | | Geomorfología | Discreta | 1/100,000 | - | INGEMMET | https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/ |
| 3 | | Hidrogeología | Discreta | 1/100,000 | - | INGEMMET | https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/ |
| | | Inventario de Movimientos en Masa | Discreta | 1/50,000 | 2021 | INGEMMET | https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/ |
| 4 | | Cobertura vegetal | Discreta | 1/100,000 | 2015 | MINAM | https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/cobertura-vegetal-ministerio-del-ambiente |
| 5 | | Hidrografía | - | - | - | ANA | https://www.geoidep.gob.pe/autoridad-nacional-del-agua-ana |
| 6 | | Límites políticos | - | - | - | INEI | https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/limites-departamentales |
| 7 | Ráster | Modelo de elevación digital | Continúa | 30m | 2010 | USGS | https://earthexplorer.usgs.gov/ |
| 8 | | Deforestación | Discreta | 30m | 2021 | Geobosques (MINAM) | https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php#download |
| 9 | | Precipitación por FEN | Discreta | 100m | 2021 | SENAMHI | Información otorgada por la institución. |
| 10 | | Precipitación por P99 | Discreta | 10000m | 2023 | SENAMHI | Información otorgada por la institución. |

Fuente: Elaboración propia.

a. Pendiente

Suele considerarse como uno de los factores más importantes que afecta la estabilidad de las laderas, además, controla la distribución de la tensión y deformación de las mismas (Tang et al., 2020).

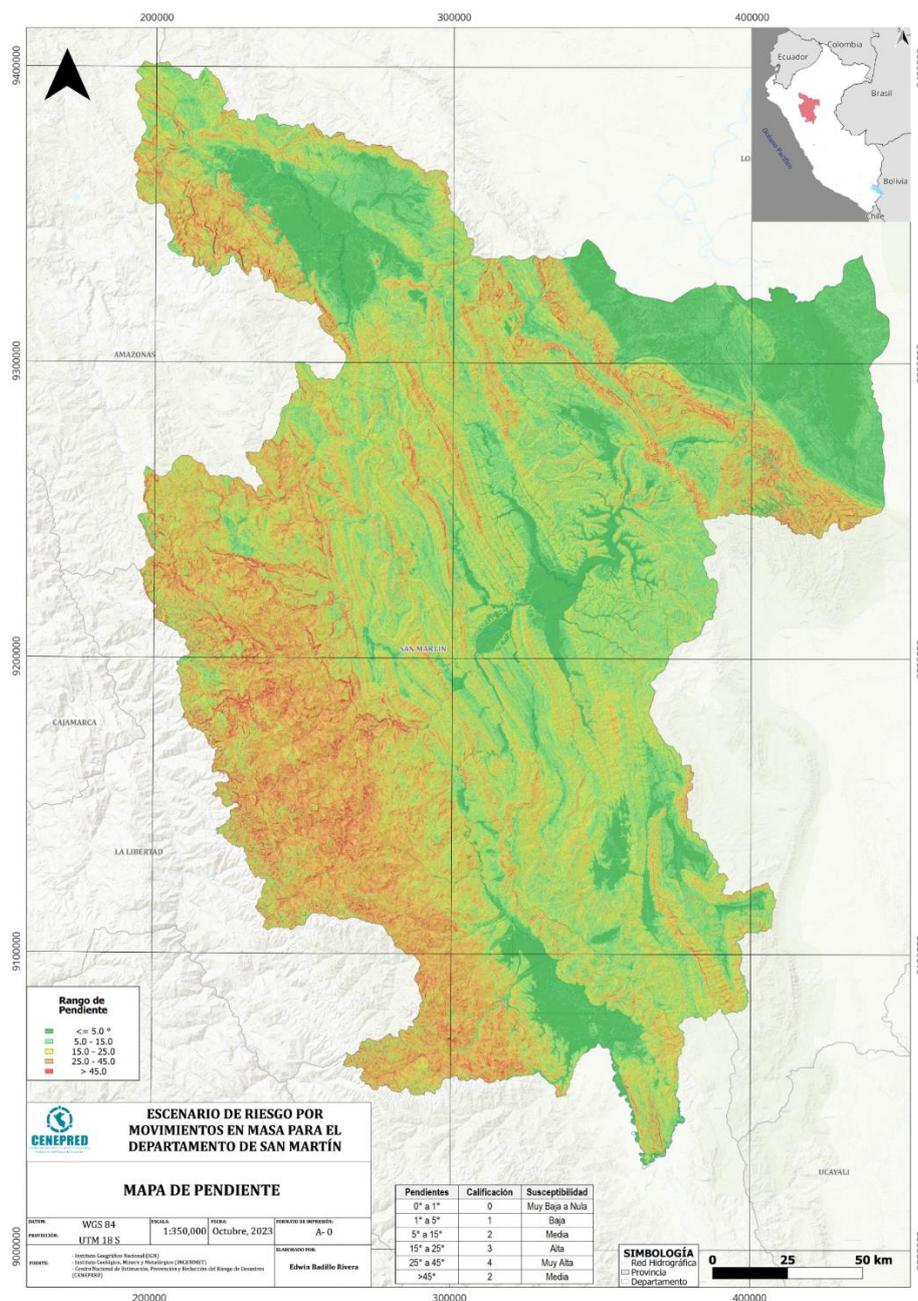
En este estudio se obtuvo el mapa de pendiente usando un DEM de 30m de resolución espacial, se usó la herramienta de QGIS *raster>análisis>slope*. Además, la reclasificación y asignación de la susceptibilidad a cada clase se realizó con base al reporte del INGEMMET (Nuñez et al., 2010), para reclasificar el ráster se usó la herramienta de *reclassify by table* de la caja de herramientas de QGIS, asignando a cada rango la calificación que se indica en la siguiente tabla.

Tabla 15. Rango de pendiente y susceptibilidad a movimientos en masa.

| Pendientes | Calificación | Susceptibilidad |
|------------|--------------|-----------------|
| 0° a 1°* | 0.1 | Muy Baja a Nula |
| 1° a 5°* | 1 | Baja |
| 5° a 15° | 2 | Media |
| 15° a 25° | 3 | Alta |
| 25° a 45° | 4 | Muy Alta |
| >45° | 2 | Media |

Fuente: Nuñez et al., (2010).

Figura 2. Mapa de pendiente en el departamento de San Martín.



b. Litología

La litología juega un papel importante en la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa ya que la fuerza de los parámetros geotécnicos, como ángulo de fricción y cohesión, propiedades físicas y mecánicas, la resistencia a la intemperie, la deformación y modo de falla de las laderas varían ampliamente en las unidades litológicas (Sun et al., 2018; Tang et al., 2020).

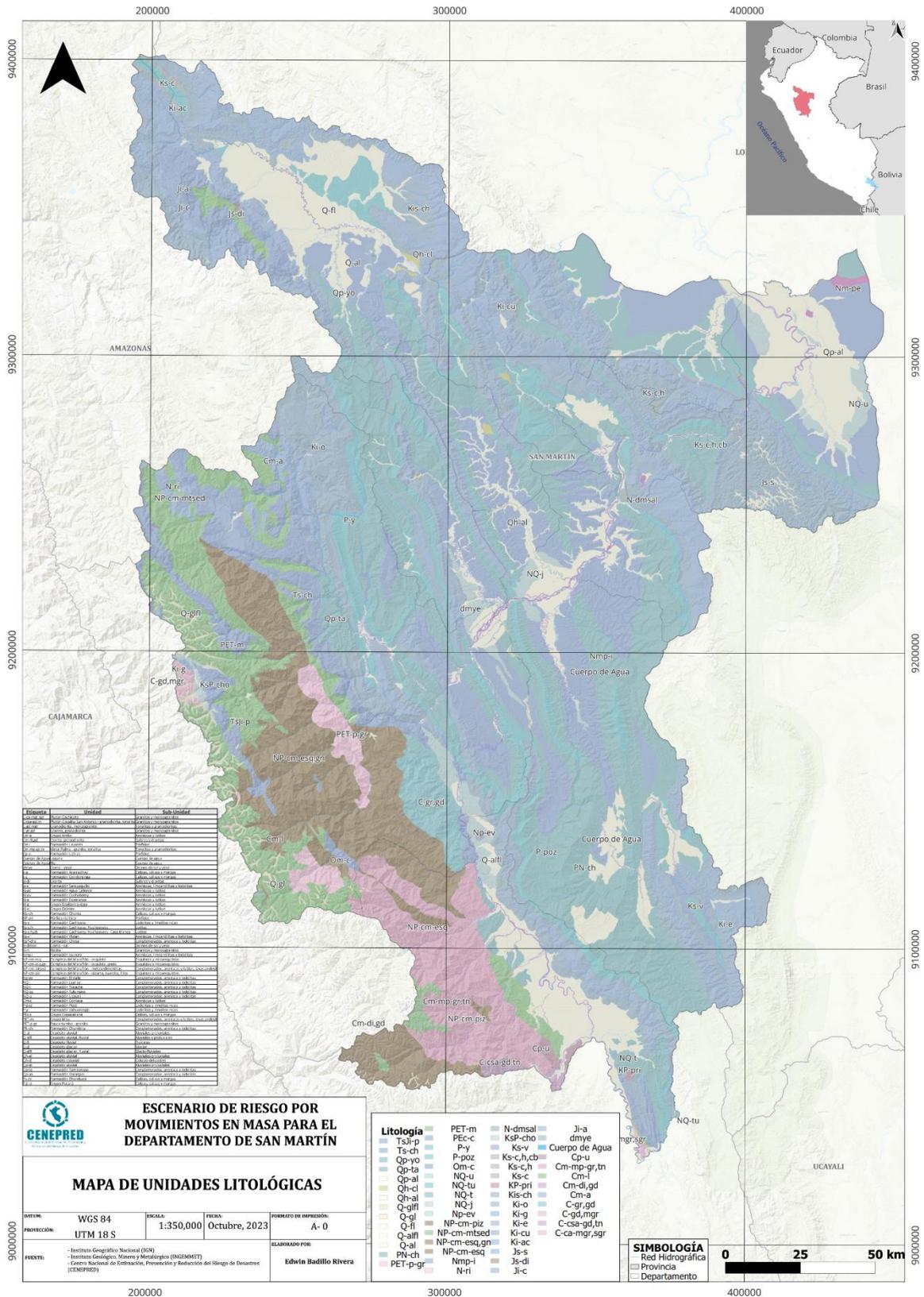
En este estudio como se indicó anteriormente, se obtuvo el mapa litológico del INGEMMET a escala 1/100,000; además, la reclasificación y asignación de la susceptibilidad a cada clase se realizó con base al reporte del INGEMMET (Nuñez et al., 2010). Vale mencionar que, la capa inicial del vector de litología fue convertido a ráster, para esto se creó un campo del valor de susceptibilidad al vector, luego se usó la herramienta de *reclassify by layer* de QGIS usando un ráster del área de estudio, en este último geoproceso se asignó el valor de susceptibilidad del vector al ráster.

Tabla 16. Unidades litológicas y susceptibilidad a movimientos en masa.

| Unidades litológicas | Código | Susceptibilidad |
|---|----------------|-----------------|
| Cuerpo de agua | Cuerpo de Agua | 0.1 |
| Fluviales | Q-fl | 0.1 |
| Aluviales y proluviales | Q-af1 | 1 |
| Glaciar | Q-gl | 1 |
| Glacio-fluviales | Q-gfl | 1 |
| Areniscas y lutitas | Cm-a | 2 |
| Esquistos y micaesquistos | NP-cm-esq | 2 |
| Gabros y dioritas | Cm-di,gd | 2 |
| Granitos y monzogranitos | C-ca-mgr,sgr | 2 |
| Lutitas | Ks-c,h | 2 |
| Pórfidos | Cm-l | 2 |
| Tonalitas y granodioritas | C-gd,mgr | 2 |
| Areniscas, limoarcillitas y lodolitas | Js-s | 3 |
| Calizas, calizas y margas | Ji-a | 3 |
| Conglomerados, areniscas y lutitas, lavas andesíticas | NP-cm-mtsed | 3 |
| Domos de sal y yeso | dmye | 3 |
| Lodolitas y limolitas rojas | Ks-c | 3 |
| Coluvio-deluviales | Qh-cl | 4 |
| Conglomerados, arenisca y lodolitas | KsP-cho | 4 |

Fuente: Elaboración con base a INGEMMET.

Figura 3. Mapa de unidades litológicas en el departamento de San Martín.



c. Geomorfología

En general, la geomorfología resume información sobre la geometría, la disposición, los procesos de los accidentes geográficos (incluida su duración y tasa de formación), la naturaleza y estructura de las formaciones de superficie correlativa y roca madre (Ndonbou et al., 2022). Las características del terreno y los procesos que modelan la superficie deben ser entendidos en el análisis de movimientos en masa, por lo que se consideran un factor indispensable en su análisis, ya que están relacionados con procesos geodinámicos de masa (Nuñez et al., 2010).

En este estudio como se indicó anteriormente, se obtuvo el mapa geomorfológico del INGEMMET a escala 1/100,000; además, la reclasificación y asignación de la susceptibilidad a cada clase se realizó con base al reporte del INGEMMET (Nuñez et al., 2010). Vale mencionar que, la capa inicial del vector de geomorfología fue convertido a ráster, para esto se creó un campo del valor de susceptibilidad al vector, luego se usó la herramienta de *reclassify by layer* de QGIS usando un ráster del área de estudio, este último geoproceso asigna el valor de susceptibilidad del shapefile al ráster.

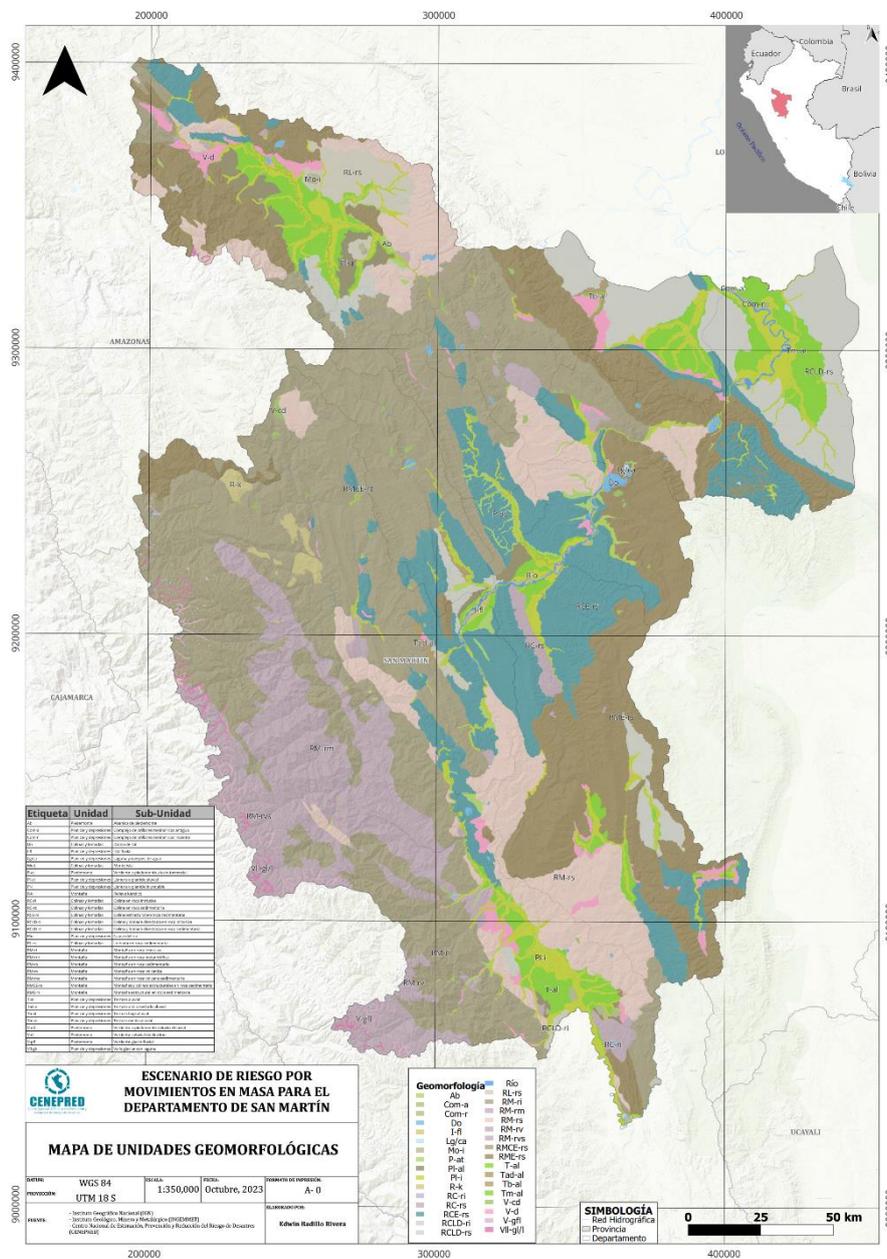
Tabla 17. Unidades geomorfológicas y susceptibilidad a movimientos en masa.

| Unidad | Subunidad | Símbolo | Susceptibilidad |
|------------------------|--|----------|-----------------|
| Planicie y depresiones | Complejo de orillares meándricos antiguo | Com-a | 0.1 |
| Planicie y depresiones | Complejo de orillares meándricos reciente | Com-r | 0.1 |
| Planicie y depresiones | Isla fluvial | I-fl | 0.1 |
| Planicie y depresiones | Laguna y cuerpos de agua | Lg/ca | 0.1 |
| Planicie y depresiones | Llanura o planicie inundable | PI-i | 0.1 |
| Planicie y depresiones | Cauce del río | Río | 0.1 |
| Planicie y depresiones | Terraza baja aluvial | Tb-al | 0.1 |
| Planicie y depresiones | Llanura o planicie aluvial | PI-al | 1 |
| Montaña | Relieve kárstico | R-k | 1 |
| Planicie y depresiones | Valle glacial con laguna | VII-gl/l | 1 |
| Colinas y lomadas | Monte isla | Mo-i | 2 |
| Colinas y lomadas | Colina en roca intrusiva | RC-ri | 2 |
| Colinas y lomadas | Colina en roca sedimentaria | RC-rs | 2 |
| Colinas y lomadas | Colina y lomada disectada en roca sedimentaria | RCLD-rs | 2 |
| Colinas y lomadas | Lomada en roca sedimentaria | RL-rs | 2 |
| Planicie y depresiones | Terraza aluvial | T-al | 2 |
| Planicie y depresiones | Terraza alta disectada aluvial | Tad-al | 2 |
| Planicie y depresiones | Terraza media aluvial | Tm-al | 2 |
| Piedemonte | Vertiente glacio-fluvial | V-gfl | 2 |
| Piedemonte | Abanico de piedemonte | Ab | 3 |
| Colinas y lomadas | Domo de sal | Do | 3 |
| Colinas y lomadas | Colina y lomada disectada en roca intrusiva | RCLD-ri | 3 |
| Montaña | Montaña en roca intrusiva | RM-ri | 3 |
| Montaña | Montaña en roca metamórfica | RM-rm | 3 |
| Montaña | Montaña en roca sedimentaria | RM-rs | 3 |

| Unidad | Subunidad | Símbolo | Susceptibilidad |
|-------------------|---|---------|-----------------|
| Montaña | Montaña en roca volcánica | RM-rv | 3 |
| Montaña | Montaña en roca volcano-sedimentaria | RM-rvs | 3 |
| Montaña | Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria | RMCE-rs | 3 |
| Piedemonte | Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial | V-cd | 3 |
| Piedemonte | Vertiente coluvial de detritos | V-d | 3 |
| Piedemonte | Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial | P-at | 4 |
| Colinas y lomadas | Colina estructural en roca sedimentaria | RCE-rs | 4 |
| Montaña | Montaña estructural en roca sedimentaria | RME-rs | 4 |

Fuente: Elaboración en base a INGEMMET.

Figura 4. Mapa de unidades geomorfológicas en el departamento de San Martín.



d. Hidrogeología

Las condiciones hidrogeológicas se asocian con intensas precipitaciones en la región de estudio, así como a las características litológicas de las formaciones geológicas, también a los grados de fracturamiento de las rocas y a la distribución del sistema de drenaje pluvial (Nuñez et al., 2010).

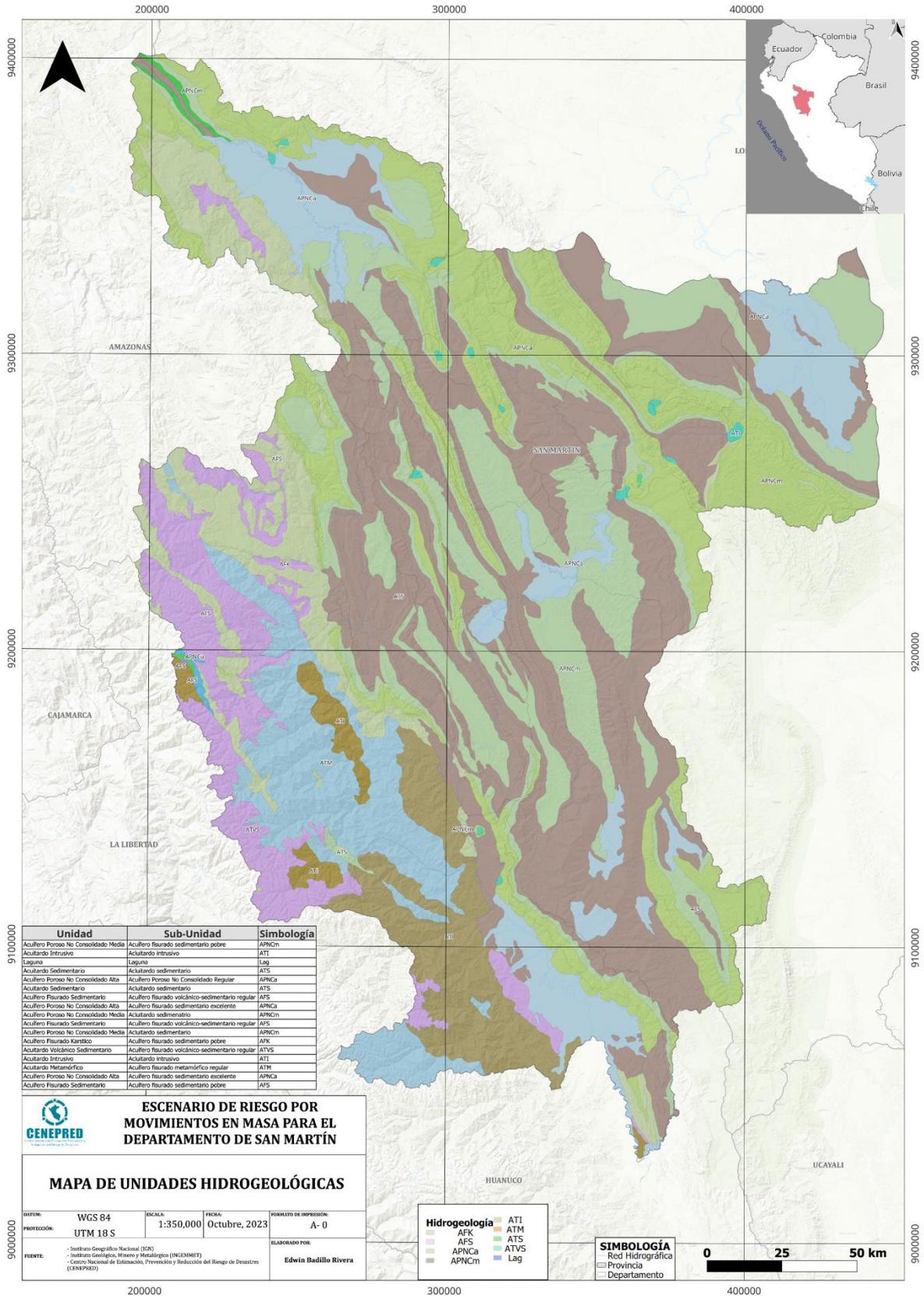
En este estudio como se indicó anteriormente, se obtuvo el mapa hidrogeológico del INGEMMET a escala 1/100,000; además, la reclasificación y asignación de la susceptibilidad a cada clase se realizó con base al reporte del INGEMMET (Nuñez et al., 2010). Vale mencionar que, la capa inicial del vector de hidrogeología fue convertida a ráster, para esto se creó un campo del valor de susceptibilidad al vector, luego se usó la herramienta de *reclassify by layer* de QGIS usando un ráster del área de estudio, este último geoproceso asigna el valor de susceptibilidad del vector al ráster.

Tabla 18. Unidades hidrogeológicas y susceptibilidad a movimientos en masa.

| Unidad Hidrogeológica | Código | Susceptibilidad |
|--|--------|-----------------|
| Laguna | Lag | 0.1 |
| Acuífero fisurado sedimentario pobre | AFK | 1 |
| Acuífero fisurado sedimentario pobre | AFS | 1 |
| Acuífero fisurado sedimentario pobre | APNCm | 1 |
| Acuífero Poroso No Consolidado Regular | APNCa | 2 |
| Acuífero Poroso No Consolidado Regular | APNCa | 2 |
| Acluitado sedimentario | APNCm | 2 |
| Acluitado sedimentario | APNCm | 2 |
| Acuífero fisurado metamórfico regular | ATM | 2 |
| Acluitado sedimentario | ATS | 2 |
| Acluitado sedimentario | ATS | 2 |
| Acuífero fisurado volcánico-sedimentario regular | AFS | 3 |
| Acuífero fisurado volcánico-sedimentario regular | AFS | 3 |
| Acuífero fisurado sedimentario excelente | APNCa | 3 |
| Acuífero fisurado sedimentario excelente | APNCa | 3 |
| Acluitado intrusivo | ATI | 3 |
| Acluitado intrusivo | ATI | 3 |
| Acuífero fisurado volcánico-sedimentario regular | ATVS | 3 |

Fuente: Elaboración en base a INGEMMET.

Figura 5. Mapa de unidades hidrogeológicas en el departamento de San Martín.



e. Cobertura vegetal y deforestación

La cobertura vegetal y deforestación influye en las propiedades hidrológicas y físicas del suelo, mejora la cohesión, fortalece la matriz y aumenta el potencial mátrico a través de la evapotranspiración e intercepción (Corina Pineda et al., 2016), la deforestación afecta los procesos de infiltración del suelo, así como la capacidad de las raíces de sostener el suelo disminuyendo la estabilidad de las laderas.

En este estudio se combinó el mapa de cobertura vegetal del Ministerio del Ambiente de escala 1/100,000 y el mapa de deforestación de Geobosques (en formato ráster) de tamaño de píxel de 30m. Para realizar este geoproceto se convirtieron los ráster a formato vectorial usando la herramienta *raster>poligonize (raster to vector)* de QGIS. Luego se realizó la intercepción del ráster de la capa de cobertura vegetal y deforestación usando la herramienta de *vector>geoprocessing tool>intersection*. En esta última capa, se agregó un campo al vector resultante de la intersección para asignar el valor de la susceptibilidad. Los valores de susceptibilidad asignados están condicionados por la fisiografía y por la deforestación en cada cobertura vegetal, para esto se usó el informe de Mapa Nacional de Cobertura Nacional del MINAM (2015), en donde se describe cada unidad de cobertura vegetal y la fisiografía de las coberturas vegetales; aquellas zonas con una fisiografía muy escarpada y cuya cobertura vegetal está deforestada se le asignó el valor máximo de susceptibilidad 4, para coberturas vegetales en montañas, colinas y lomadas se asignó el valor de 3 y 2 de susceptibilidad en función del tipo de cobertura vegetal y, finalmente para zonas con pendientes bajas, se asignó el valor de susceptibilidad de 1 y 0.1. Finalmente, se usó la herramienta de *reclassify by layer* de QGIS usando un ráster del área de estudio, este último geoproceto asigna el valor de susceptibilidad del vector al ráster.

Tabla 19. Unidades de cobertura vegetal/deforestación y susceptibilidad a movimientos en masa.

| Unidad de cobertura vegetal/deforestación | Símbolo | Susceptibilidad |
|---|----------|-----------------|
| Deforestación | Def | 4.0 |
| Agricultura costera y andina | Agri | 0.1 |
| Áreas de no bosque amazónico | Ano-ba | 0.1 |
| Bofedal | Bo | 0.1 |
| Bosque de colina baja | Bcb | 0.1 |
| Bosque de llanura meándrica | Bllm | 0.1 |
| Bosque de terraza alta | Bta | 0.1 |
| Bosque de terraza alta basimontano | Bta-ba | 0.1 |
| Bosque de terraza baja | Btb | 0.1 |
| Bosque de terraza baja basimontano | Btb-ba | 0.1 |
| Bosque inundable de palmeras | Bi-pal | 0.1 |
| Bosque inundable de palmeras basimontano | Bi-pa-ba | 0.1 |
| Lagunas, lagos y cochas | L/Co | 0.1 |
| Río | R | 0.1 |
| Vegetación de isla | Is | 0.1 |
| Áreas de no bosque amazónico | Ano-ba | 1 |
| Áreas de no bosque amazónico | Ano-ba | 1 |
| Bosque de llanura meándrica | Bllm | 1 |
| Bosque de terraza alta | Bta | 1 |
| Bosque de terraza alta basimontano | Bta-ba | 1 |
| Bosque de terraza baja | Btb | 1 |
| Bosque de terraza baja basimontano | Btb-ba | 1 |
| Bosque inundable de palmeras | Bi-pal | 1 |

| Unidad de cobertura vegetal/deforestación | Símbolo | Susceptibilidad |
|---|----------|-----------------|
| Bosque inundable de palmeras basimontano | Bi-pa-ba | 1 |
| Jalca | Jal | 1 |
| Pajonal andino | Pj | 1 |
| Páramo | Para | 1 |
| Vegetación de isla | Is | 1 |
| Vegetación esclerófila de arena blanca | Ve-ab | 1 |
| Áreas de no bosque amazónico | Ano-ba | 2 |
| Bosque de colina alta | Bca | 2 |
| Bosque de colina baja | Bcb | 2 |
| Bosque de montaña | Bm | 2 |
| Bosque de montaña altimontano | Bm-al | 2 |
| Bosque de montaña basimontano | Bm-ba | 2 |
| Bosque de montaña montano | Bm-mo | 2 |
| Bosque de palmeras de montaña montano | Bpm-mo | 2 |
| Bosque xérico interandino | Bxe-in | 2 |
| Jalca | Jal | 2 |
| Matorral arbustivo | Ma | 2 |
| Páramo | Para | 2 |
| Bosque de palmeras de montaña montano | Bpm-mo | 3 |
| Bosque de colina alta | Bca | 4 |
| Bosque de montaña | Bm | 4 |
| Bosque de montaña altimontano | Bm-al | 4 |
| Bosque de montaña basimontano | Bm-ba | 4 |
| Bosque de montaña montano | Bm-mo | 4 |

f. Factor desencadenante

Como factor desencadenante se usó las anomalías de lluvia en eventos El Niño Global 1983/84-1997/98 y El Niño Costero (2016/17 y 2023) y precipitación máxima (P99). Los rásters del factor desencadenante fueron recortados al área de estudio usando la herramienta de raster>extraction>clip by mask klayer de QGIS. Luego fueron reclasificados usando la metodología propuesta por el SENAMHI, índice estandarizado de precipitación (SPI), en el documento “Lluvias máximas - escenarios críticos – con información climática durante el Fenómeno El Niño” (SENAMHI, 2023) y se asignó un valor a cada rango de anomalías de precipitación.

Para el caso de las precipitaciones máximas bajo el percentil 99, se usó el umbral de lluvia antecedente a movimientos en masa propuesto para la región Amazónica 1, 2 y 3 que ocupa gran parte de la superficie de San Martín (Millán et al., 2022). Existen 3 umbrales propuestos para la región, se usó el promedio aritmético como valor para establecer que, a partir de este umbral, las zonas que lo superen están expuestas a un nivel “Muy Alto” de precipitación que tiene el potencial a generar un movimiento en masa, este valor se estableció como 130mm (P99).

La reclasificación de cada ráster del factor desencadenante se realizó usando la herramienta *reclassify by table* de QGIS, en donde se le asignó a cada rango de anomalía o precipitación máxima el valor de la susceptibilidad del factor desencadenante. Vale indicar que, para fines del geoprocesamiento entre el factor condicionante y desencadenante en QGIS, se homogenizó los ráster de precipitación, reduciendo su pixel a 30m.

Tabla 20. Factor desencadenante y peso asignado a cada rango de anomalía para el Escenario- 1.

| Anomalías de Lluvia en EFMA en (FEN83/98/17/23) | Nivel | Valor SFD |
|---|----------|-----------|
| < 15% normal o déficit de lluvia | Bajo | 0.01 |
| 15% - 100% (Moderadamente húmedo) | Medio | 0.5 |
| 100% - 250% (Muy húmedo) | Alto | 0.8 |
| >250% (Extremadamente húmedo) | Muy Alto | 1.0 |

Tabla 21. Factor desencadenante y peso asignado a cada rango de anomalía para el Escenario- 2.

| Precipitación máxima diaria bajo el Percentil 99 (P99) | Nivel | Valor SFD |
|--|----------|-----------|
| 0.0 <= (P99) <= 50.0 mm | Bajo | 0.01 |
| 50.0 < (P99) <= 90.0 mm | Medio | 0.5 |
| 90.0 < (P99) <= 130.0 mm | Alto | 0.8 |
| (P99)>=130.0 mm | Muy Alto | 1.0 |

Figura 7. Mapa de anomalía de precipitación en eventos de El Niño (EFMA) en el departamento de San Martín.

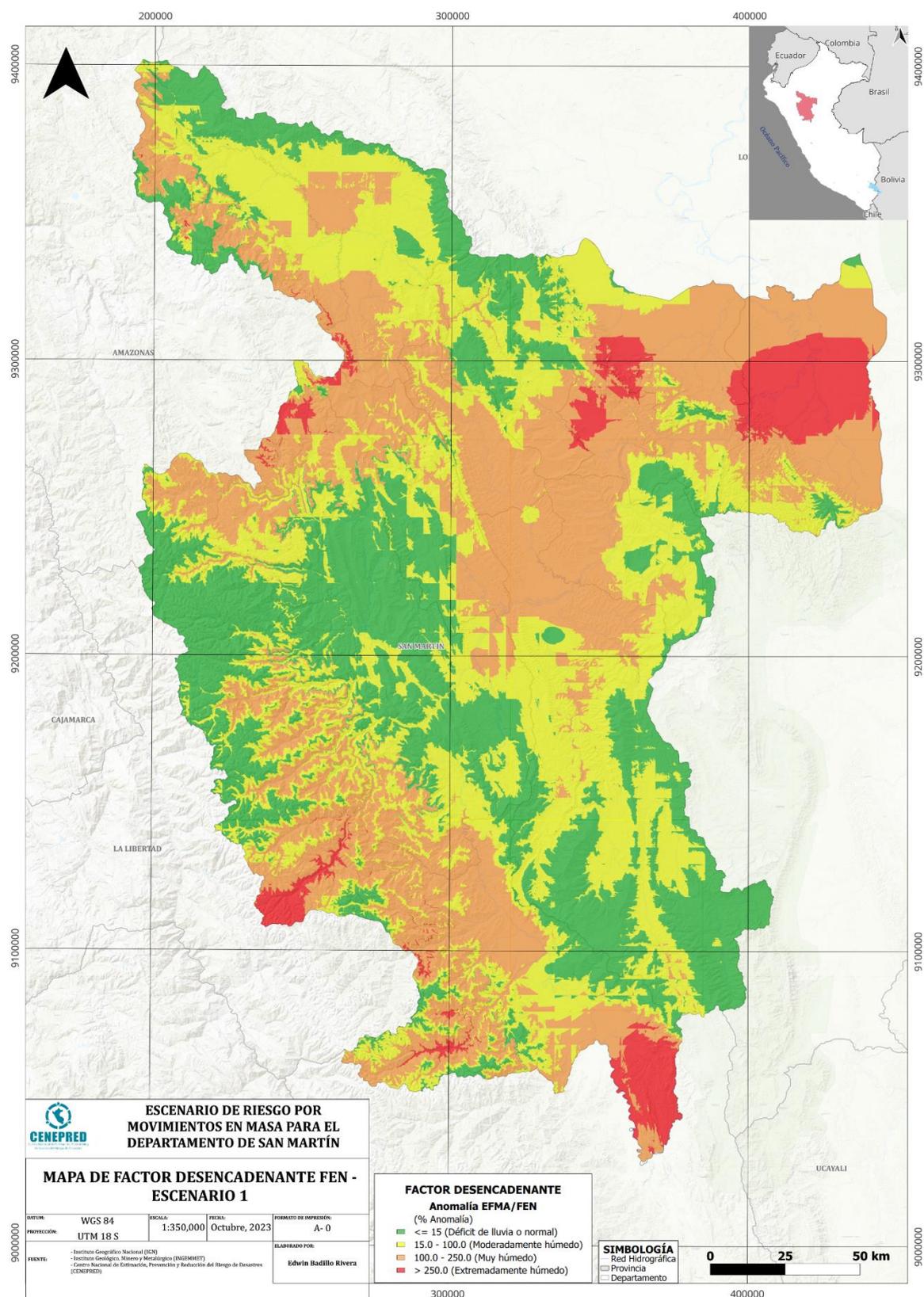
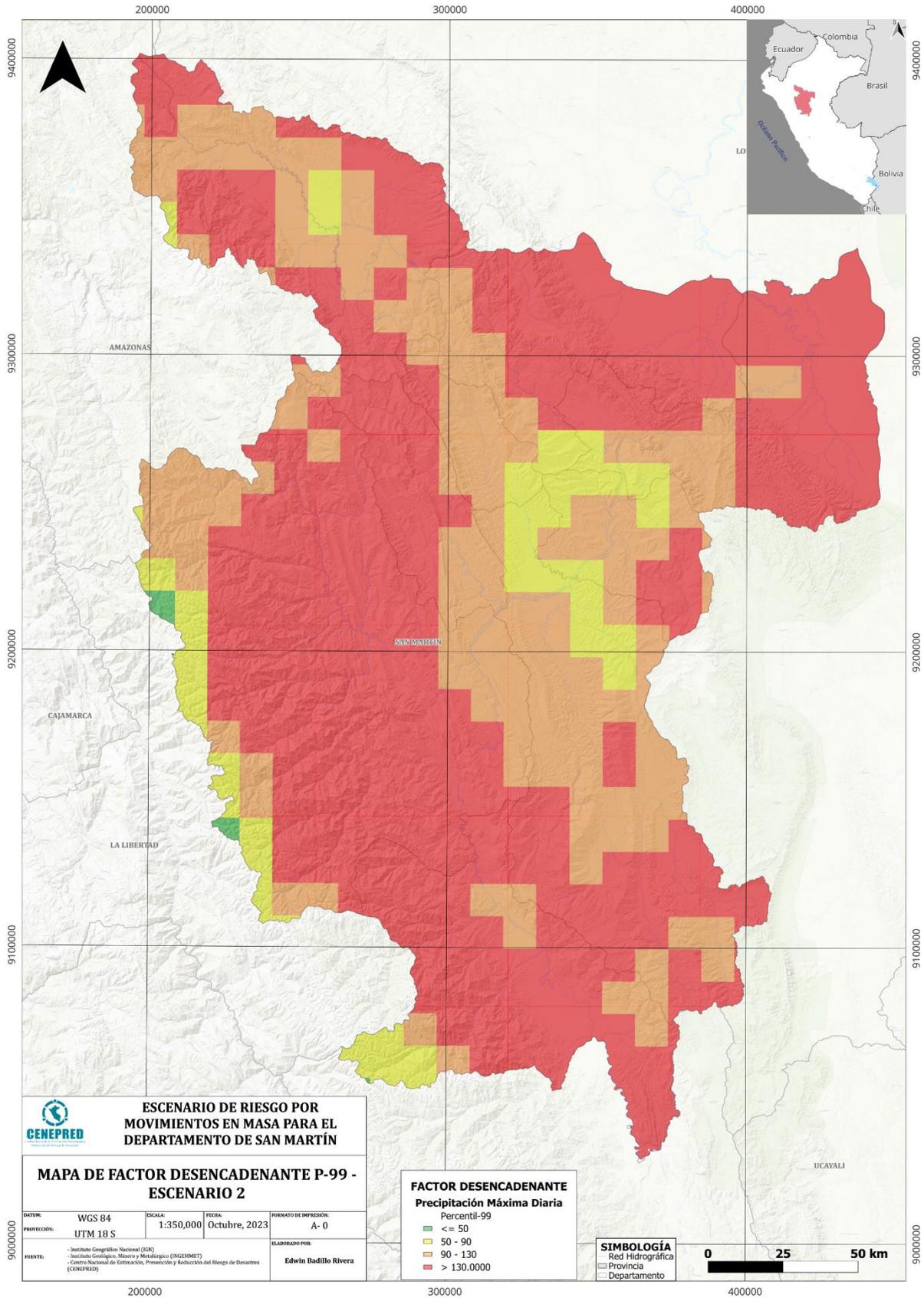


Figura 8. Mapa de precipitación máxima diaria bajo el percentil 99 (P99) para en el departamento de San Martín.

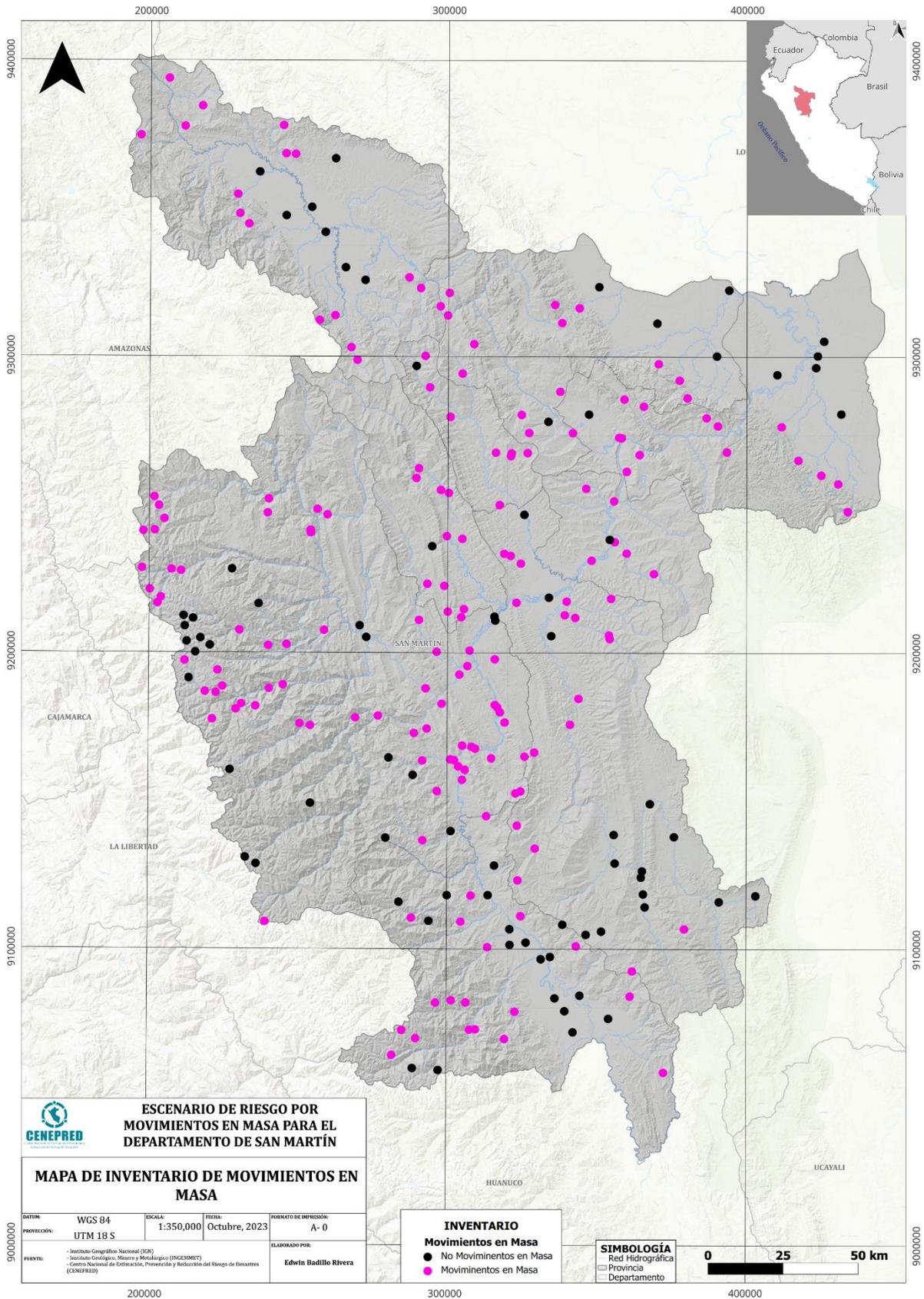


g. Inventario de fenómenos de movimientos en masa

El inventario de fenómenos de movimientos en masa, representan información sobre la distribución espacial de la localización de los movimientos en masa, además, proporciona información crucial en el estudio de las relaciones entre la ocurrencia de los movimientos en masa y los factores que las causan (Achour et al., 2017; Pourghasemi et al., 2012). El inventario usado en este estudio fue realizado por el INGEMMET, y se trata de información que fue recopilada por INDECI y el INGEMMET, que se complementó con información fotointerpretada en gabinete a partir de imágenes satelitales y verificadas en un extenso de trabajo de campo, que fue llevada a cabo por el equipo técnico del INGEMMET. Vale indicar que la información del inventario cuenta con información hasta el 2023 (última actualización).

Se seleccionaron 200 puntos de movimientos en masa del total de puntos descargados del INGEMMET, que fueron escogidos al azar con la herramienta vector>research tool>random selection de QGIS. Además, se incluyeron zonas que no presentan movimientos en masa, ubicados en zonas planas o litologías competentes apoyado por imágenes satelitales de muy alta resolución espacial disponibles en Google Earth Pro.

Figura 9. Mapa de inventario de movimientos en masa en el departamento de San Martín.



3.2 Análisis de los elementos expuestos

Determinar la vulnerabilidad social, económica y ambiental a escala departamental de los diferentes elementos expuestos y con escasa información o información dispersa es compleja; por lo tanto, en este estudio se presenta la exposición al peligro por movimientos en masa (que es una de las características centrales de la evaluación de la vulnerabilidad) para determinar los elementos en riesgo.

La exposición al peligro se debe entender como la cantidad del elemento expuesto (densidad poblacional, número de viviendas/hospitales/colegios, longitud de carreteras, etc) por unidad de área en un rango de peligro o expuesto al peligro. Con la finalidad de mantener la coherencia del análisis de los elementos expuestos con los resultados de peligro, se normalizó los valores de elementos expuestos en una escala de 0 a 1 usando la siguiente ecuación.

$$\text{Valor normalizado} = \frac{Vx - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde “Vx”, es el valor observado del elemento expuesto, “Vmin”, valor mínimo en todo el rango del elemento expuesto, “Vmax”, valor máximo en todo el rango del elemento expuesto. Luego se realizó la clasificación de los elementos expuestos en cuatro (4) rangos de exposición, “bajo”, “medio”, “alto” y “muy alto”. Esta normalización se realizó para los elementos expuestos de centros poblados y distritos. Solo para los centros poblados se consideró excluir del proceso de la normalización a centros poblados con más de 1000 habitantes que es aproximadamente el doble del valor máximo en un gráfico de bigotes, es decir, se excluyeron a los valores atípicos del proceso de normalización, en estos casos, se les asignó el valor de máxima exposición (1). El gráfico de bigote o de cajas (se muestra en los anexos), representa la distribución de los datos en cuartiles, además, muestra el promedio y valores atípicos de los datos, estos últimos se excluyen del proceso de normalización. En el caso de la normalización de las viviendas se adoptó el mismo criterio, se excluyeron del proceso de normalización a las viviendas con más de 300 viviendas, a estas viviendas se les asignó el valor de 1.

Por otro lado, para determinar el valor de exposición se aplicó el método heurístico (cualitativo), a saber, al valor de la vivienda y población se le asignó un valor de 0.5.

$$\text{Nivel de exposición} = PTn(0.5) + VTn(0.5) \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde, “PTn” y “VTn” representan la población y vivienda total normalizados respectivamente.

Finalmente, los valores de exposición a nivel de centro poblado y a nivel de distrito se clasificaron en cuatro (4 rangos) de exposición: “Bajo”, “Medio”, “Alto” y “Muy Alto”.

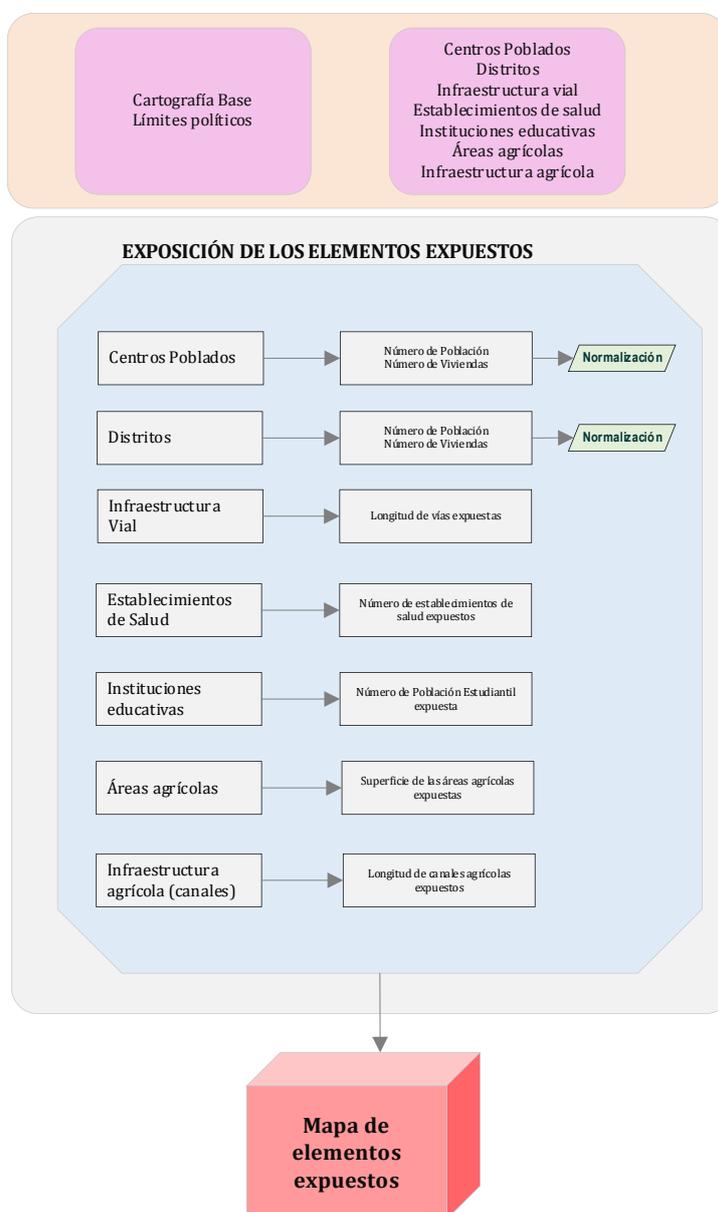
Tabla 22. Niveles de exposición de centros poblados y distritos.

| Valor de Exposición | Nivel de Exposición |
|---------------------------|---------------------|
| $0.000 \leq E \leq 0.010$ | Bajo |
| $0.011 \leq E \leq 0.100$ | Medio |
| $0.101 \leq E \leq 0.350$ | Alto |
| $0.351 \leq E \leq 1.000$ | Muy Alto |

Para el caso de instituciones educativas, establecimientos de salud, infraestructura y superficies agrícolas se realizó la exposición al peligro como criterio para zonificar el riesgo, con relación a su ubicación espacial del peligro, según los resultados obtenidos para los Escenarios de Riesgo 1 y 2.

En el siguiente gráfico se muestra los elementos expuestos que se han considerado en el estudio a escala departamental.

Gráfico 5. Flujograma de evaluación de elementos expuestos.



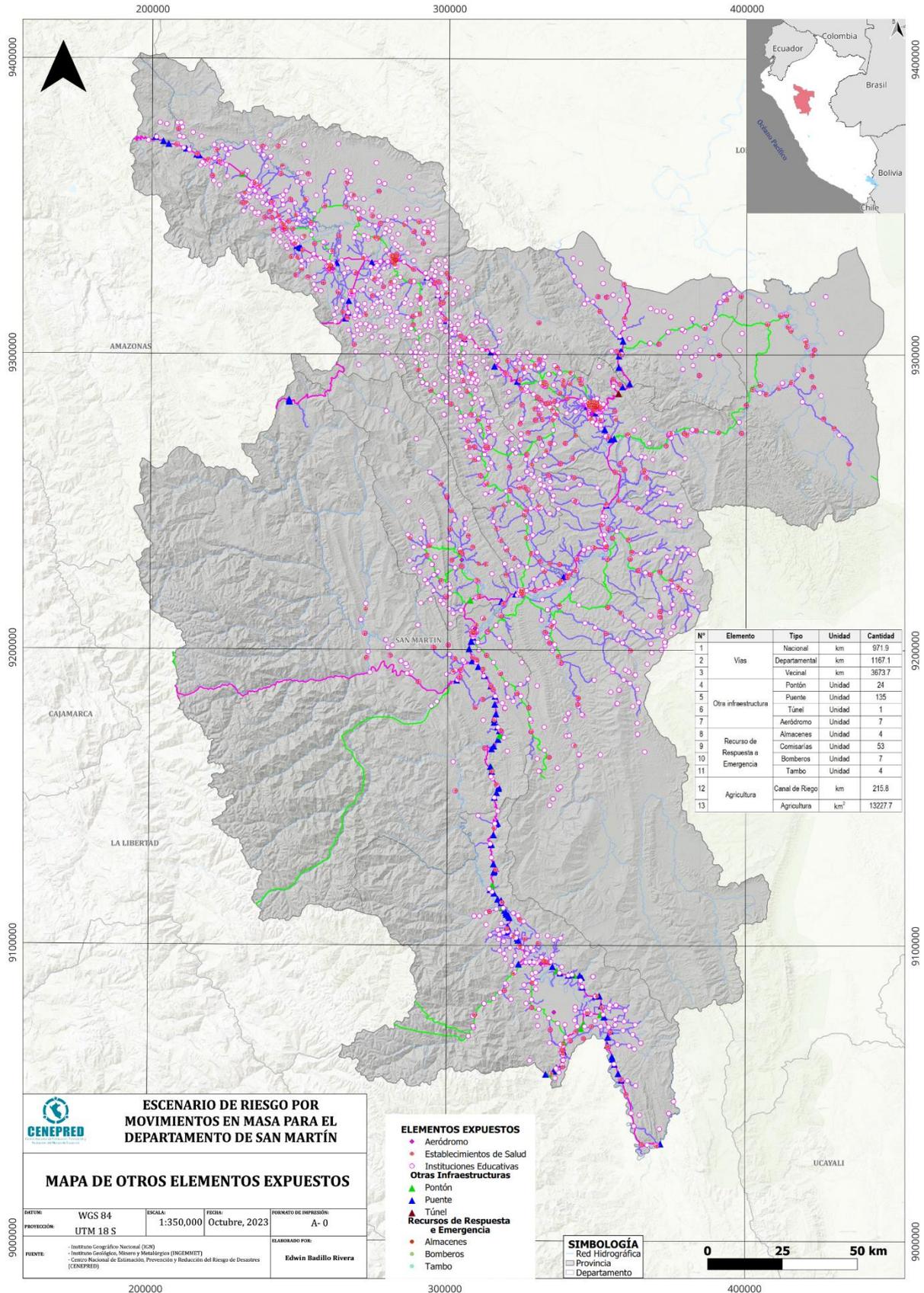
A continuación, se presenta la tabla resumen de los elementos expuestos en los que se realizará el análisis de exposición por la superposición o intersección con el peligro, dando como resultado el escenario de riesgo.

Tabla 23. Tabla resumen de elementos expuestos.

| N° | Elemento | Tipo | Unidad | Cantidad |
|----|-----------------------------------|----------------|-----------------|----------|
| 1 | Vías | Nacional | km | 971.9 |
| 2 | | Departamental | km | 1167.1 |
| 3 | | Vecinal | km | 3673.7 |
| 4 | Otra infraestructura | Pontón | Unidad | 24 |
| 5 | | Puente | Unidad | 135 |
| 6 | | Túnel | Unidad | 1 |
| 7 | | Aeródromo | Unidad | 7 |
| 8 | Recurso de Respuesta a Emergencia | Almacenes | Unidad | 4 |
| 9 | | Comisarias | Unidad | 53 |
| 10 | | Bomberos | Unidad | 7 |
| 11 | | Tambo | Unidad | 4 |
| 12 | Agricultura | Canal de Riego | km | 215.8 |
| 13 | | Agricultura | km ² | 13227.7 |

En la siguiente figura se muestra el mapa de la ubicación espacial de los elementos expuestos del tipo, vías de comunicación, otras infraestructuras, recursos de respuesta a emergencia y agricultura.

Figura 10. Otros elementos expuestos del departamento de San Martín.



3.3 Determinación de los escenarios de riesgo

Para determinar los escenarios de riesgo para el Escenario-1 y el Escenario-2, se utilizó los sistemas de información geográfica (SIG). Estos escenarios de riesgo resultan de la multiplicación y superposición espacial entre cada escenario de peligro con los elementos expuestos analizados en el capítulo previo.

Para esto se realizó la conversión de los ráster de cada escenario de peligro a formato vectorial usando la herramienta de poligonizar de QGIS, finalmente se realizó la multiplicación o superposición espacial entre los escenarios de peligro y los elementos expuestos utilizando la calculadora ráster de QGIS, como producto se obtuvo dos escenarios de riesgos para cada elemento expuesto.

3.3.1 Escenario de Riesgo 1

El Escenario de Riesgo 1 resulta de la multiplicación espacial entre peligro por movimientos en masa del Escenario 1 (escenario de Fenómeno El Niño) por los elementos expuestos. Para el caso de los centros poblados, la clasificación está en función de la siguiente tabla de niveles de riesgo.

Tabla 24. Niveles de Riesgo, Escenario 1.

| Valor de Peligro (A) | Valor de Exposición (B) | Valor de Riesgo (A*B) | Nivel de Riesgo | Rango de Riesgo |
|----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|
| 0.372 | 0.010 | 0.004 | Bajo | $0.000 \leq R \leq 0.004$ |
| 0.523 | 0.100 | 0.052 | Medio | $0.005 \leq R \leq 0.052$ |
| 0.635 | 0.350 | 0.222 | Alto | $0.053 \leq R \leq 0.222$ |
| 1.000 | 1.000 | 1.000 | Muy Alto | $0.223 \leq R \leq 1.00$ |

En cuanto al elemento expuesto de distritos, el nivel de riesgo fue asignado usando una matriz de doble entrada que permite evaluar la combinación de los factores de peligro y exposición al peligro.

Tabla 25. Nivel de Riesgo para el elemento expuesto distritos.

| Peligro | Nivel de Riesgo | | | |
|------------|-----------------|-------|-------|----------|
| | Muy Alto | Medio | Alto | Muy Alto |
| Alto | Medio | Alto | Alto | Muy Alto |
| Medio | Medio | Medio | Medio | Alto |
| Bajo | Bajo | Bajo | Medio | Alto |
| Exposición | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto |

Por último, para los elementos expuestos de vías de comunicación (incluidos puentes, pontón, túnel, aeródromo), instituciones educativas, establecimientos de salud, recursos de respuesta a emergencia y agricultura (canal de riego y área agrícola), la determinación de los niveles de riesgo se realizó usando el

cruce espacial entre los elementos expuestos y el nivel de peligro, el nivel de este último se les asignó a los elementos expuestos como nivel de riesgo, es decir, para una institución educativa que se ubica en zona de peligro “Alto” le corresponde un nivel de exposición “Alto” y por lo tanto, un nivel de riesgo “Alto”.

3.2 Escenario de Riesgo 2

El Escenario de Riesgo 2 resulta de la multiplicación espacial entre peligro por movimientos en masa del Escenario 2 (anomalías de precipitación expresados en percentil99) por los elementos expuestos. Para el caso de los centros poblados, al igual que en el Escenario de Riesgo 1, la clasificación está en función de la siguiente tabla de niveles de riesgo.

Tabla 26. Niveles de Riesgo, Escenario 2.

| Valor de Peligro (A) | Valor de Exposición (B) | Valor de Riesgo (A*B) | Nivel de Riesgo | Rango de Riesgo |
|----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|
| 0.372 | 0.010 | 0.004 | Bajo | $0.000 \leq R \leq 0.004$ |
| 0.523 | 0.100 | 0.052 | Medio | $0.005 \leq R \leq 0.052$ |
| 0.635 | 0.350 | 0.222 | Alto | $0.053 \leq R \leq 0.222$ |
| 1.000 | 1.000 | 1.000 | Muy Alto | $0.223 \leq R \leq 1.00$ |

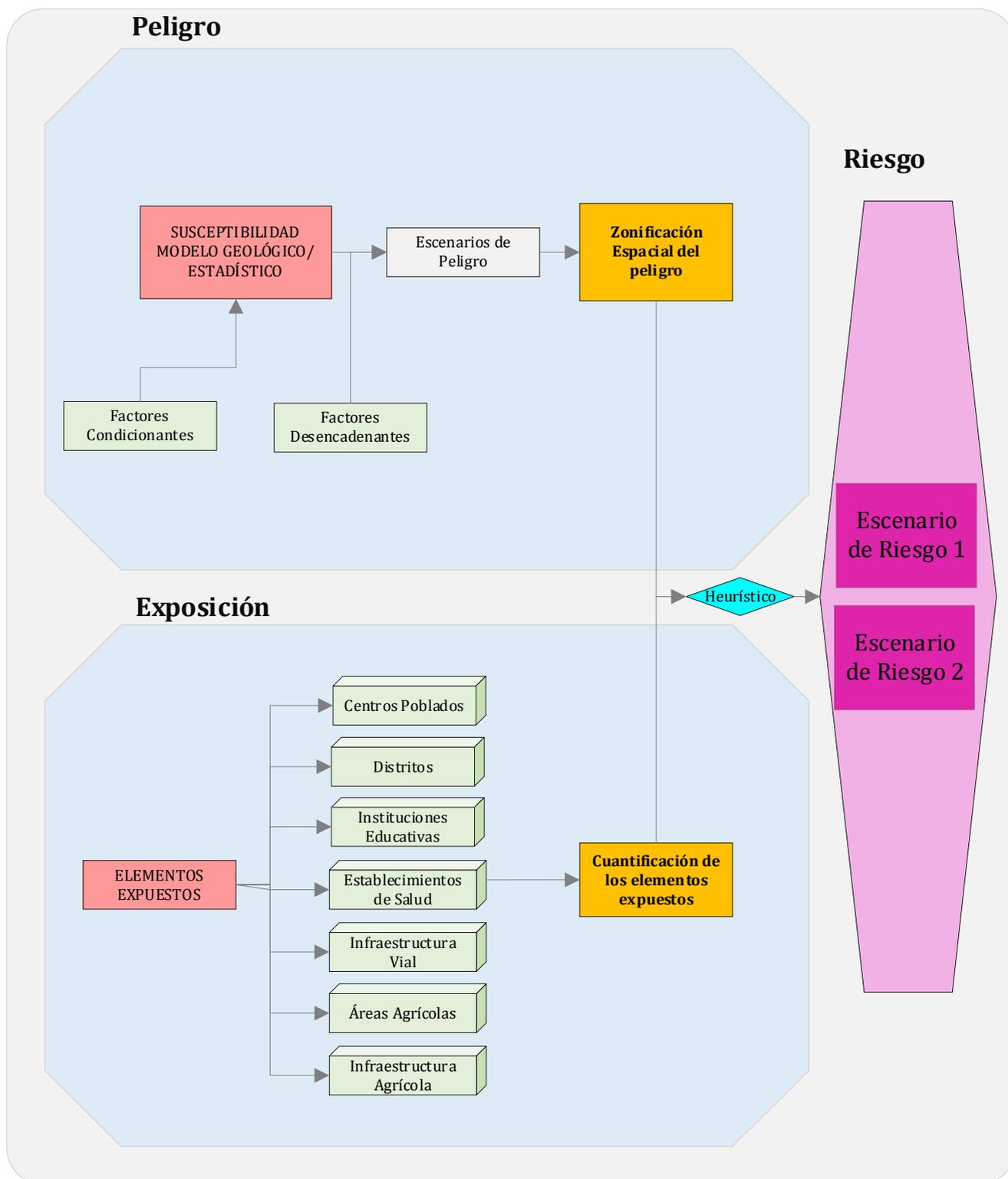
En cuanto al elemento expuesto de distritos, el nivel de riesgo fue asignado usando una matriz de doble entrada que permite evaluar la combinación de los factores de niveles de peligro del Escenario-2 y el nivel de exposición de los distritos.

Tabla 27. Nivel de Riesgo para el elemento expuesto distritos.

| Peligro | Nivel de Riesgo | | | |
|------------|-----------------|-------|----------|----------|
| Muy Alto | Medio | Alto | Muy Alto | Muy Alto |
| Alto | Medio | Alto | Alto | Muy Alto |
| Medio | Medio | Medio | Medio | Alto |
| Bajo | Bajo | Bajo | Medio | Alto |
| Exposición | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto |

Por último, para los elementos expuestos de vías de comunicación (incluidos puentes, pontón, túnel, aeródromo), instituciones educativas, establecimientos de salud, recursos de respuesta a emergencia y agricultura (canal de riego y área agrícola), la determinación de los niveles de riesgo se realizó usando el cruce espacial entre los niveles de peligro del Escenario-2 y los elementos, el nivel peligro se les asignó a los elementos expuestos como nivel de riesgo, es decir, para una institución educativa que se ubica en zona de peligro “Alto” le corresponde un nivel de exposición “Alto” y por lo tanto, un nivel de riesgo “Alto”.

Gráfico 6. Flujoograma de evaluación de escenarios de riesgo.



CAPÍTULO IV – RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Susceptibilidad por movimientos en masa

En este capítulo se presenta la susceptibilidad por movimientos en masa sobre la base del modelo que propone el INGEMMET para el departamento de San Martín.

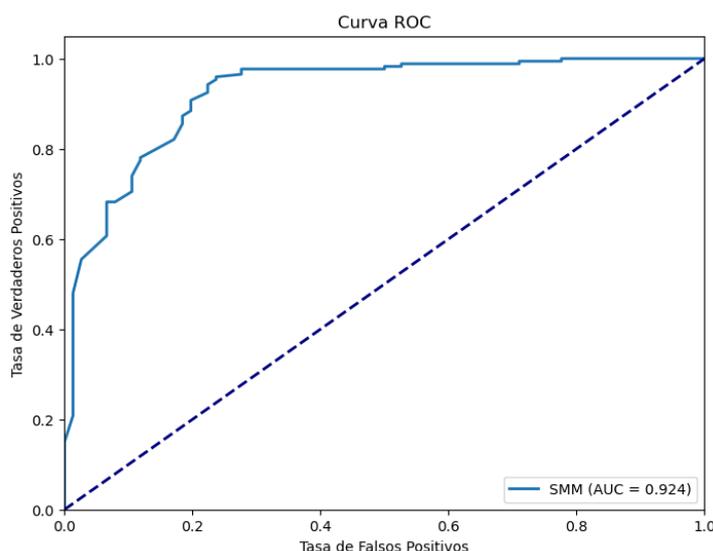
En la siguiente tabla se muestra los niveles de susceptibilidad del departamento de San Martín.

Tabla 28. Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa por factores condicionantes.

| Nivel | Rango |
|----------|-----------------------------|
| Bajo | $0.000 \geq SMM \leq 0.463$ |
| Medio | $0.464 \geq SMM \leq 0.530$ |
| Alto | $0.531 \geq SMM \leq 0.580$ |
| Muy Alto | $0.581 \geq SMM \leq 1.000$ |

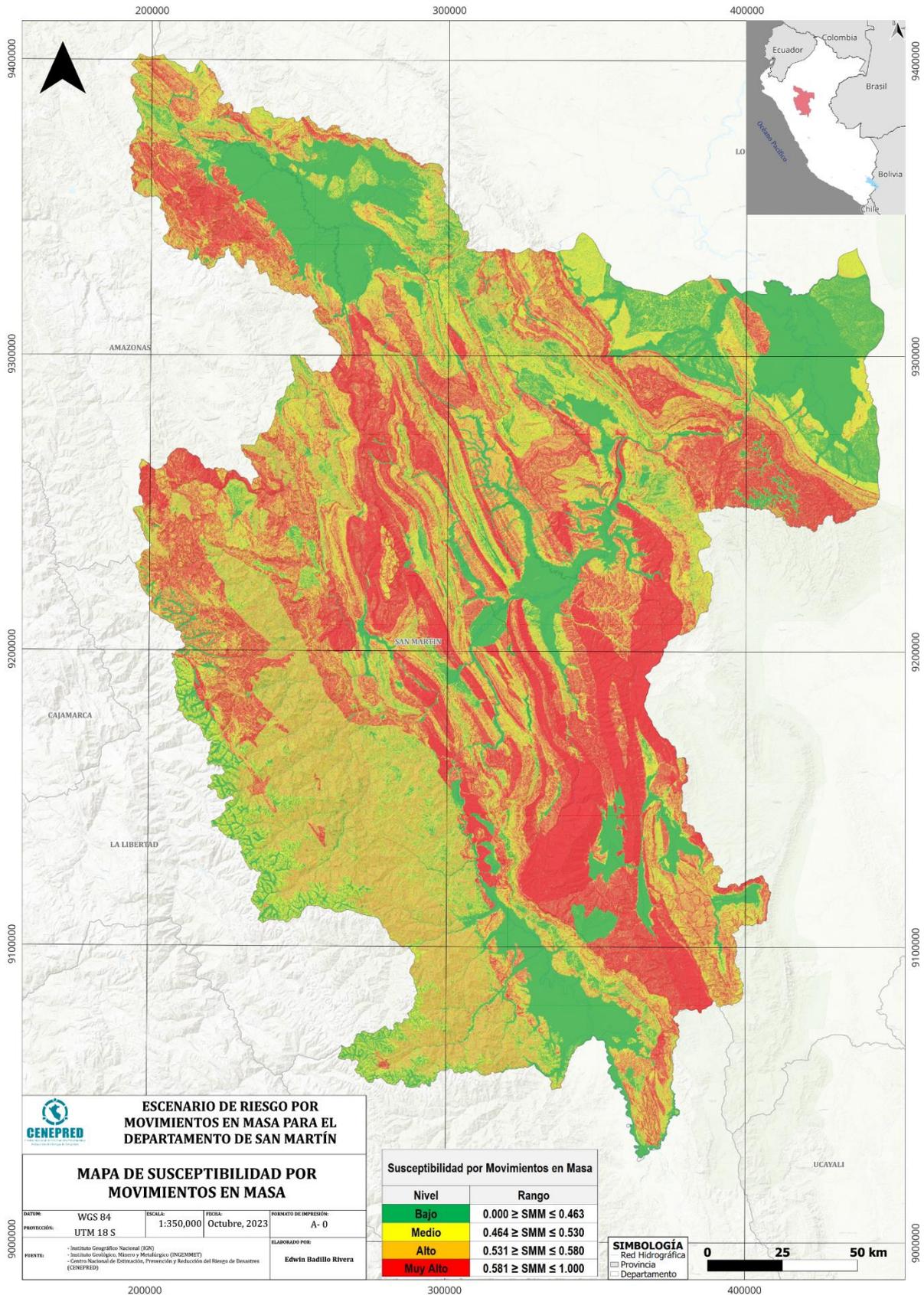
Se verificó la capacidad de predicción del mapa de susceptibilidad bajo la estadística de la curva ROC, que mide la fiabilidad de la asociación de los factores condicionantes con la ocurrencia de movimientos en masa. Se obtuvo un valor de AUC 0.924; valor que es superior al valor de $AUC > 0.9$ considerado como un excelente modelo de la precisión de predicción de la susceptibilidad a movimientos en masa por factores condicionantes, según lo señalado por Pourghasemi et al., (2013).

Gráfico 7. Valor de AUC del mapa de susceptibilidad por movimientos en masa.



En el siguiente mapa se muestra la susceptibilidad a movimientos en masa por factores condicionantes para el departamento de San Martín.

Figura 11. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa para San Martín.



4.2 Peligro por movimientos en masa a escala departamental

4.2.1 Escenario 1 (E-1) – Fenómeno El Niño

En este apartado se presenta el mapa de peligro por movimientos en masa bajo el escenario de un Fenómeno El Niño Global o Costero para el departamento de San Martín. En la siguiente tabla se presenta los rangos de peligro producto de la multiplicación espacial entre el factor condicionante y desencadenante.

Tabla 29. Niveles de peligro por movimientos en masa a escala departamental.

| Nivel | Valor de SFC (0.75) A | Valor SFD (0.25) B | Valor de Peligro A*B |
|----------|-----------------------|--------------------|----------------------|
| Bajo | 0.463 | 0.100 | 0.372 |
| Medio | 0.530 | 0.500 | 0.523 |
| Alto | 0.580 | 0.800 | 0.635 |
| Muy Alto | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

La superficie expuesta (en km²) a los diferentes niveles de peligro para el Escenario-1 en el departamento de San Martín se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 30. Superficie expuesta al peligro por movimientos en masa en el departamento de San Martín.

| Nivel | Área (km ²) | % |
|----------|-------------------------|------|
| Bajo | 4426.2 | 8.7 |
| Medio | 9710.4 | 19.0 |
| Alto | 25123.0 | 49.3 |
| Muy Alto | 11749.4 | 23.0 |

En el departamento de San Martín, bajo un escenario de Fenómeno El Niño, el 49.3% de su territorio está en un nivel de peligro “Alto” y el 23.0% en un nivel “Muy Alto” de peligro, por último, el 27.7% restante está en un nivel de peligro “Medio” y “Bajo” del total de su territorio.

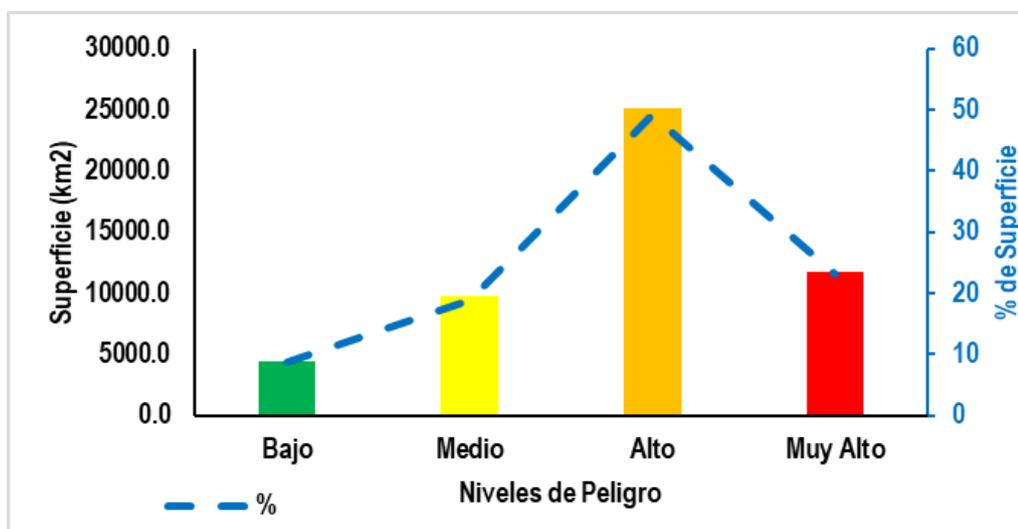
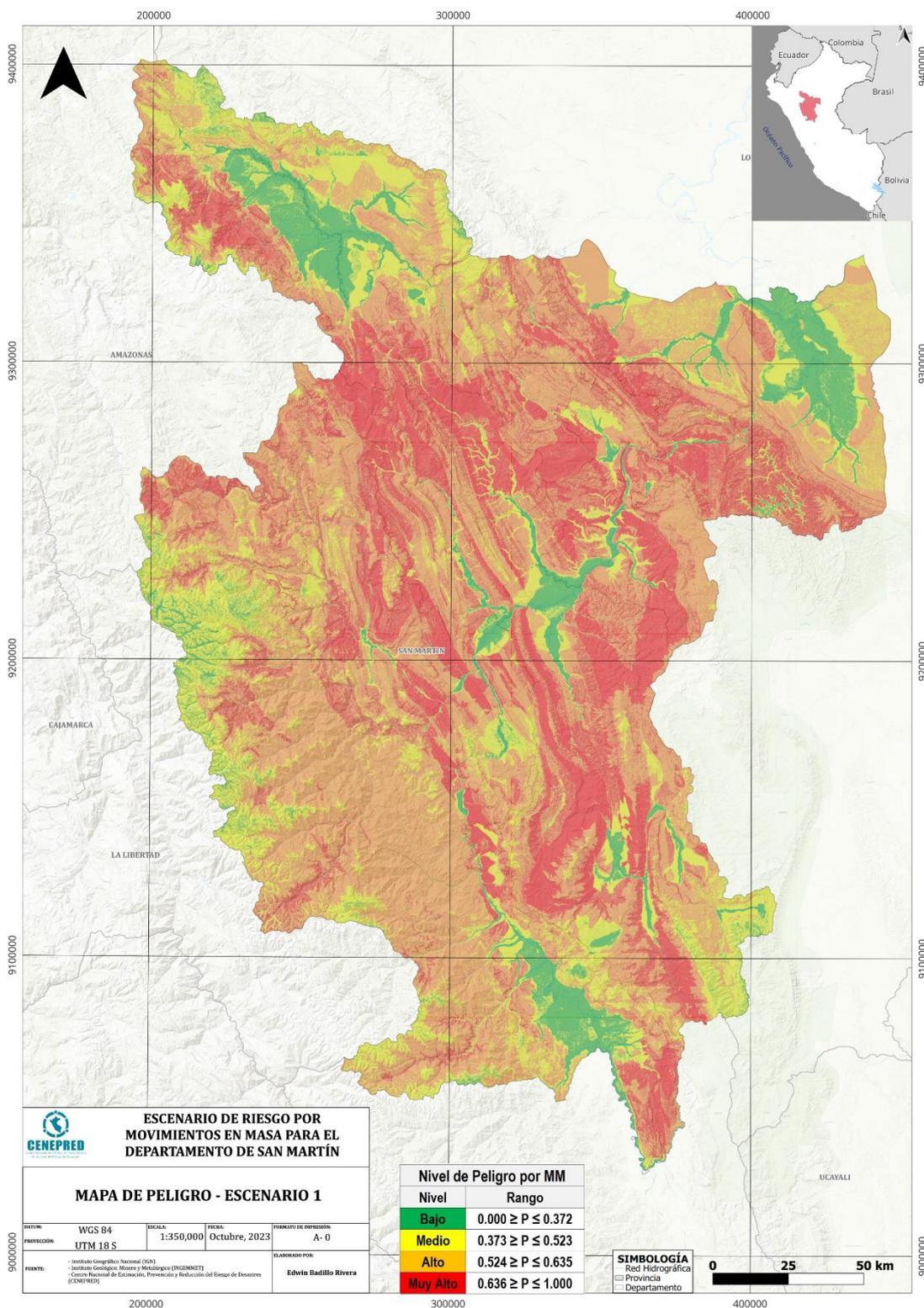


Gráfico 8. Niveles de peligro por movimientos en masa para el Escenario-1.

En el siguiente mapa se presenta el mapa de peligro por movimientos en masa a escala departamental para el Escenario 1 del Fenómeno El Niño.

Figura 12. Mapa de peligro por movimientos en masa para San Martín para el E-1.



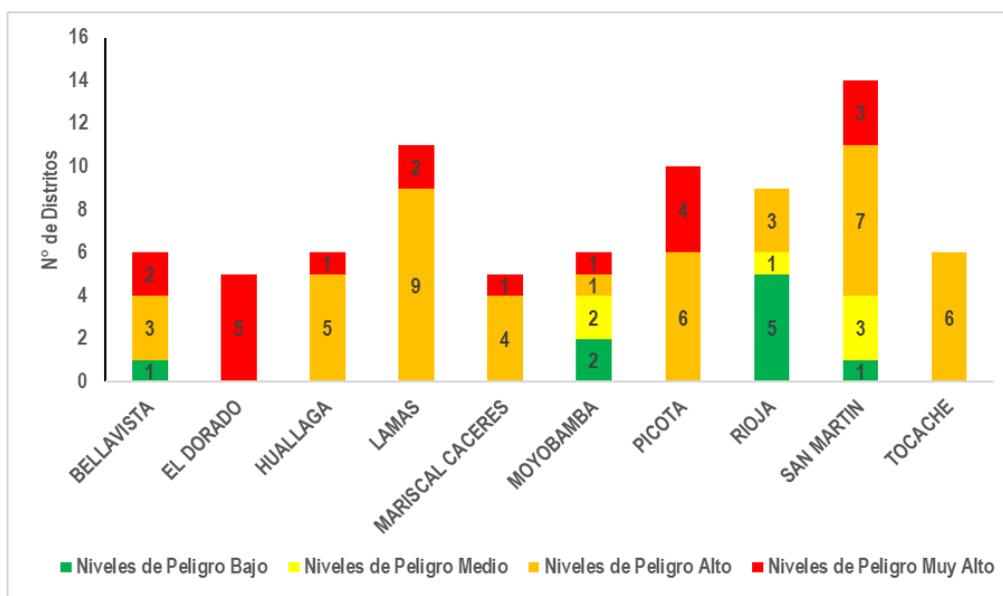
En la siguiente tabla se muestra los niveles de peligro por movimientos en masa cuantificados a nivel distrital para el departamento de San Martín, como se indicó en el apartado metodológico, el nivel de peligro a nivel distrital fue estimado considerando como criterio la asignación del nivel de peligro que presenta mayor superficie o el más predominante en toda la extensión del distrito. En los anexos, se presenta la tabla completa de los niveles de peligro en cada distrito expresados bajo superficie y porcentajes. De manera general, en el departamento de San Martín, bajo el Escenario-1 de peligro predomina el nivel de peligro “Alto”, en total 44 distritos, seguido de 19 distritos en el nivel “Muy Alto”, lo restante 9 y 6 distritos están en los niveles “Bajo” y “Medio” respectivamente. Lo que equivale a decir que aproximadamente el 56% de los distritos están en el nivel de peligro “Alto” y el 24% en el nivel “Muy Alto”.

Tabla 31. Número de distritos por niveles de peligro a nivel de provincia.

| Provincia | Niveles de Peligro | | | |
|------------------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto |
| Bellavista | 1 | 0 | 3 | 2 |
| El Dorado | 0 | 0 | 0 | 5 |
| Huallaga | 0 | 0 | 5 | 1 |
| Lamas | 0 | 0 | 9 | 2 |
| Mariscal Cáceres | 0 | 0 | 4 | 1 |
| Moyobamba | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Picota | 0 | 0 | 6 | 4 |
| Rioja | 5 | 1 | 3 | 0 |
| San Martín | 1 | 3 | 7 | 3 |
| Tocache | 0 | 0 | 6 | 0 |
| Total | 9 | 6 | 44 | 19 |

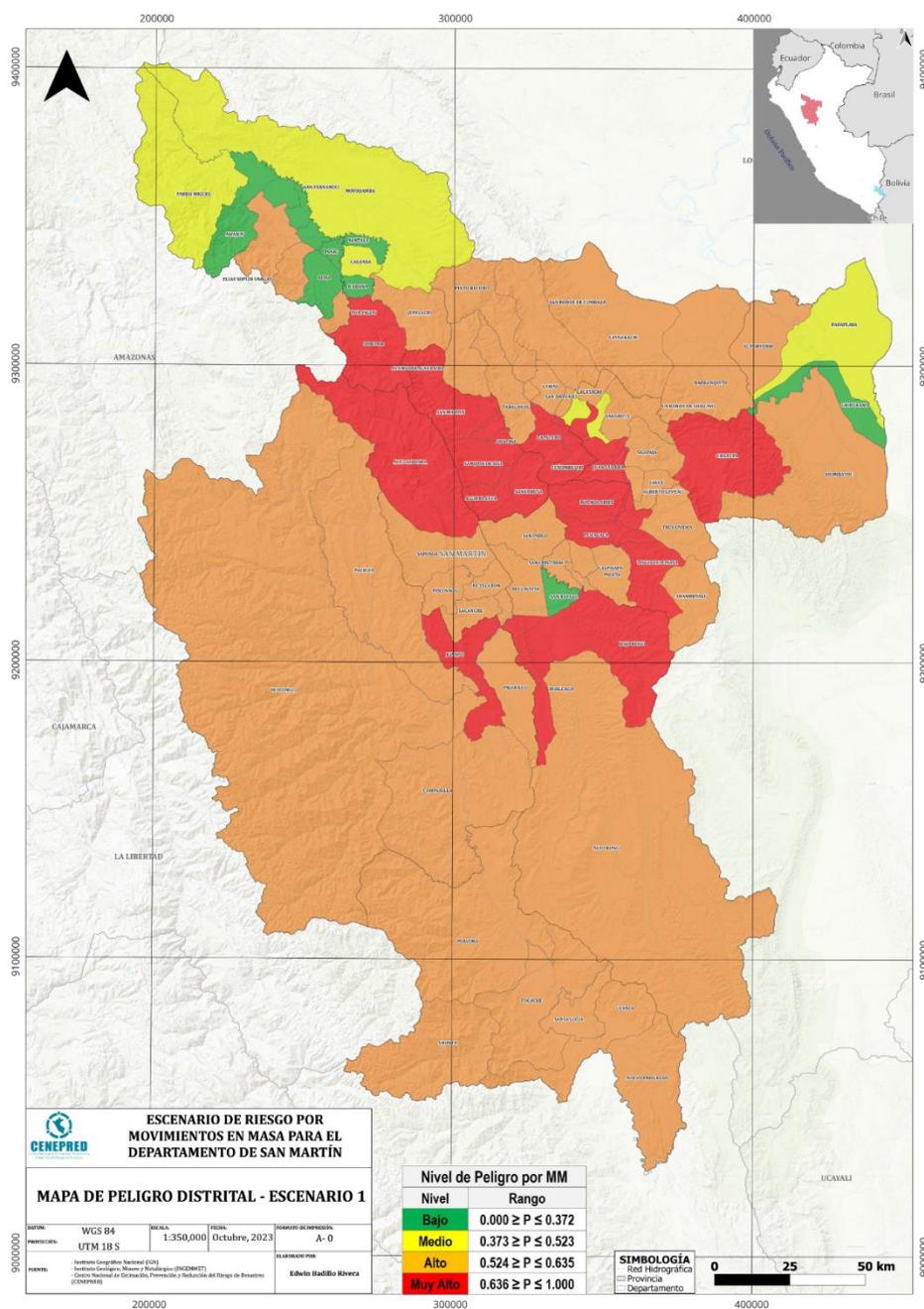
Las provincias de Lamas, Picota y San Martín presentan la mayor cantidad de distritos con el nivel de peligro “Alto” y “Muy Alto” (~40% del total de distritos), mientras que en la provincia de El Dorado todos los distritos presentan un nivel de peligro “Muy Alto”.

Gráfico 9. Niveles de peligro a nivel provincial.



En la siguiente figura se presenta el mapa de peligro por movimientos en masa a nivel distrital para el Escenario 1 del Fenómeno El Niño. Del análisis visual de los resultados del peligro a nivel distrital para el departamento de San Martín, se observa que los distritos del sur, suroeste, noroeste y extremo noreste (en su mayoría) del departamento de San Martín presentan un nivel de peligro “Alto”, mientras que en centro (de norte a sur) del departamento de San Martín, los distritos presentan un nivel de peligro “Muy Alto”, por último, los distritos en los niveles de peligro “Bajo” y “Medio” están ubicados en el extremo norte del departamento de estudio (en su mayoría) que se relacionan con las altitudes más bajas del departamento.

Figura 13. Mapa de peligro por movimientos en masa a nivel distrital.



4.2.2 Escenario 2 (E-2) – Precipitaciones máxima diarias bajo el P99

En este apartado se presenta el mapa de peligro por movimientos en masa bajo el escenario de precipitaciones máximas diarias bajo el percentil 99 (P99), Escenario-2, para el departamento de San Martín. En la siguiente tabla se presenta los rangos de peligro producto de la multiplicación espacial entre el factor condicionante y desencadenante.

Tabla 32. Niveles de peligro por movimientos en masa a escala departamental.

| Nivel | Valor de SFC (0.75) A | Valor SFD (0.25) B | Valor de Peligro A*B |
|----------|-----------------------|--------------------|----------------------|
| Bajo | 0.463 | 0.100 | 0.372 |
| Medio | 0.530 | 0.500 | 0.523 |
| Alto | 0.580 | 0.800 | 0.635 |
| Muy Alto | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

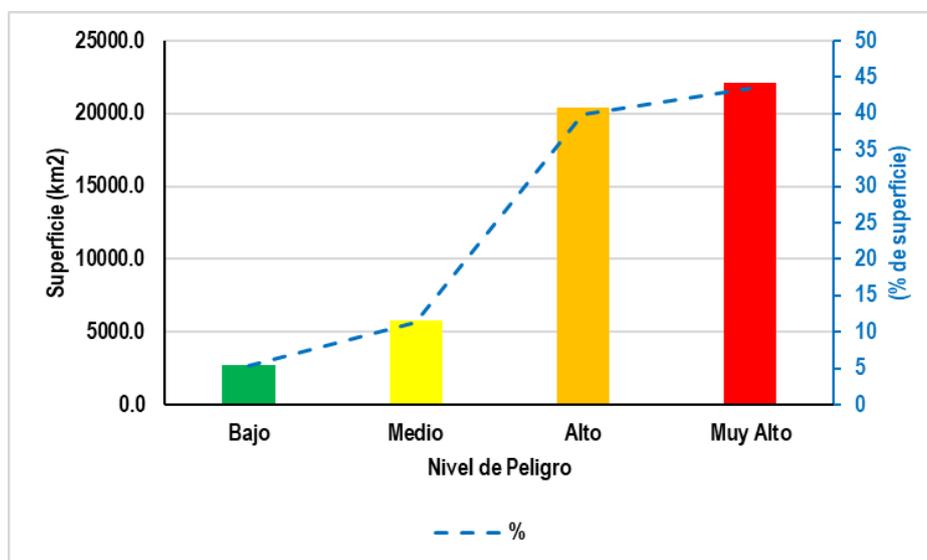
La superficie expuesta (en km²) a los diferentes niveles de peligro para el Escenario-2 en el departamento de San Martín se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 33. Superficie expuesta al peligro por movimientos en masa en el departamento de San Martín.

| Nivel | Área (km ²) | % |
|----------|-------------------------|------|
| Bajo | 2741.1 | 5.4 |
| Medio | 6130.3 | 12.0 |
| Alto | 20491.29 | 40.2 |
| Muy Alto | 21639.1 | 42.4 |

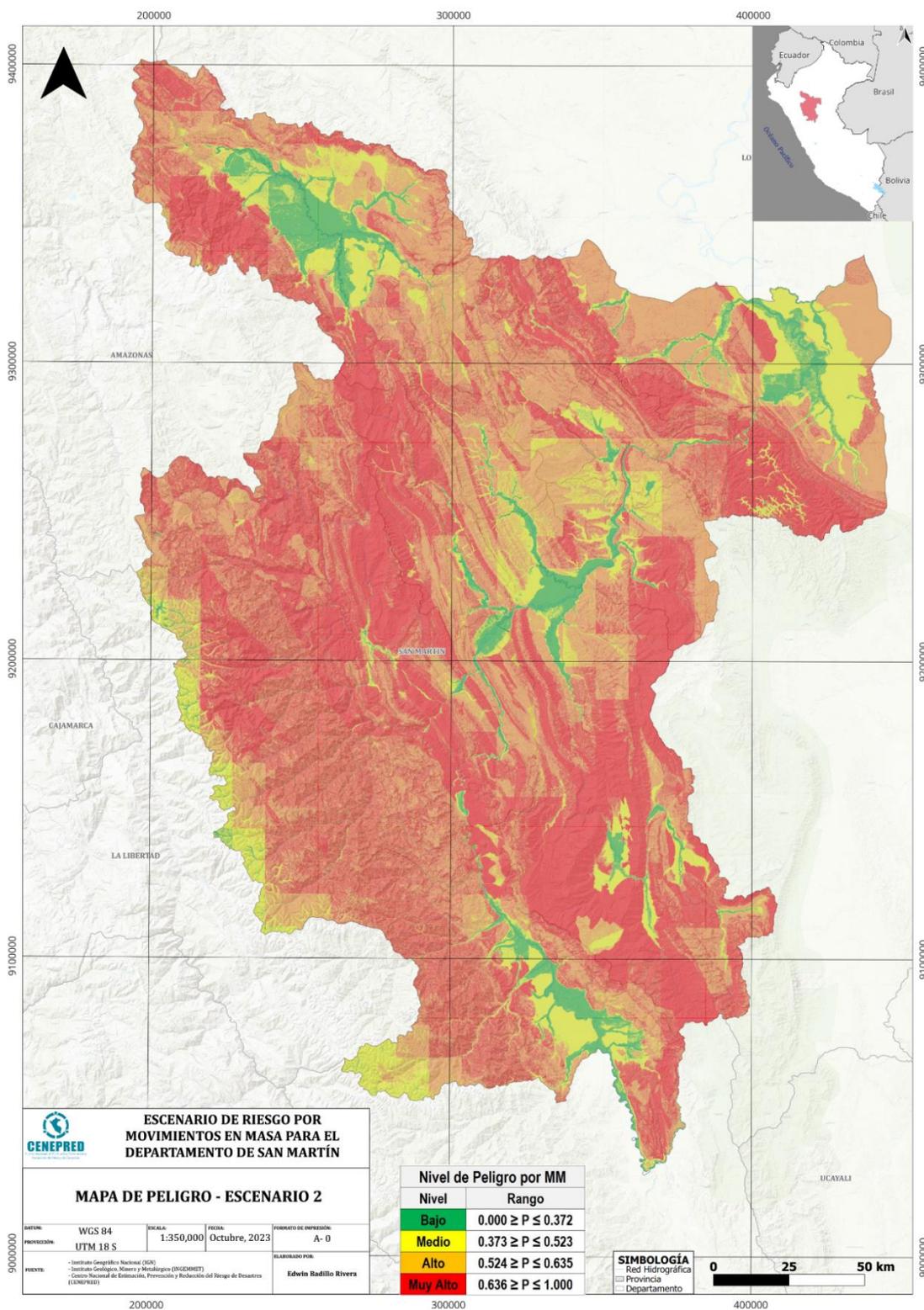
En el departamento de San Martín, bajo el escenario de precipitaciones máximas diarias (P99), el 42.4% de su territorio está en un nivel de peligro “Muy Alto” y el 40.2% en el nivel de peligro “Alto”, por último, el 17.4% restante está en el nivel de peligro “Medio” y “Bajo” del total de su territorio.

Gráfico 10. Niveles de peligro por movimientos en masa para el Escenario-2.



En el siguiente mapa se presenta el mapa de peligro por movimientos en masa a escala departamental para el Escenario 2 de precipitaciones máximas bajo el P99.

Figura 14. Mapa de peligro por movimientos en masa para San Martín para el E-2.



En la siguiente tabla se muestra los niveles de peligro por movimientos en masa cuantificados a nivel distrital para el departamento de San Martín, como se indicó en el apartado metodológico, el nivel de peligro a nivel distrital fue estimado considerando como criterio la asignación del nivel de peligro que presenta mayor superficie o el más predominante en toda la extensión del distrito. En los anexos, se presenta la tabla completa de los niveles de peligro en cada distrito (cada nivel) expresados bajo superficie y porcentajes para el Escenario-2.

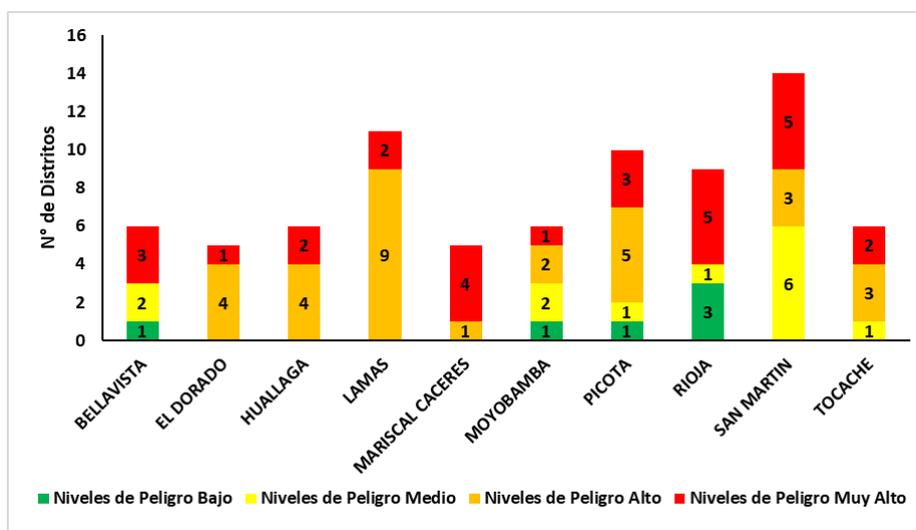
Tabla 34. Número de distritos por niveles de exposición a nivel de provincia.

| Provincia | Niveles de Peligro | | | |
|------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto |
| Bellavista | 1 | 2 | 0 | 3 |
| El Dorado | 0 | 0 | 4 | 1 |
| Huallaga | 0 | 0 | 4 | 2 |
| Lamas | 0 | 0 | 9 | 2 |
| Mariscal Cáceres | 0 | 0 | 1 | 4 |
| Moyobamba | 1 | 2 | 2 | 1 |
| Picota | 1 | 1 | 5 | 3 |
| Rioja | 3 | 1 | 0 | 5 |
| San Martín | 0 | 6 | 3 | 5 |
| Tocache | 0 | 1 | 3 | 2 |
| Total | 6 | 13 | 31 | 28 |

En el departamento de San Martín, bajo el Escenario-2 de peligro predominan los niveles de peligro “Alto” (31 distritos) y “Muy Alto” (28 distritos) a nivel distrital; además, 31 distritos están en el nivel de peligro “Medio” y finalmente los 6 restantes, están en el nivel “Bajo”. Lo anterior, equivale a decir que, aproximadamente el 76% de los distritos están en el nivel de peligro “Alto” y “Muy Alto”.

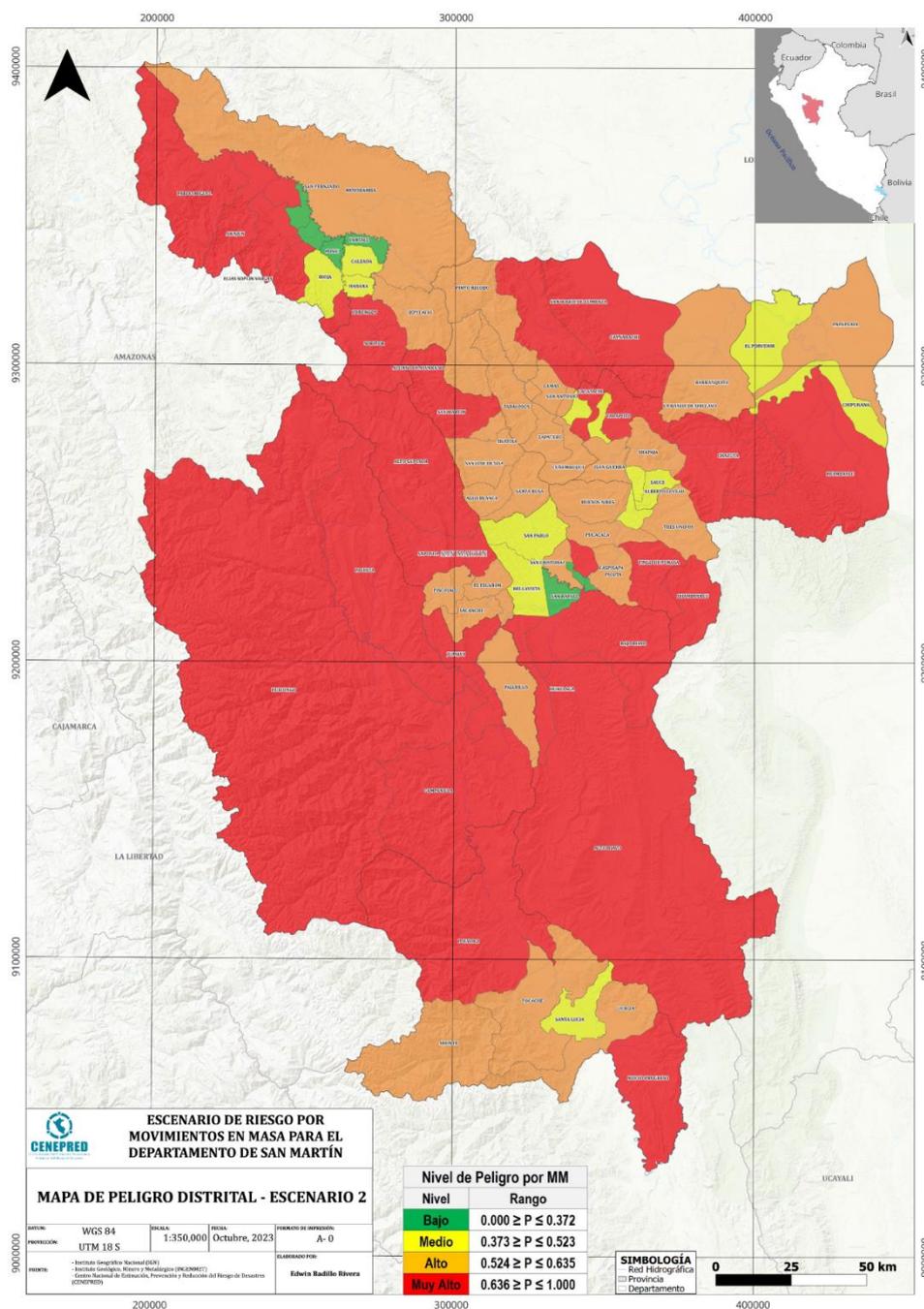
Las provincias de Lamas, Picota y San Martín presentan la mayor cantidad de distritos bajo el nivel de peligro “Alto” y “Muy Alto” (~35% del total de distritos), además, en los distritos de las provincias de El Dorado, Huallaga, Lamas y Mariscal Cáceres solo se presentan niveles de peligro “Alto” y “Muy Alto”.

Gráfico 11. Niveles de peligro por distrito a nivel provincial.



En la siguiente figura se presenta el mapa de peligro por movimientos en masa a nivel distrital para el Escenario-2 de precipitaciones máximas bajo el P99. Del análisis visual de los resultados del mapa de peligro por movimientos en masa a nivel distrital (Escenario-2) para el departamento de San Martín, se observa que, en superficie, predomina el nivel de peligro “Muy Alto”, esto abarca, los distritos del extremo occidental, suroriental y algunos del nororiental del departamento de San Martín; mientras que, en la banda central del departamento, predomina el nivel de peligro “Alto”, “Medio y “Bajo”.

Figura 15. Mapa de peligro por movimientos en masa a nivel distrital para el Escenario-2.



4.3 Análisis de los elementos expuestos

4.3.1 Centros Poblados

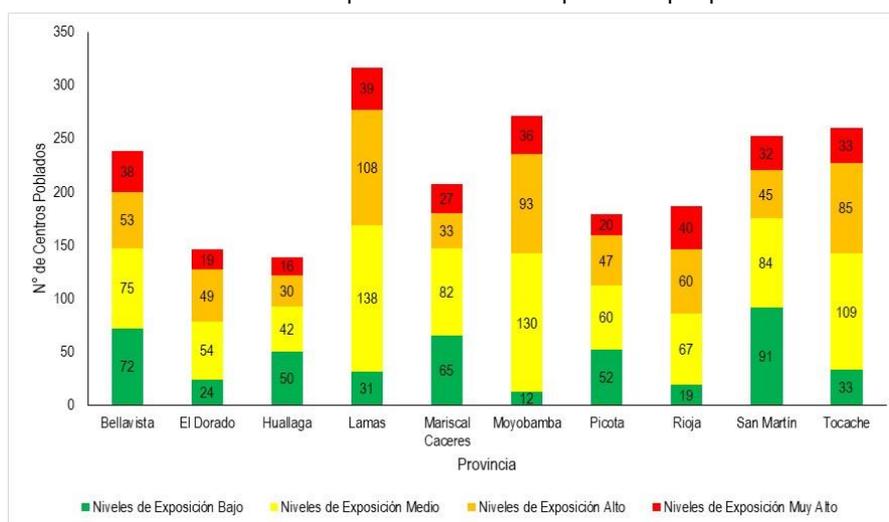
En este apartado se presenta los resultados del análisis de los elementos expuestos. Para el caso de los centros poblados se muestra la distribución (en cantidad) en los niveles de exposición para cada provincia del departamento de San Martín. Se ha determinado que existen 449 (20%), 841 (38%), 603 (27%) y 300 (14%) centros poblados en los niveles de exposición, “Bajo”, “Medio”, “Alto” y “Muy Alto” respectivamente. En el apartado de anexos se muestra la lista completa de centros poblados y su nivel de exposición.

Tabla 35. Nivel de exposición de centros poblados a nivel provincial.

| Provincia | Niveles de Exposición | | | |
|------------------|-----------------------|------------|------------|------------|
| | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto |
| Bellavista | 72 | 75 | 53 | 38 |
| El Dorado | 24 | 54 | 49 | 19 |
| Huallaga | 50 | 42 | 30 | 16 |
| Lamas | 31 | 138 | 108 | 39 |
| Mariscal Cáceres | 65 | 82 | 33 | 27 |
| Moyobamba | 12 | 130 | 93 | 36 |
| Picota | 52 | 60 | 47 | 20 |
| Rioja | 19 | 67 | 60 | 40 |
| San Martín | 91 | 84 | 45 | 32 |
| Tocache | 33 | 109 | 85 | 33 |
| Total | 449 | 841 | 603 | 300 |

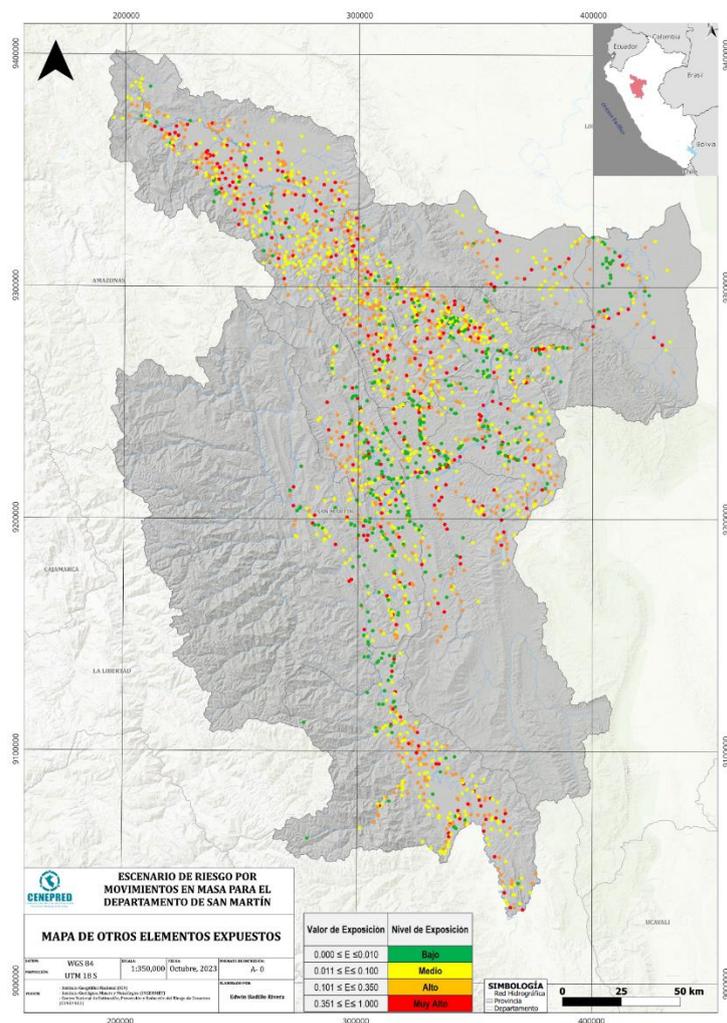
En la siguiente figura se muestra la distribución del nivel de exposición de centros poblados por provincia para el departamento de San Martín.

Gráfico 12. Nivel de exposición de centros poblados por provincia.



Aproximadamente, el 27% del total de centros poblados en los niveles “Alto” y “Muy Alto” están en las provincias de Bellavista (91 centros poblados), Lamas (147 centros poblados), Moyobamba (129 centros poblados), Rioja (100 centros poblados) y Tocache (118 centros poblados).

Figura 16. Mapa de niveles de exposición de los centros poblados.



4.3.2 Distritos

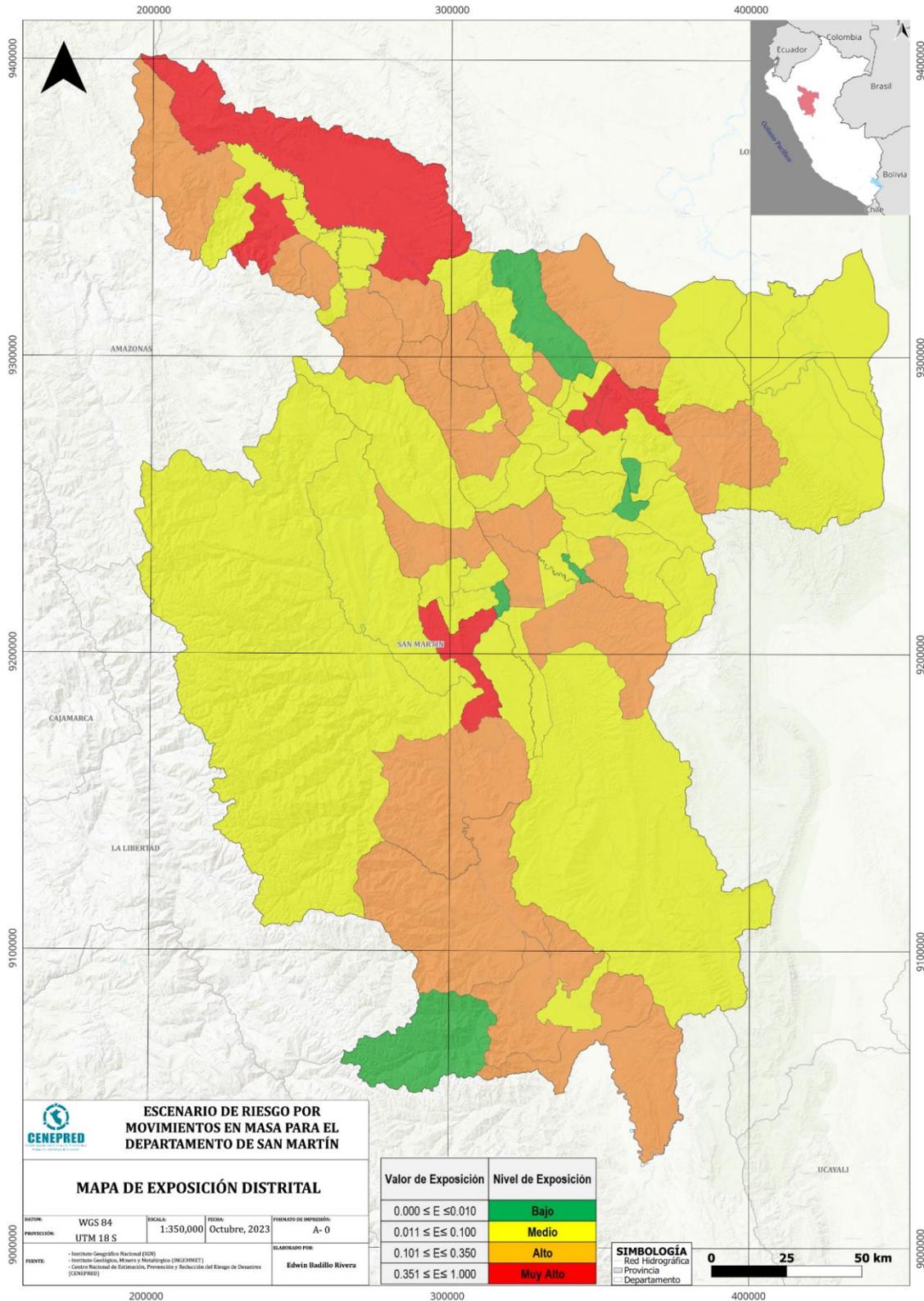
En la siguiente tabla se muestra la distribución del nivel de exposición cuantificados a nivel de distrito estimado a partir del proceso de normalización descrito en el apartado de la metodología.

Tabla 36. Nivel de exposición a nivel provincial.

| Provincia | Niveles de Exposición | | | |
|------------------|-----------------------|-----------|-----------|----------|
| | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto |
| Bellavista | 0 | 3 | 3 | 0 |
| El Dorado | 0 | 3 | 2 | 0 |
| Huallaga | 1 | 4 | 1 | 0 |
| Lamas | 1 | 6 | 4 | 0 |
| Mariscal Cáceres | 0 | 3 | 1 | 1 |
| Moyobamba | 0 | 3 | 2 | 1 |
| Picota | 2 | 7 | 1 | 0 |
| Rioja | 0 | 5 | 3 | 1 |
| San Martín | 1 | 9 | 1 | 3 |
| Tocache | 1 | 1 | 4 | 0 |
| Total | 6 | 44 | 22 | 6 |

Las provincias con mayor número de distritos en los niveles de exposición “Alto” y “Muy Alto” son Lamas, Rioja, San Martín y Tocache.

Figura 17. Nivel de exposición a nivel distrital.



4.4 Riesgo por movimientos en masa a nivel departamental

Para el caso del elemento expuesto de centros poblados y distritos, han sido analizados desde la perspectiva del riesgo, pues se ha realizado el análisis de peligrosidad y exposición, este último, en función de la densidad poblacional y de viviendas bajo el enfoque de la normalización, la combinación tanto de la peligrosidad y de la exposición para ambos elementos expuestos permitió determinar los niveles de riesgo a escala departamental.

Por otro lado, para otros elementos expuestos como establecimientos de salud, instituciones educativas, recursos de respuesta e emergencia (comisarias, bomberos, tambos y almacenes), otras infraestructuras (pontón, puente, túnel), aeródromos, canales de riego y cobertura agrícola se ha realizado el análisis de riesgo en función de la ubicación espacial en el ámbito del peligro, es decir, para todos estos elementos expuestos se les asignó como nivel de riesgo el nivel de peligro sobre el que están ubicados espacialmente. Se hace notar que, para estos elementos expuestos, la escala de trabajo a nivel departamental de los escenarios de riesgos no permite identificar a nivel de detalle características propias de vulnerabilidad (física, económica y ambiental) correspondiente a cada elemento expuesto analizado.

Bajo este criterio se presenta los resultados del Escenario de Riesgo 1 (ER-1, por Fenómeno El Niño) y 2 (ER-2, anomalías de precipitación bajo el P99) en tres apartados, a saber, a nivel de centros poblados, a nivel distrital y de otros elementos expuestos para cada escenario.

4.4.1 Escenario de Riesgo – 1

4.4.1.1 Centros Poblados

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de centros poblados, número de población y número de viviendas bajo el Escenario de Riesgo-1 en el nivel de riesgo “Muy Alto”. Se ha determinado que existen 210 centros poblados (9.6% del total de centros poblados de San Martín), 83521 habitantes (10.3% del total de habitantes de San Martín) y 21056 viviendas (10.0% del total de viviendas de San Martín) expuestas al nivel “Muy Alto” de riesgo frente al peligro de movimientos en masa a escala departamental.

A continuación, se presenta el mapa del Escenario de Riesgo-1 para los centros poblados del departamento de San Martín.

Figura 18. Nivel de Riesgo de los centros poblados para el Escenario-1.

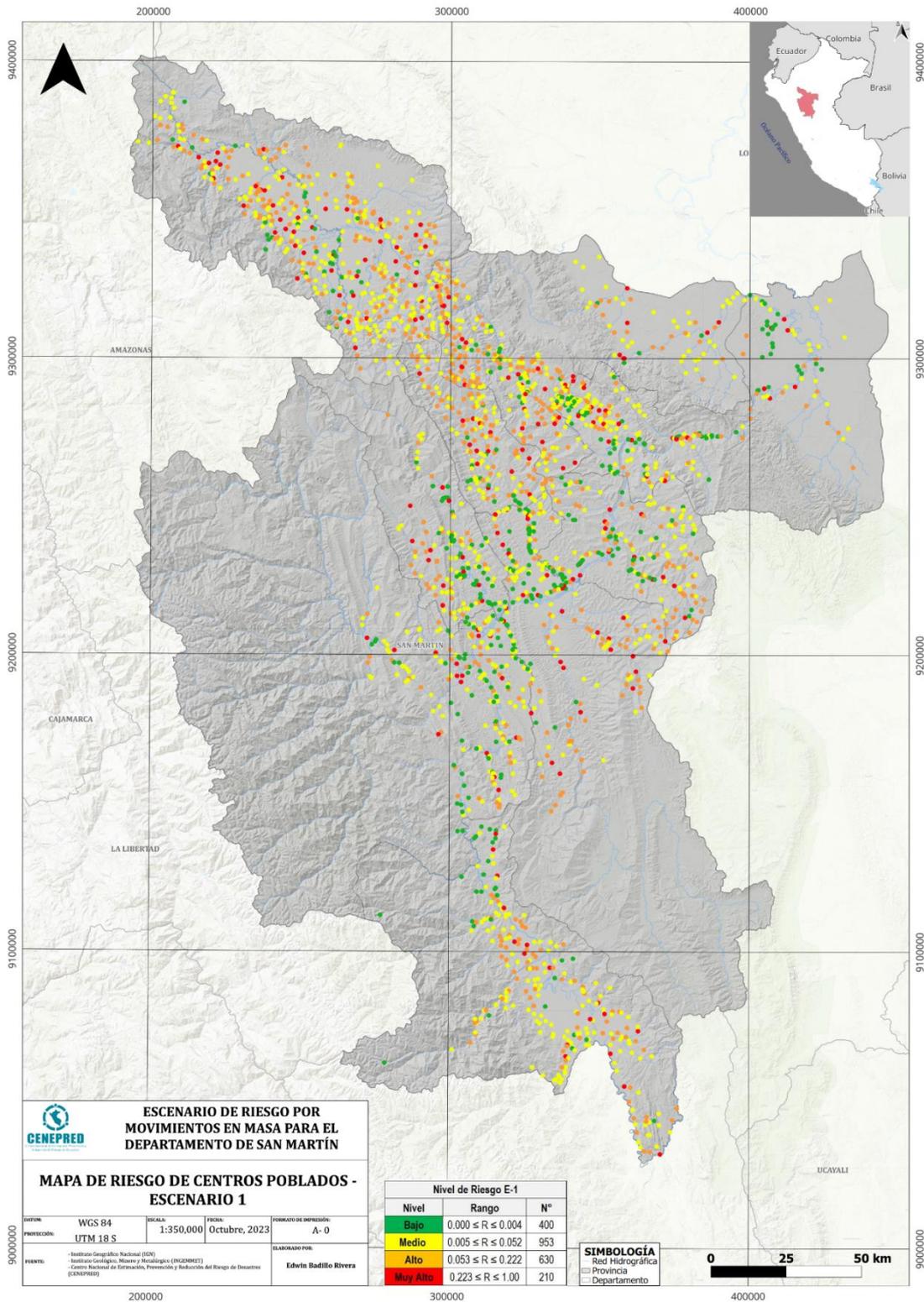


Tabla 37. Escenario de Riesgo – 1 para los centros poblados en el nivel “Muy Alto” de riesgo.

| Provincia | Escenario 1 - Muy Alto (MA) | | |
|------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Riesgo (N° de CCPP) | N° de población en riesgo MA | N° de viviendas en riesgo MA |
| Bellavista | 28 | 4655 | 1189 |
| El Dorado | 14 | 3026 | 749 |
| Huallaga | 14 | 2412 | 694 |
| Lamas | 34 | 4231 | 1093 |
| Mariscal Cáceres | 16 | 9339 | 2326 |
| Moyobamba | 25 | 2748 | 700 |
| Picota | 13 | 3405 | 853 |
| Rioja | 25 | 7361 | 2013 |
| San Martín | 24 | 4541 | 1153 |
| Tocache | 17 | 41803 | 10286 |
| Total | 210 | 83521 | 21056 |
| % | 9.6 | 10.3 | 10.0 |

Por otro lado, en la siguiente tabla se muestra la cantidad de centros poblados, número de población y número de viviendas bajo el Escenario de Riesgo-1 en el nivel de riesgo “Alto”. Se ha determinado que existen 630 centros poblados (28.7% del total de San Martín), 232864 habitantes (28.6% del total de San Martín) y 60419 viviendas (28.7% del total de San Martín) expuestas al nivel “Alto” de riesgo frente al peligro de movimientos en masa a escala departamental.

Tabla 38. Escenario de Riesgo – 1 para los centros poblados en el nivel “Alto” de riesgo.

| Provincia | Escenario 1 - Alto (A) | | |
|------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Riesgo (N° de CCPP) | N° de población en riesgo A | N° de viviendas en riesgo A |
| Bellavista | 86 | 29305 | 7708 |
| El Dorado | 49 | 10326 | 2657 |
| Huallaga | 33 | 10093 | 2719 |
| Lamas | 112 | 31248 | 8341 |
| Mariscal Cáceres | 60 | 8781 | 2316 |
| Moyobamba | 65 | 31072 | 8330 |
| Picota | 37 | 5054 | 1379 |
| Rioja | 49 | 46859 | 11743 |
| San Martín | 66 | 41357 | 10163 |
| Tocache | 73 | 18769 | 5063 |
| Total | 630 | 232864 | 60419 |
| % | 28.7 | 28.6 | 28.7 |

Para el Escenario de Riesgo-1, a nivel de centro poblado, las provincias de Rioja, San Martín y Tocache son las que concentran la mayor cantidad de habitantes y viviendas en los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto” para el Escenario de Riesgo – 1.

Los niveles de riesgo “Bajo” y “Medio” de los centros poblados para el Escenario de Riesgo-1 se presenta a detalle en el apartado de los anexos.

4.4.1.2 Distritos

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de distritos, número de población y número de viviendas bajo el Escenario de Riesgo-1 en el nivel de riesgo “Muy Alto”. Se ha determinado que existen 9 distritos, 221681

habitantes (27.3% del total de San Martín) y 56724 viviendas (7% del total de San Martín) expuestas al nivel de riesgo “Muy Alto” frente al peligro de movimientos en masa a escala departamental.

A continuación, se presenta el mapa del Escenario de Riesgo-1 para los distritos del departamento de San Martín.

Figura 19. Nivel de Riesgo de los distritos para el Escenario-1.

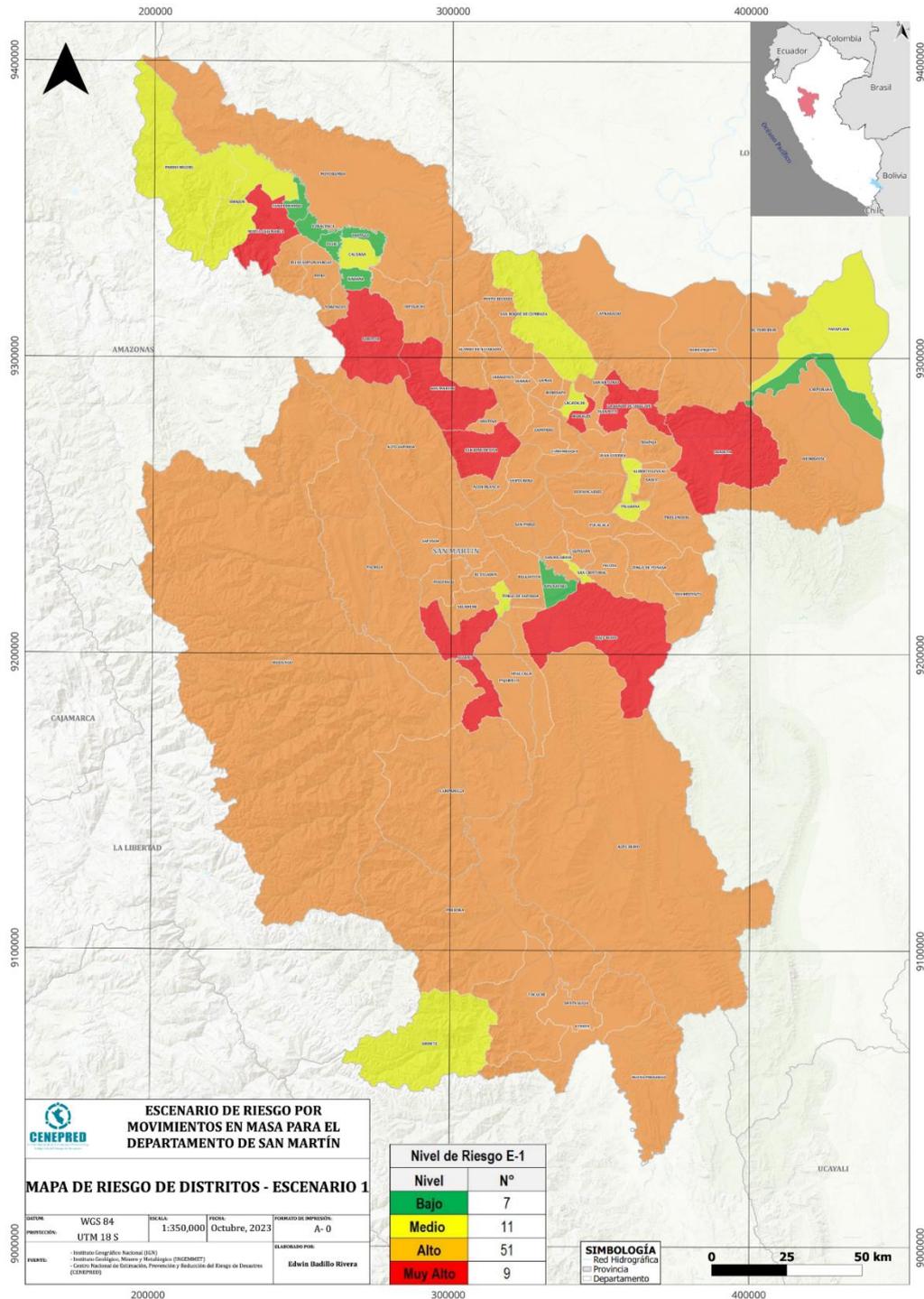


Tabla 39. Escenario de Riesgo – 1 para los distritos en el nivel “Muy Alto” de riesgo.

| Provincia | Escenario 1 - Muy Alto (MA) | | |
|------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Riesgo (N° de distritos) | N° de población en riesgo MA | N° de viviendas en riesgo MA |
| Bellavista | 1 | 13116 | 3425 |
| El Dorado | 2 | 25086 | 6030 |
| Huallaga | 0 | 0 | 0 |
| Lamas | 0 | 0 | 0 |
| Mariscal Cáceres | 1 | 32444 | 8110 |
| Moyobamba | 1 | 21514 | 5739 |
| Picota | 0 | 0 | 0 |
| Rioja | 1 | 43476 | 11512 |
| San Martín | 3 | 86045 | 21908 |
| Tocache | 0 | 0 | 0 |
| Total | 9 | 221681 | 56724 |
| % | 11.5 | 27.3 | 7.0 |

Por otro lado, en la siguiente tabla se muestra la cantidad de distritos, número de población y número de viviendas bajo el Escenario de Riesgo-1 en el nivel de riesgo “Alto”. Se ha determinado que existen 51 distritos, 528515 habitantes (65.0% del total de San Martín) y 137240 viviendas (16.9% del total de San Martín) expuestas al nivel “Alto” de riesgo frente al peligro de movimientos en masa a escala departamental.

Tabla 40. Escenario de Riesgo – 1 para los distritos en el nivel “Alto” de riesgo.

| Provincia | Escenario 1 - Alto (A) | | |
|------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Riesgo (N° de distritos) | N° de población en riesgo A | N° de viviendas en riesgo A |
| Bellavista | 4 | 35884 | 9552 |
| El Dorado | 3 | 11666 | 3141 |
| Huallaga | 5 | 26717 | 7476 |
| Lamas | 10 | 79886 | 21075 |
| Mariscal Cáceres | 4 | 32182 | 8237 |
| Moyobamba | 2 | 91702 | 24001 |
| Picota | 8 | 38488 | 9938 |
| Rioja | 3 | 45628 | 11544 |
| San Martín | 7 | 98283 | 24511 |
| Tocache | 5 | 68079 | 17765 |
| Total | 51 | 528515 | 137240 |
| % | 65.4 | 65.0 | 16.9 |

Para el Escenario de Riesgo-1, a nivel provincial, las provincias de Lamas, Moyobamba, Rioja y San Martín son las que concentran la mayor cantidad de habitantes y viviendas en los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto” para el Escenario de Riesgo – 1.

Los niveles de riesgo “Bajo” y “Medio” de los distritos para el Escenario de Riesgo-1 se presenta a detalle en el apartado de los anexos.

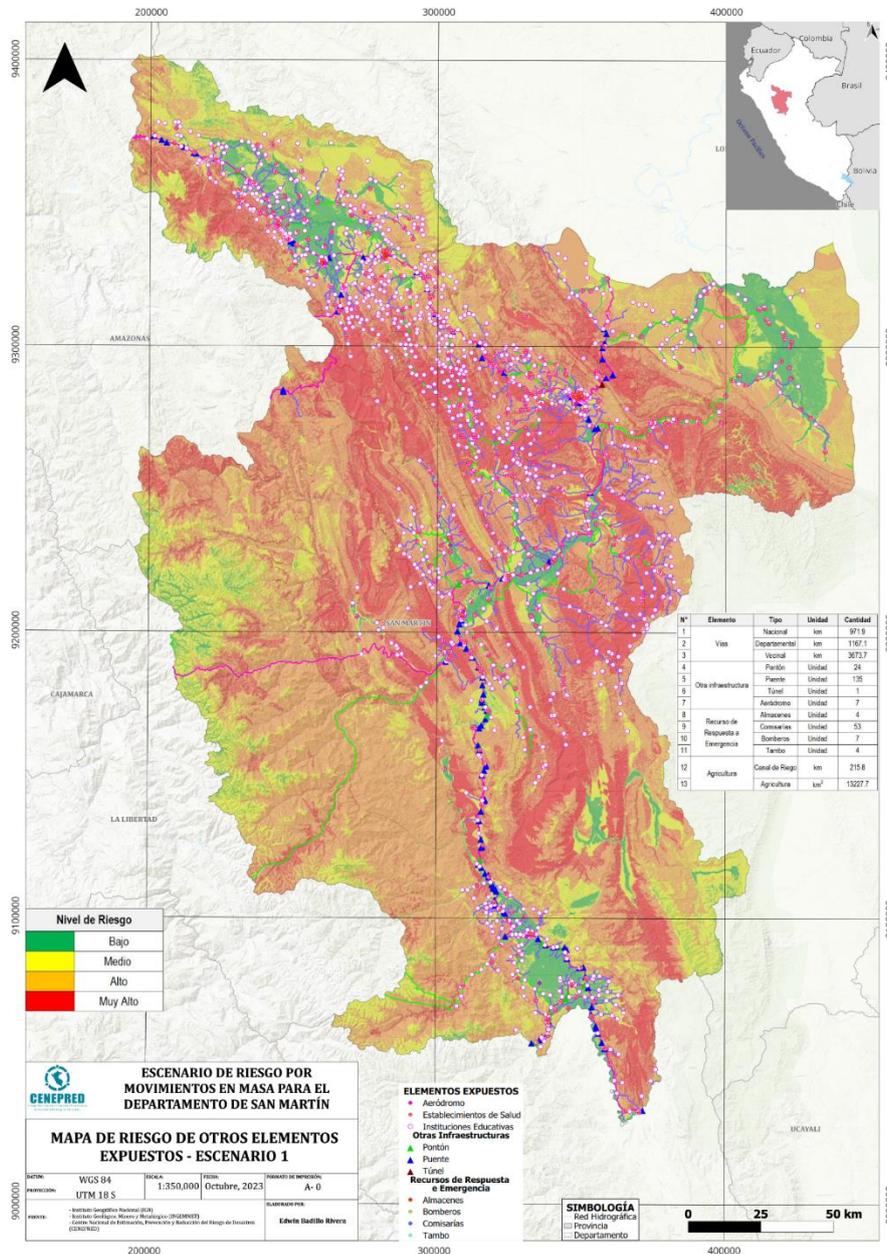
4.4.1.3 Otros elementos expuestos

Como se indicó anteriormente, para los elementos expuestos como establecimientos de salud, instituciones educativas, recursos de respuesta e emergencia (comisaría, bomberos, tambos y almacenes), otras infraestructuras (pontón, puente, túnel), aeródromos, canales de riego y cobertura agrícola se realizó el

análisis de riesgo en función de la ubicación espacial en el ámbito del peligro, es decir, se asignó como nivel de riesgo la intersección entre el nivel de peligro y la ubicación del elemento expuesto, vale recalcar que, la escala de trabajo (a nivel departamental) no permite identificar a nivel de detalle características propias de vulnerabilidad (física, económica y ambiental) correspondiente a cada elemento expuesto.

A continuación, se presenta el mapa del Escenario de Riesgo-1 para otros elementos expuestos como: establecimientos de salud, instituciones educativas, recursos de respuesta y emergencia (comisarías, bomberos, tambos y almacenes), otras infraestructuras (pontón, puente, túnel), aeródromos, canales de riego y cobertura agrícola del departamento de San Martín.

Figura 20. Nivel de Riesgo de otros elementos expuestos para el Escenario-1.



En la siguiente tabla se presenta la cuantificación de los elementos expuestos bajo el Escenario de Riesgo-1, se ha determinado que existen 24 establecimientos de salud, 170 instituciones educativas, 7 otras infraestructuras (pontón, puente y túnel), 0 recursos de respuesta a emergencia (comisarías, tambos, almacenes, y bomberos), 0 aeródromos, 898.5 km de redes viales, 8.1 km de canales de riego y 3230.2 km² de cobertura agrícola bajo el nivel de riesgo “Muy Alto” por movimientos en masa a escala departamental.

Tabla 41. Nivel de riesgo “Muy Alto” de otros elementos expuestos al Escenario de Riesgo – 1 a nivel provincial.

| Escenario 1 - Muy Alto | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|-----------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Provincia | Establecimientos de salud (N°) | Instituciones educativas (N°) | Otras infraestructuras (N°) | Recursos de Respuesta a Emergencia (N°) | Aeródromos (N°) | Redes Viales (km) | Canales de Riego (km) | Cobertura Agrícola (km ²) |
| Bellavista | 4 | 27 | 0 | 0 | 0 | 128.6 | 0.0 | 669.5 |
| El Dorado | 3 | 49 | 0 | 0 | 0 | 104.0 | 0.0 | 494.6 |
| Huallaga | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 33.2 | 2.3 | 203.4 |
| Lamas | 11 | 37 | 3 | 0 | 0 | 171.5 | 0.0 | 425.4 |
| Mariscal Cáceres | 2 | 14 | 0 | 0 | 0 | 133.6 | 0.0 | 356.6 |
| Moyobamba | 1 | 17 | 0 | 0 | 0 | 32.4 | 0.0 | 196.3 |
| Picota | 1 | 14 | 0 | 0 | 0 | 165.6 | 0.0 | 414.5 |
| Rioja | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.6 | 5.2 | 36.0 |
| San Martín | 1 | 5 | 2 | 0 | 0 | 97.7 | 0.4 | 270.7 |
| Tocache | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 27.3 | 0.2 | 163.1 |
| Total | 24 | 170 | 7 | 0 | 0 | 898.5 | 8.1 | 3230.2 |
| % | 4.6 | 7.5 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 15.5 | 4.4 | 24.4 |

Por otro lado, se ha determinado que existen 90 establecimientos de salud, 615 instituciones educativas, 30 otras infraestructuras (pontón, puente y túnel), 5 recursos de respuesta a emergencia (comisarías, tambos, almacenes, y bomberos), 0 aeródromos, 1987.8 km de redes viales, 22.7 km de canales de riego y 5369.4 km² de cobertura agrícola bajo el nivel de riesgo “Alto” por movimientos en masa a escala departamental.

Tabla 42. Nivel de riesgo “Alto” de otros elementos expuestos al Escenario de Riesgo – 1 a nivel provincial.

| Escenario 1 - Alto | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|-----------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Provincia | Establecimientos de salud (N°) | Instituciones educativas (N°) | Otras infraestructuras (N°) | Recursos de Respuesta a Emergencia (N°) | Aeródromos (N°) | Redes Viales (km) | Canales de Riego (km) | Cobertura Agrícola (km ²) |
| Bellavista | 8 | 73 | 1 | 0 | 0 | 226.3 | 0.3 | 732.6 |
| El Dorado | 1 | 50 | 0 | 0 | 0 | 88.8 | 1.3 | 209.4 |
| Huallaga | 7 | 38 | 1 | 0 | 0 | 179.8 | 5.3 | 378.3 |
| Lamas | 27 | 175 | 3 | 2 | 0 | 327.2 | 0.4 | 948.2 |
| Mariscal Cáceres | 9 | 37 | 17 | 2 | 0 | 303.6 | 0.0 | 595.5 |
| Moyobamba | 14 | 97 | 2 | 0 | 0 | 152.0 | 0.3 | 801.4 |
| Picota | 7 | 59 | 0 | 0 | 0 | 294.3 | 0.0 | 550.8 |

| Escenario 1 - Alto | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Provincia | Establecimientos de salud (N°) | Instituciones educativas (N°) | Otras infraestructuras (N°) | Recursos de Respuesta Emergencia (N°) | Aeródromos (N°) | Redes Viales (km) | Canales de Riego (km) | Cobertura Agrícola (km ²) |
| Rioja | 6 | 28 | 4 | 0 | 0 | 63.5 | 9.8 | 170.9 |
| San Martín | 11 | 38 | 0 | 0 | 0 | 235.3 | 4.9 | 483.7 |
| Tocache | 0 | 20 | 2 | 1 | 0 | 108.0 | 0.2 | 498.5 |
| Total | 90 | 615 | 30 | 5 | 0 | 1978.7 | 22.7 | 5369.4 |
| % | 17.2 | 27.1 | 18.8 | 7.4 | 0.0 | 34.0 | 12.2 | 40.6 |

4.4.2 Escenario de Riesgo – 2

4.4.2.1 Centros Poblados

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de centros poblados, número de población y número de viviendas bajo el Escenario de Riesgo-2 en el nivel de riesgo “Muy Alto”. Se ha determinado que existen 214 centros poblados (9.8% del total de San Martín), 85984 habitantes (10.6% del total de San Martín) y 21688 viviendas (10.3% del total de viviendas) expuestas al nivel “Muy Alto” de riesgo frente al peligro de movimientos en masa a escala departamental.

A continuación, se presenta el mapa del Escenario de Riesgo-2 para los centros poblados del departamento de San Martín.

Figura 21. Nivel de Riesgo de los centros poblados para el Escenario-2.

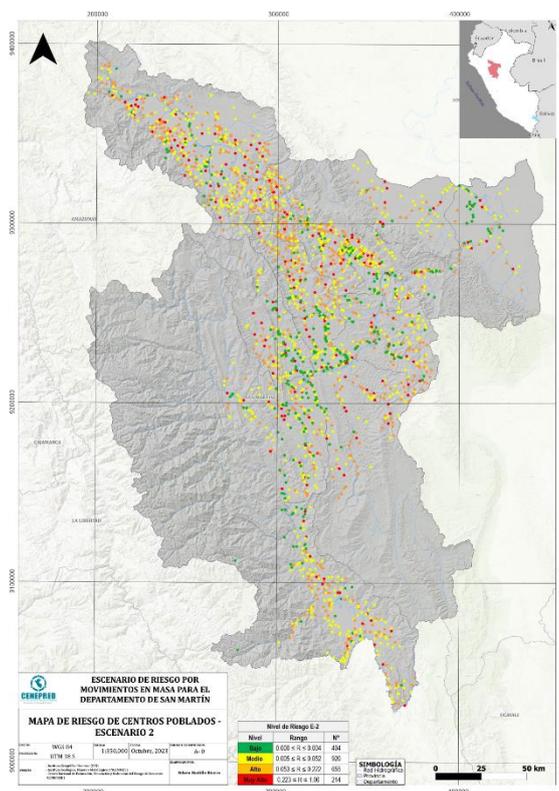


Tabla 43. Escenario de Riesgo – 2 para los centros poblados en el nivel “Muy Alto” de riesgo.

| Provincia | Escenario 2 - Muy Alto (MA) | | |
|------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Riesgo (N° de CCPP) | N° de población en riesgo MA | N° de viviendas en riesgo MA |
| Bellavista | 29 | 6313 | 1574 |
| El Dorado | 15 | 3026 | 749 |
| Huallaga | 15 | 2416 | 696 |
| Lamas | 28 | 3715 | 960 |
| Mariscal Cáceres | 26 | 9340 | 2327 |
| Moyobamba | 22 | 3066 | 810 |
| Picota | 14 | 3471 | 885 |
| Rioja | 20 | 7505 | 2047 |
| San Martín | 27 | 4553 | 1157 |
| Tocache | 18 | 42579 | 10483 |
| Total | 214 | 85984 | 21688 |
| % | 9.8 | 10.6 | 10.3 |

Por otro lado, en la siguiente tabla se muestra la cantidad de centros poblados, número de población y número de viviendas bajo el Escenario de Riesgo-2 en el nivel de riesgo “Alto”. Se ha determinado que existen 655 centros poblados (29.9% del total de San Martín), 217765 habitantes (26.8% del total de San Martín) y 56448 viviendas (26.8% del total de San Martín) expuestas al nivel “Alto” de riesgo frente al peligro de movimientos en masa a escala departamental.

Tabla 44. Escenario de Riesgo – 2 para los centros poblados en el nivel “Alto” de riesgo.

| Provincia | Escenario 2 - Alto (A) | | |
|------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Riesgo (N° de CCPP) | N° de población en riesgo A | N° de viviendas en riesgo A |
| Bellavista | 95 | 28714 | 7631 |
| El Dorado | 59 | 11807 | 3030 |
| Huallaga | 33 | 10137 | 2729 |
| Lamas | 114 | 32031 | 8532 |
| Mariscal Cáceres | 59 | 8780 | 2315 |
| Moyobamba | 63 | 13625 | 3680 |
| Picota | 39 | 4916 | 1319 |
| Rioja | 51 | 47102 | 11818 |
| San Martín | 64 | 41802 | 10285 |
| Tocache | 78 | 18851 | 5109 |
| Total | 655 | 217765 | 56448 |
| % | 29.9 | 26.8 | 26.8 |

Para el Escenario de Riesgo-2, a nivel de centro poblado, las provincias de Rioja, San Martín y Tocache son las que concentran la mayor cantidad de habitantes y viviendas en los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto” para el Escenario de Riesgo – 1.

Los niveles de riesgo “Bajo” y “Medio” de los centros poblados para el Escenario de Riesgo-2 se presenta a detalle en el apartado de los anexos.

4.4.2.2 Distritos

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de distritos, número de población y número de viviendas bajo el Escenario de Riesgo-2 en el nivel de riesgo “Muy Alto”. Se ha determinado que existen 16 distritos, 375262 habitantes (46.1% del total de San Martín) y 96534 viviendas (11.9% del total de San Martín) expuestas al nivel “Muy Alto” de riesgo frente al peligro de movimientos en masa a escala departamental.

A continuación, se presenta el mapa del Escenario de Riesgo-2 para los distritos del departamento de San Martín.

Figura 22. Nivel de Riesgo de los distritos para el Escenario-2.

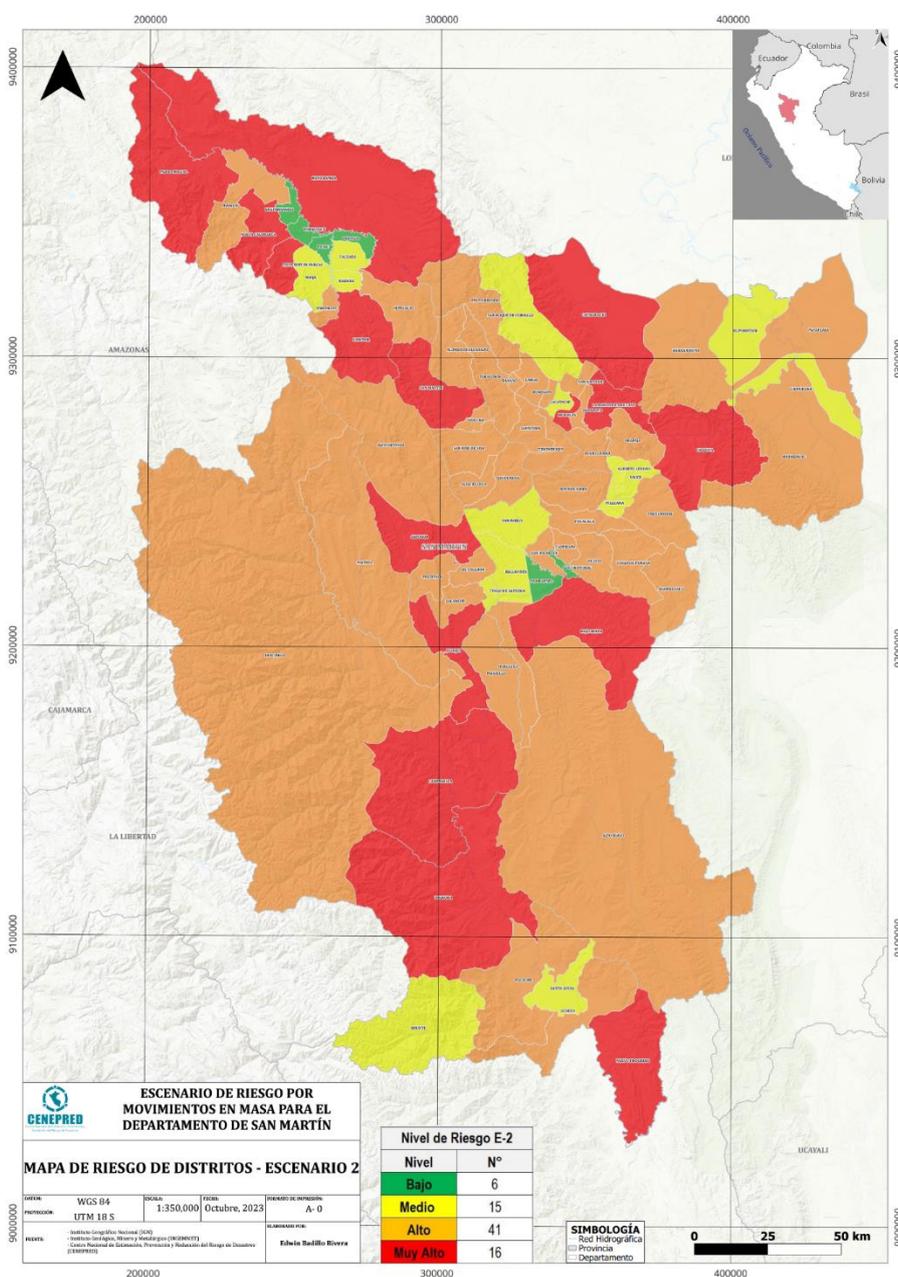


Tabla 45. Escenario de Riesgo – 2 para los distritos en el nivel “Muy Alto” de riesgo.

| Provincia | Escenario 2 - Muy Alto (MA) | | |
|------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Riesgo (N° de distritos) | N° de población en riesgo MA | N° de viviendas en riesgo MA |
| Bellavista | 1 | 13116 | 3425 |
| El Dorado | 1 | 10447 | 2466 |
| Huallaga | 1 | 13422 | 3683 |
| Lamas | 1 | 9546 | 2347 |
| Mariscal Cáceres | 2 | 45149 | 11265 |
| Moyobamba | 2 | 97839 | 25635 |
| Picota | 0 | 0 | 0 |
| Rioja | 3 | 77934 | 19873 |
| San Martín | 3 | 86045 | 21908 |
| Tocache | 2 | 21764 | 5932 |
| Total | 16 | 375262 | 96534 |
| % | 20.5 | 46.1 | 11.9 |

Por otro lado, en la siguiente tabla se muestra la cantidad de distritos, número de población y número de viviendas bajo el Escenario de Riesgo-2 en el nivel de riesgo “Alto”. Se ha determinado que existen 41 distritos, 334542 habitantes (41.1% del total de San Martín) y 86797 viviendas (10.7% del total de San Martín) expuestas al nivel “Alto” de riesgo frente al peligro de movimientos en masa a escala departamental.

Tabla 46. Escenario de Riesgo – 2 para los distritos en el nivel “Alto” de riesgo.

| Provincia | Escenario 2 - Alto (A) | | |
|------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Riesgo (N° de distritos) | N° de población en riesgo A | N° de viviendas en riesgo A |
| Bellavista | 2 | 10350 | 2607 |
| El Dorado | 4 | 26305 | 6705 |
| Huallaga | 4 | 13295 | 3793 |
| Lamas | 9 | 70340 | 18728 |
| Mariscal Cáceres | 3 | 19477 | 5082 |
| Moyobamba | 1 | 15377 | 4105 |
| Picota | 8 | 38488 | 9938 |
| Rioja | 2 | 9925 | 2597 |
| San Martín | 6 | 90694 | 22834 |
| Tocache | 2 | 40291 | 10408 |
| Total | 41 | 334542 | 86797 |
| % | 52.6 | 41.1 | 10.7 |

Los niveles de riesgo “Bajo” y “Medio” de los distritos para el Escenario de Riesgo-2 se presenta a detalle en el apartado de los anexos.

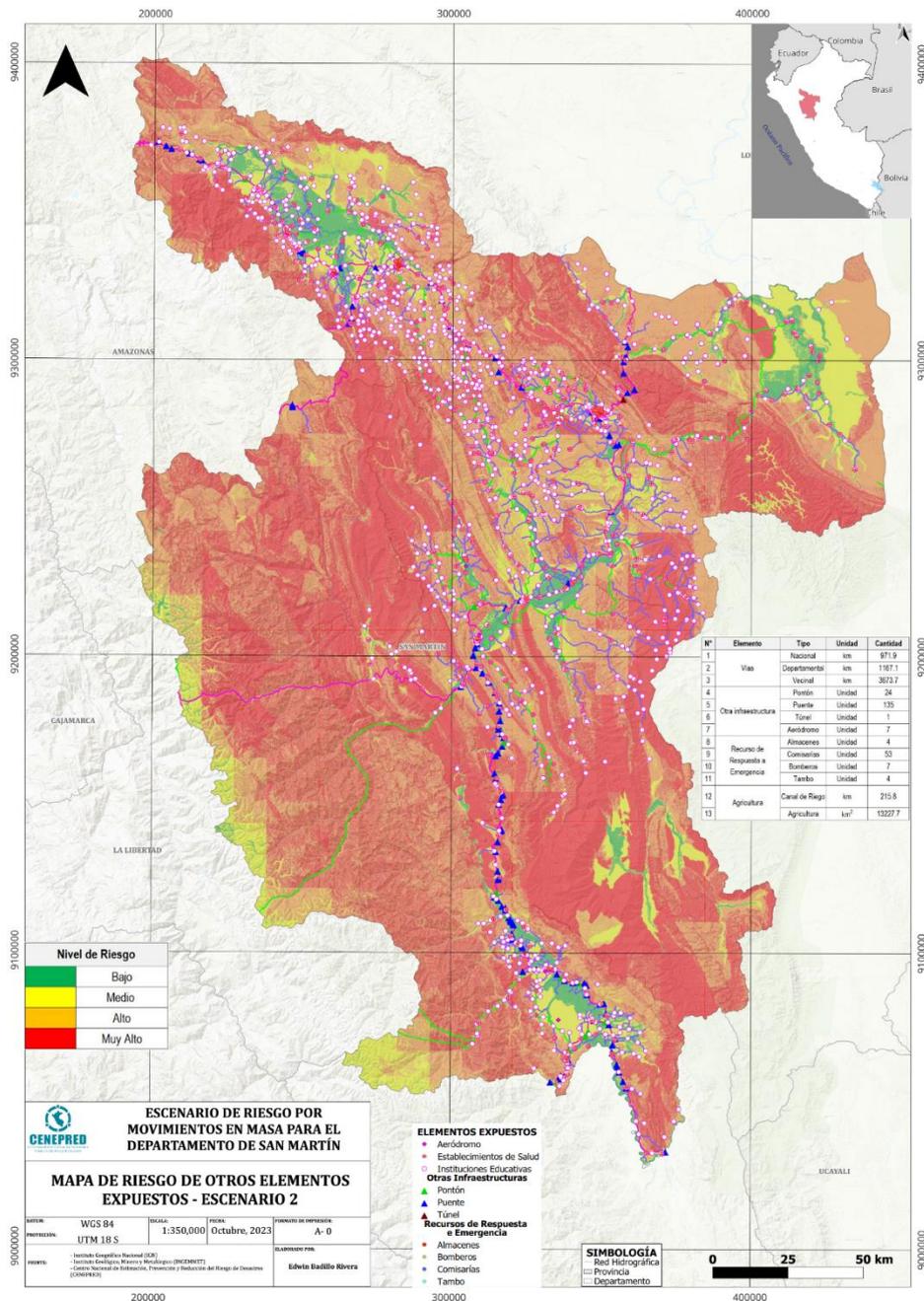
4.4.2.3 Otros elementos expuestos

Como se indicó anteriormente, para los elementos expuestos como establecimientos de salud, instituciones educativas, recursos de respuesta e emergencia (comisarías, bomberos, tambos y almacenes), otras infraestructuras (pontón, puente, túnel), aeródromos, canales de riego y cobertura agrícola se realizó el análisis de riesgo en función de la ubicación espacial en el ámbito del peligro, es decir, se asignó como nivel de riesgo la intersección entre el nivel de peligro y la ubicación del elemento expuesto, vale recalcar

que, la escala de trabajo (a nivel departamental) no permite identificar a nivel de detalle características propias de vulnerabilidad (física, económica y ambiental) correspondiente a cada elemento expuesto.

A continuación, se presenta el mapa del Escenario de Riesgo-2 para otros elementos expuestos como: establecimientos de salud, instituciones educativas, recursos de respuesta a emergencia (comisarías, bomberos, tambos y almacenes), otras infraestructuras (pontón, puente, túnel), aeródromos, canales de riego y cobertura agrícola del departamento de San Martín.

Figura 23. Nivel de Riesgo de otros elementos expuestos para el Escenario-2.



En la siguiente tabla se presenta la cuantificación de los elementos expuestos bajo el Escenario de Riesgo-2, se ha determinado que existen 18 establecimientos de salud, 163 instituciones educativas, 10 otras infraestructuras (pontón, puente y túnel), 0 recursos de respuesta a emergencia (comisaría, tambos, almacenes, y bomberos), 0 aeródromos, 896.6 km de redes viales, 9.4 km de canales de riego y 3254.8 km² de cobertura agrícola bajo el nivel de riesgo “Muy Alto” por movimientos en masa a escala departamental.

Tabla 47. Nivel de riesgo “Muy Alto” de otros elementos expuestos al Escenario de Riesgo – 2 a nivel provincial.

| Escenario 2 - Muy Alto | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|-----------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Provincia | Establecimientos de salud (N°) | Instituciones educativas (N°) | Otras infraestructuras (N°) | Recursos de Respuesta a Emergencia (N°) | Aeródromos (N°) | Redes Viales (km) | Canales de Riego (km) | Cobertura Agrícola (km ²) |
| Bellavista | 3 | 39 | 0 | 0 | 0 | 93.8 | 0.0 | 611.3 |
| El Dorado | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 | 26.7 | 0.0 | 153.5 |
| Huallaga | 1 | 12 | 0 | 0 | 0 | 44.8 | 2.3 | 290.6 |
| Lamas | 5 | 28 | 2 | 0 | 0 | 121.4 | 0.0 | 311.5 |
| Mariscal Cáceres | 3 | 13 | 4 | 0 | 0 | 204.5 | 0.0 | 492.1 |
| Moyobamba | 1 | 24 | 0 | 0 | 0 | 57.9 | 0.0 | 355.0 |
| Picota | 3 | 20 | 0 | 0 | 0 | 169.6 | 0.0 | 383.3 |
| Rioja | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 20.4 | 6.5 | 110.9 |
| San Martín | 1 | 4 | 2 | 0 | 0 | 87.4 | 0.6 | 229.5 |
| Tocache | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 69.9 | 0.0 | 317.2 |
| Total | 18 | 163 | 10 | 0 | 0 | 896.6 | 9.4 | 3254.8 |
| % | 3.4 | 7.2 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 15.4 | 5.1 | 24.6 |

Por otro lado, se ha determinado que existen 105 establecimientos de salud, 689 instituciones educativas, 37 otras infraestructuras (pontón, puente y túnel), 7 recursos de respuesta a emergencia (comisaría, tambos, almacenes, y bomberos), 0 aeródromos, 1959.0 km de redes viales, 25.8 km de canales de riego y 5572.3 km² de cobertura agrícola bajo el nivel de riesgo “Alto” por movimientos en masa a escala departamental.

Tabla 48. Nivel de riesgo “Alto” de los elementos expuestos al Escenario de Riesgo – 2 a nivel provincial.

| Escenario 2 - Alto | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|-----------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Provincia | Establecimientos de salud (N°) | Instituciones educativas (N°) | Otras infraestructuras (N°) | Recursos de Respuesta a Emergencia (N°) | Aeródromos (N°) | Redes Viales (km) | Canales de Riego (km) | Cobertura Agrícola (km ²) |
| Bellavista | 8 | 59 | 1 | 0 | 0 | 201.5 | 0.0 | 659.2 |
| El Dorado | 3 | 65 | 0 | 0 | 0 | 109.9 | 0.0 | 459.3 |
| Huallaga | 8 | 42 | 1 | 0 | 0 | 185.5 | 5.3 | 310.9 |
| Lamas | 33 | 193 | 5 | 2 | 0 | 390.9 | 0.4 | 1163.3 |
| Mariscal Cáceres | 10 | 47 | 18 | 3 | 0 | 256.6 | 0.0 | 581.2 |
| Moyobamba | 19 | 120 | 3 | 0 | 0 | 160.6 | 0.6 | 803.4 |
| Picota | 3 | 42 | 0 | 0 | 0 | 212.1 | 0.3 | 465.6 |
| Rioja | 7 | 43 | 5 | 0 | 0 | 81.9 | 12.4 | 176.3 |

| Escenario 2 - Alto | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|-----------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Provincia | Establecimientos de salud (N°) | Instituciones educativas (N°) | Otras infraestructuras (N°) | Recursos de Respuesta a Emergencia (N°) | Aeródromos (N°) | Redes Viales (km) | Canales de Riego (km) | Cobertura Agrícola (km ²) |
| San Martín | 11 | 35 | 0 | 0 | 0 | 219.5 | 6.3 | 466.1 |
| Tocache | 3 | 43 | 4 | 2 | 0 | 140.3 | 0.4 | 486.9 |
| Total | 105 | 689 | 37 | 7 | 0 | 1959.0 | 25.8 | 5572.3 |
| % | 20.0 | 30.3 | 23.1 | 10.3 | 0.0 | 33.7 | 13.9 | 42.1 |

CAPÍTULO V – CONCLUSIONES

En el presente informe se determinó dos escenarios de peligros, el primero desencadenado por anomalías de precipitaciones en un evento de El Niño (Escenario-1) y el segundo escenario desencadenado por precipitaciones máximas bajo el percentil 99 (Escenario-2); además, se realizó el análisis de los elementos expuestos para ambos escenarios, determinándose los niveles de exposición bajo la misma metodología a nivel de centros poblados, distritos, vías e infraestructuras de comunicación, recursos de respuesta a emergencia y agricultura, por último, se estimó dos escenarios de riesgos en función al tipo de peligro analizado.

Según el Escenario-1 de peligro se estimó que el nivel de peligro que predomina es el “Alto” con el 49.3% del total de superficie del departamento de San Martín, le sigue el nivel de peligro “Muy Alto” con el 23%, seguido del nivel de peligro “Medio” y “Bajo” con el 19% y 8.7% respectivamente. Por otro lado, con base a los resultados del Escenario-2, los resultados muestran que predominan los niveles de peligro “Muy Alto” y “Alto” con el 42.4% y 40.2% respectivamente de la superficie, seguido del nivel de peligro “Medio” y “Bajo” con el 12.0% y 5.4% del total de superficie respectivamente. En superficie (% de áreas), el Escenario-1 de peligro, presenta un nivel de peligro mayor en el nivel “Alto”, “Medio” y “Bajo” de 18%, 37% y 38% más respectivamente, en relación con el Escenario-2, sin embargo, el Escenario-2 presenta un nivel de peligro “Muy Alto” superior en 84% de superficie en relación al Escenario-1, es decir, en el Escenario-2 se presenta el escenario más crítico en relación a los escenarios de peligro planteados en este estudio.

Además, según el Escenario-1, predominan los distritos bajo el nivel de peligro “Alto” y “Muy Alto” 81% aproximadamente (63 distritos), de igual forma, en el Escenario-2, predomina el nivel de peligro “Alto” y “Muy Alto”, 76% de los distritos bajo esos niveles de peligro (59 distritos), aunque en este último escenario, existe mayor cantidad de distritos bajo el nivel de peligro “Muy Alto” (9 distritos más) con relación al Escenario-1.

En cuanto al análisis de exposición, el cual fue aplicado para ambos escenarios, determinó que, existen 903 centros poblados en el nivel de exposición “Alto” y “Muy Alto” (41% del total de centros poblados), además, las provincias de Bellavista, Lamas, Moyobamba, Rioja y Tocache presentan en conjunto el 27% del total de centros poblados en los niveles más altos de exposición, es decir, “Alto” y “Muy Alto”. Por otro lado, en cuanto al nivel de exposición de los distritos, se determinó que, existen 22 en el nivel de “Alto” y 6 en el nivel “Muy Alto” de exposición, mientras que 44 distritos se encuentran en el nivel “Medio” y 6 en el nivel “Bajo”.

En cuanto a los niveles de riesgo se determinó que en total existen 840 (39% del total de centros poblados de San Martín) centros poblados en los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto” para el Escenario de Riesgo-1, lo que representa 316385 habitantes (38.9% del total de habitantes en San Martín) y 81475 viviendas

(38.7% del total de viviendas en San Martín) expuestas al nivel de riesgo Alto” y “Muy Alto” por movimientos en masa para el departamento de San Martín. Por último, las provincias de Rioja, San Martín y Tocache son las que concentran la mayor cantidad de habitantes y viviendas en los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto”.

En cuanto al Escenario de Riesgo-2, se determinó que en total existen 869 (40% del total de centros poblados de San Martín) centros poblados en los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto”, lo que representa que existen 765048 habitantes y 196786 viviendas expuestas al nivel de riesgo “Alto” y “Muy Alto” por movimientos en masa para el departamento de San Martín. Por último, las provincias de Rioja, San Martín y Tocache son las que concentran la mayor cantidad de habitantes y viviendas en los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto”.

A nivel distrital, se determinó que en total existen 60 distritos (en total para los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto”) para el Escenario de Riesgo-1, lo que representa 750196 pobladores (92.2% del total de habitantes de San Martín) y 193964 viviendas (23.8% del total de viviendas de San Martín) expuestas al riesgo por movimientos en masa en el departamento de San Martín.

En cuanto al Escenario de Riesgo-2 a nivel distrital, se determinó que en total existen 57 distritos (en total para los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto”), lo que representa 709804 habitantes (87.3% del total de habitantes en San Martín) y 183331 viviendas (22.5% del total de viviendas en San Martín) bajo los niveles “Alto” y “Muy Alto” de riesgo en total.

En relación con el Escenario de Riesgo-1, para el elemento expuesto de otras infraestructuras (como puentes, pontones, túneles) se determinó que existen en total 37 de estos elementos en los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto”; además, para los recursos de respuesta a emergencia, se estimó que el 7% (5 recursos en total) de estos, están en el nivel de riesgo “Alto”, el 93% restante están en los niveles de riesgo “Bajo” y “Medio”. En cuanto a los aeródromos, todos estos elementos expuestos están en el nivel de riesgo “Bajo” y “Medio”.

En relación con el Escenario de Riesgo-2, para el elemento expuesto de otras infraestructuras (como puentes, pontones, túneles) se determinó que existen en total 47 de estos elementos en los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto”; además, para los recursos de respuesta a emergencia, se estimó que el 10% (7 recursos en total) de estos, están en el nivel de riesgo “Alto”, el 90% restante están en los niveles de riesgo “Bajo” y “Medio”. En cuanto a los aeródromos, todos estos elementos expuestos están en el nivel de riesgo “Bajo” y “Medio”.

En el Escenario de Riesgo-1, los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto” para el elemento expuesto de redes viales muestran una longitud de 1978.7 y 898.5 km respectivamente. Respecto a los canales de riego, las mayores longitudes de canales de riego están en los niveles de riesgo “Bajo” y “Medio” (84%).

En el Escenario de Riesgo-2, para el elemento expuesto de redes viales muestran una longitud de 1959.0 y 896.6 km de longitud en los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto” respectivamente. Respecto a los canales de riego, las mayores longitudes de canales de riego están en los niveles de riesgo “Bajo” y “Medio” (81%), además, existe una mayor longitud de canales de riego en el nivel “Alto” y “Muy Alto” para el Escenario de Riesgo-2 en relación con el Escenario de Riesgo-1.

En cuanto a la cobertura agrícola, los resultados muestran que para el Escenario de Riesgo-1, la mayor superficie agrícola está en el nivel de riesgo “Alto”, aproximadamente el 41% (5369 ha) de la superficie del departamento de San Martín, por otro lado, en el nivel de riesgo “Muy Alto” existe 24.4% (3230 ha) de superficie agrícola expuesta a este nivel de riesgo.

Por último, para el Escenario de Riesgo-2 en cuanto a la cobertura agrícola, los resultados muestran que la mayor superficie agrícola está en el nivel de riesgo “Alto”, aproximadamente el 42% (5572 ha) de la superficie del departamento de San Martín, por otro lado, en el nivel de riesgo “Muy Alto” existe 24.6% (3255 ha) de superficie agrícola expuesta a este nivel de riesgo.

CAPÍTULO VI – RECOMENDACIONES

Se sugiere coordinar con las instituciones técnicas—científicas con la finalidad de continuar mejorando la información primaria para la elaboración de escenarios de riesgo a nivel departamental, esto incluye:

- Coordinar con el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico para completar la información relacionada los insumos del modelo de peligro empleado en este informe, específicamente de factores condicionantes como la litología, geomorfología e hidrogeología a nivel departamental y a una escala de mayor detalle 1:50000.
- Coordinar con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología para generar el ráster de precipitaciones máximas diarias bajo diferentes percentiles con una mejora en la resolución espacial (Menor a 1km, en lo posible 100m de tamaño de píxel) aplicando metodologías de downscaling estadístico, esto permitirá mejorar los resultados de los escenarios de peligro y riesgo con precipitaciones máximas expresados bajo percentiles.
- Coordinar con la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo (CONIDA) para generar modelos de elevación digital (MED) actualizados a nivel departamental y a una resolución espacial adecuada para estudios de movimientos en masa a escala departamental, en lo posible, igual o mejor a la resolución espacial de los MED disponibles de bases de datos geoespaciales como MED ALOS, SRTM, etc.
- Coordinar con el Ministerio del Ambiente, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego e instituciones vinculadas para generar información actualizada sobre los usos del suelo, cobertura vegetal y deforestación de manera periódica, aprovechando la resolución espacial de proyectos espaciales en misiones de la USGS de LANDSAT 8-9 (15m) o de la constelación europea SENTINEL-2 (10m).

Según los resultados de peligro y riesgo, el Escenario de Riesgo-2 por movimientos en masa a escala departamental, se posiciona como el escenario más desfavorable o más crítico de riesgo para el departamento de San Martín, pues se presenta como el escenario en el que existen una mayor cantidad (en su mayoría, en número, longitud y superficie) de elementos expuestos en los niveles de riesgo “Alto” y “Muy Alto”; motivo por el que se recomienda utilizar los resultados del Escenario de Riesgo-2 por parte de los Gobiernos Regionales y Locales para la planificación y ejecución de sus recursos en materia de gestión del riesgo de desastres.

Se recomienda la priorización de estudios de riesgo a mayor detalle, como las evaluaciones de riesgo o estudios elaborados por las entidades técnico-científicas para los distritos que hayan obtenido el nivel de riesgo “Muy Alto” en el Escenario de Riesgo-2.

Replicar la metodología empleada en este estudio para la determinación de escenarios de riesgo para otros departamentos del Perú, esto con la finalidad de determinar los niveles de riesgo de los elementos expuestos para cada región de estudio y se prioricen acciones en el marco de la gestión del riesgo de desastres. Para esto se debe homogenizar la información disponible como *inputs* para los modelos de peligro de las instituciones técnicas científicas, en su escala y formato, además, para aquellas regiones en donde se cuente con información de inputs en todos los cuadrángulos que abarque cada región en factores como litología, geomorfología y geomorfología, de una mejor escala con relación a la nacional (1:100000) se recomienda su uso en los modelos de peligro.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Achour, Y., Boumezbeur, A., Hadji, R., Chouabbi, A., Cavaleiro, V., & Bendaoud, E. A. (2017). Landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and information value methods along a highway road section in Constantine, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(8). <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2980-6>
- Ahyuni, Susetyo, B. B., Oktari, F., Nur, H., & Aziz, A. (2021). *The Difference of Landslide-Prone Areas Between Heuristic and Statistical Methods In Lima Puluh Kota Regency*. 5(2), 107–114.
- Aristizábal, E., & Yokota, S. (2006). Geomorfología Aplicada a La Ocurrencia De Deslizamientos En El Valle De Aburra Geomorphology Applied To Landslide Occurrence in the Aburrá Valley. *Año*, 73(January), 5–16.
- Corina Pineda, M., Martínez-Casasnovas, J. A., & Vilorja, J. (2016). RELACIÓN ENTRE LOS CAMBIOS DE COBERTURA VEGETAL Y LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA SERRANÍA DEL INTERIOR, VENEZUELA. *Interciencia*, 41(March), 190–198.
- INEI. (2018). *Peru: Crecimiento y distribución de la población total, 2017. Población censada mas población omitida* (Vol. 53, Issue 9). https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1673/libro.pdf
- Millán, C., Lavado-Casemiro, W., & Felipe, O. (2022). *Estimación de umbrales de lluvia para movimientos en masa potenciales a partir de datos diarios grillados en el Perú*.
- MINAM. (2015). Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. In *Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural*. <https://www.gob.pe/minam>
- Ndonbou, R. M., Nkouathio, D. G., Tefogoum, G. Z., Guedjeo, C. S., Tematio, P., & Fenguia, S. N. D. (2022). Mass movements susceptibility analysis along the Southern Escarpment of the Bamileke Plateaus (Western Cameroon Highlands) using a GIS-based analytical approach. *Environmental Earth Sciences*, 81(5), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10240-z>
- Núñez, S., Luque, G., & Pari, W. (2010). Riesgo Geológico en la Región San Martín. In *INGEMMET, Boletín N° 42 Serie C Geodinámica e Ingeniería Geológica*.
- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., & Fatemi Aghda, S. M. (2013). Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Natural Hazards*, 69(1), 749–779. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0728-5>
- Pourghasemi, Hamid Reza, Pradhan, B., & Gokceoglu, C. (2012). Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards*, 63(2), 965–996. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0217-2>
- SENAMHI. (2020). *Climas del Perú: Mapa de clasificación climática nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=tumbes&p=mapa-climatico-del-peru>
- SENAMHI. (2023). *Lluvias máximas - escenarios críticos – con información climática durante el Fenómeno el Niño* (Vol. 2023).
- Sun, X., Chen, J., Bao, Y., Han, X., Zhan, J., & Peng, W. (2018). Landslide susceptibility mapping using logistic regression analysis along the Jinsha river and its tributaries close to Derong and Deqin County, southwestern China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(11), 1–29. <https://doi.org/10.3390/ijgi7110438>
- Tang, Y., Feng, F., Guo, Z., Feng, W., Li, Z., Wang, J., Sun, Q., Ma, H., & Li, Y. (2020). Integrating principal component analysis with statistically-based models for analysis of causal factors and landslide susceptibility mapping: A comparative study from the loess plateau area in Shanxi (China). *Journal of Cleaner Production*, 277, 124159. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124159>
- Wati, S. E., Hastuti, T., Widjojo, S., & Pinem, F. (2010). Landslide susceptibility mapping with heuristic approach in mountainous area a case study in Tawangmangu Sub District, Central Java, Indonesia. *ISPRS Technical Commission VIII Symposium on Networking the World with Remote Sensing*, 38, 248–253. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84855338750&partnerID=40&md5=c0a9cf2cd0af65badf286367a50708e1>

VIII. ANEXOS

8.1 Nivel de exposición por centro poblado

Libro Excel: 3erProducto_PeligroExposicion_FINAL.xlsx

Hoja: B_Exp_CCPP

8.2 Nivel de exposición por distrito

Libro Excel: 3erProducto_PeligroExposicion_FINAL.xlsx

Hoja: B_Exp_Distrito

8.3 Exposición otros elementos expuestos

Libro Excel: 3erProducto_PeligroExposicion_FINAL.xlsx

Hoja: C_Exp_OtrosElmts

8.4 Niveles de peligro de centros poblados por Escenario-1 y Escenario-2

Libro Excel: 3erProducto_PeligroExposicion_FINAL.xlsx

Hoja: D_Plg_CCPP_E1_E2

8.5 Niveles de peligro de distritos por Escenario-1

Libro Excel: 3erProducto_PeligroExposicion_FINAL.xlsx

Hoja: E_Plg_Dist_E1

8.6 Niveles de peligro de distritos por Escenario-2

Libro Excel: 3erProducto_PeligroExposicion_FINAL.xlsx

Hoja: F_Plg_Dist_E2

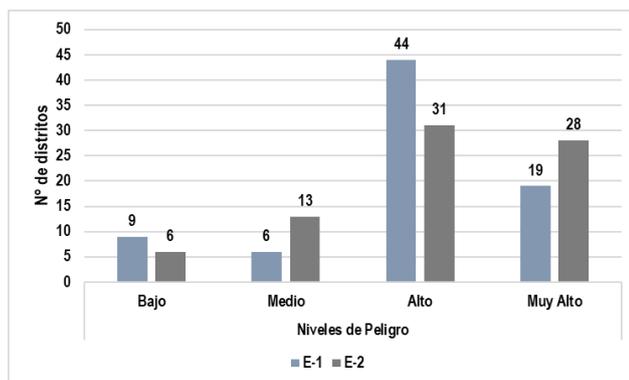
8.7 Comparación entre número de distritos bajo diferentes niveles de peligro

Libro Excel: 3erProducto_PeligroExposicion_FINAL.xlsx

Hoja: G_Plg_Compar_E1_E2

| Provincia | ESCENARIO 1 | | | | ESCENARIO 2 | | | |
|------------|--------------------|-------|------|----------|--------------------|-------|------|----------|
| | Niveles de Peligro | | | | Niveles de Peligro | | | |
| | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto |
| BELLAVISTA | 1 | 0 | 3 | 2 | 1 | 2 | 0 | 3 |
| EL DORADO | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 4 | 1 |
| HUALLAGA | 0 | 0 | 5 | 1 | 0 | 0 | 4 | 2 |
| LAMAS | 0 | 0 | 9 | 2 | 0 | 0 | 9 | 2 |

| Provincia | ESCENARIO 1 | | | | ESCENARIO 2 | | | |
|------------------|--------------------|----------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Niveles de Peligro | | | | Niveles de Peligro | | | |
| | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto |
| MARISCAL CACERES | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| MOYOBAMBA | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| PICOTA | 0 | 0 | 6 | 4 | 1 | 1 | 5 | 3 |
| RIOJA | 5 | 1 | 3 | 0 | 3 | 1 | 0 | 5 |
| SAN MARTIN | 1 | 3 | 7 | 3 | 0 | 6 | 3 | 5 |
| TOCACHE | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 |
| Total | 9 | 6 | 44 | 19 | 6 | 13 | 31 | 28 |

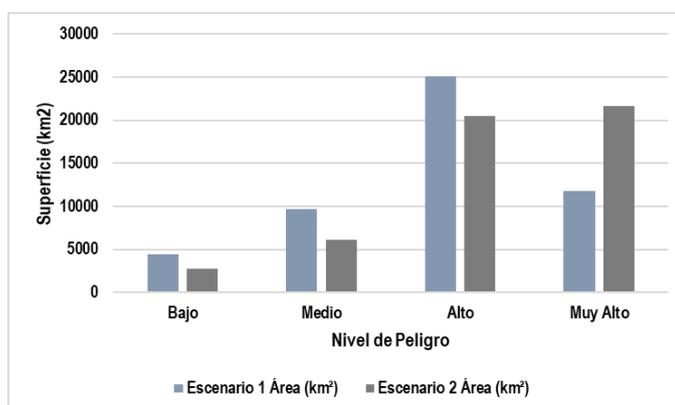


8.8 Comparación entre la superficie (km²) expuestos a los diferentes niveles de peligro

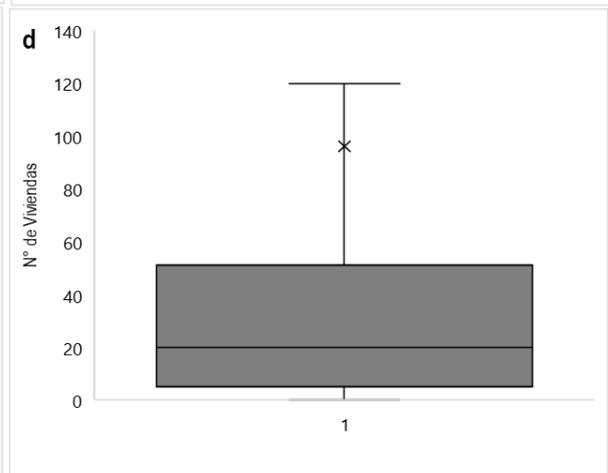
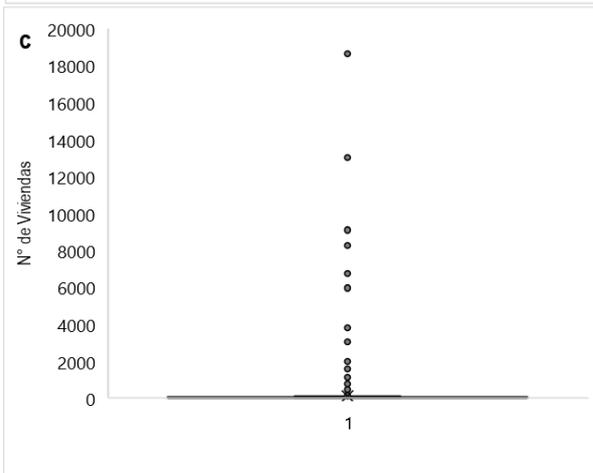
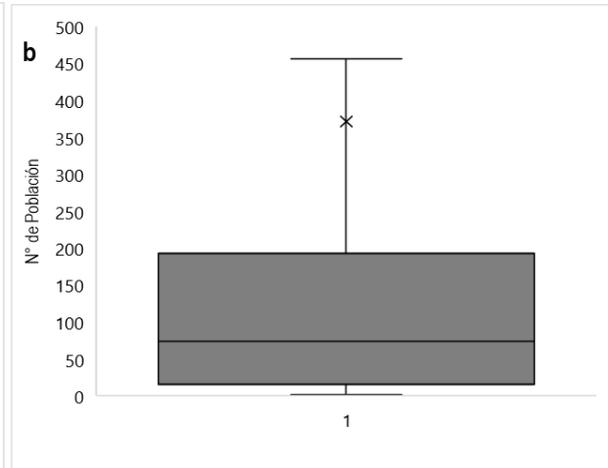
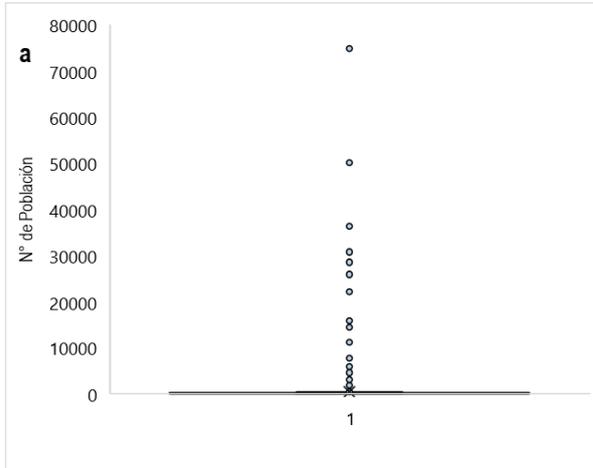
Libro Excel: 3erProducto_PeligroExposicion_FINAL.xlsx

Hoja: G_Plg_Compar_E1_E2

| Nivel | Escenario 1 | | Escenario 2 | |
|----------|-------------------------|------|-------------------------|------|
| | Área (km ²) | % | Área (km ²) | % |
| Bajo | 4426.2 | 8.7 | 2741.1 | 5.4 |
| Medio | 9710.4 | 19.0 | 6130.3 | 12.0 |
| Alto | 25123.0 | 49.3 | 20491.3 | 40.2 |
| Muy Alto | 11749.4 | 23.0 | 21639.1 | 42.4 |



8.9 Gráfico de bigotes



En "a" y "b" se muestra el gráfico de bigotes sin (a) y con (b) valores atípicos (círculos) del número de población y en "c" y "d" el del número de viviendas.

8.10 Niveles de riesgo

8.10.1 Centro poblado

Libro Excel: 3erProducto_TablasRiesgo.xlsx

Hoja: A_Riesgo_CCPP_E1_E2

8.10.2 Distritos

Libro Excel: 3erProducto_TablasRiesgo.xlsx

Hoja: B_Riesgo_Distrito_E1_E2

8.10.3 Establecimiento de salud

Libro Excel: 3erProducto_TablasRiesgo.xlsx

Hoja: C_Riesgo_EESS_E1_E2

8.10.4 Instituciones educativas

Libro Excel: 3erProducto_TablasRiesgo.xlsx

Hoja: D_Riesgo_IIEE_E1_E2

8.10.5 Otras infraestructuras, Escenario de Riesgo-1 y 2

Libro Excel: 3erProducto_TablasRiesgo.xlsx

Hoja: E_Riesgo_Otralnf_E1 (Escenario-1)

F_Riesgo_Otralnf_E2 (Escenario-2)

8.10.6 Recursos de respuesta a emergencia

Libro Excel: 3erProducto_TablasRiesgo.xlsx

Hoja: G_Riesgo_RecResEme_E1_E2

8.10.7 Aeródromos

Libro Excel: 3erProducto_TablasRiesgo.xlsx

Hoja: H_Riesgo_Aerod_E1_E2

8.10.8 Red Vial

Libro Excel: 3erProducto_TablasRiesgo.xlsx

Hoja: I_Riesgo_RedVial_E1_E2

8.10.9 Canal de Riego

Libro Excel: 3erProducto_TablasRiesgo.xlsx

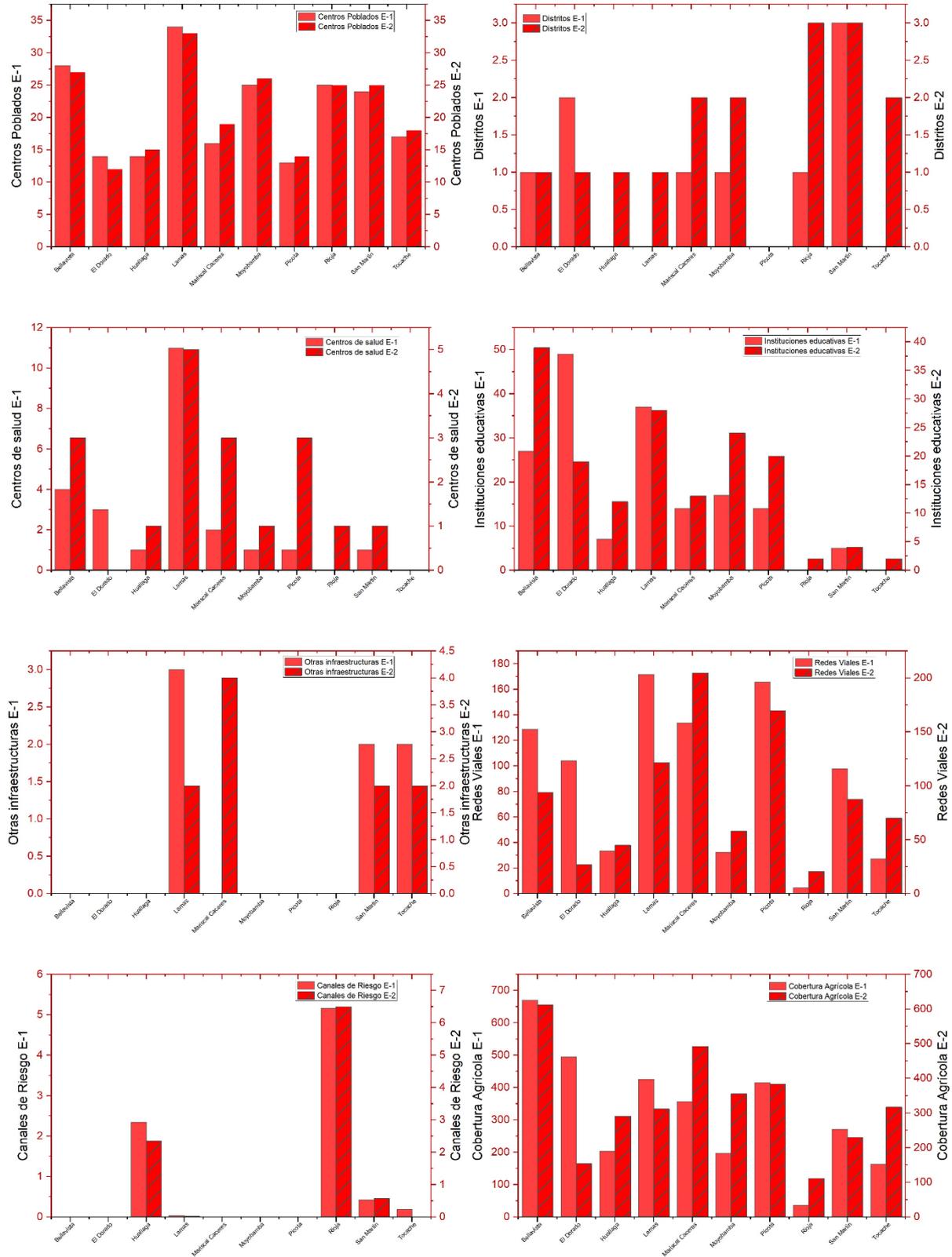
Hoja: J_Riesgo_CanalRieg_E1_E2

8.10.10 Cobertura agrícola

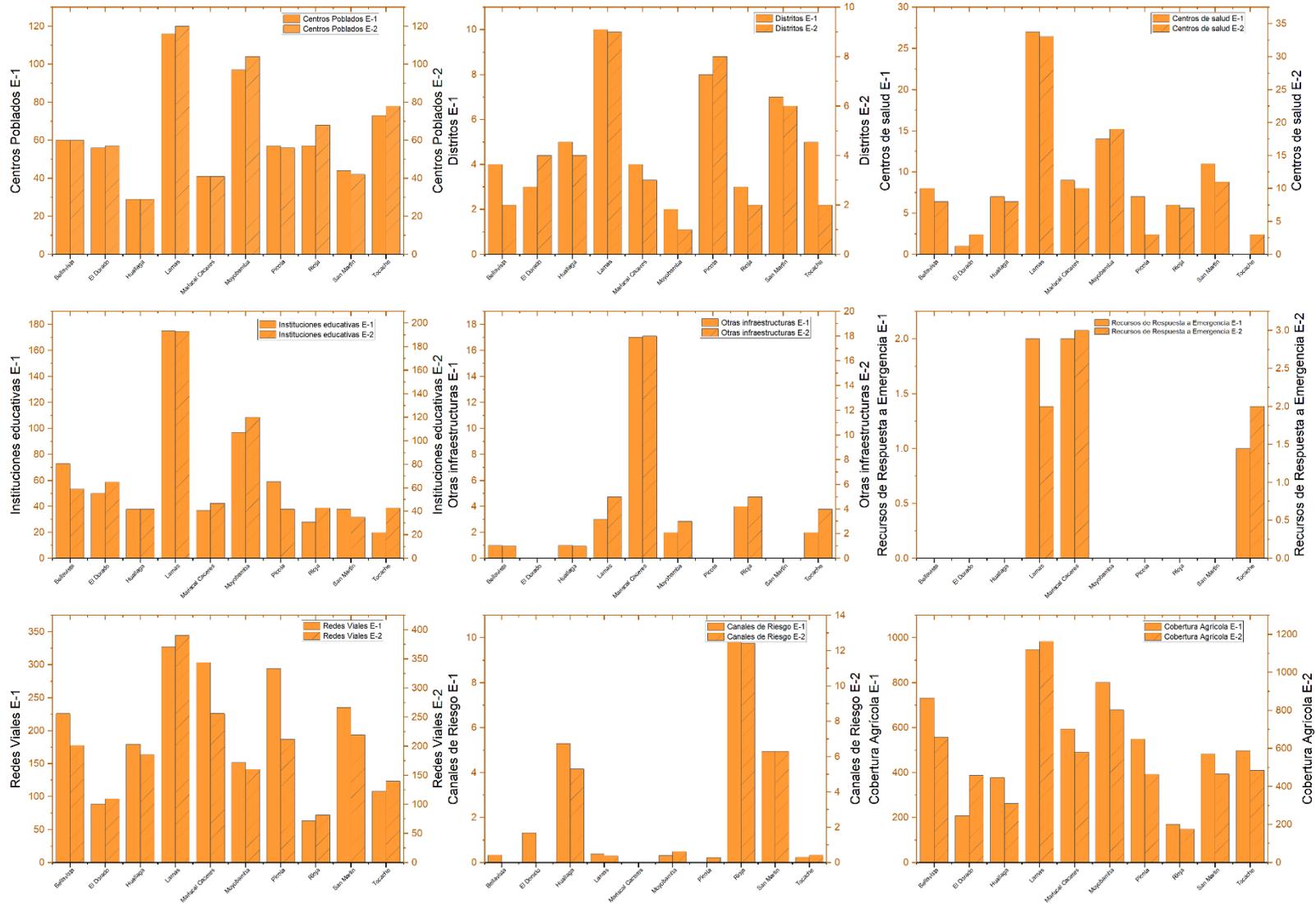
Libro Excel: 3erProducto_TablasRiesgo.xlsx

Hoja: K_Riesgo_CobVeg_E1_E2

8.11 Gráficos comparativos de cantidad de elementos expuestos bajo los Escenarios de Riesgo-1 y Escenario de Riesgo-2 - Nivel de Riesgo Muy Alto



8.12 Gráficos comparativos de cantidad de elementos expuestos bajo los Escenarios de Riesgo-1 y Escenario de Riesgo-2 - Nivel de Riesgo Alto





CENEPRED

Centro Nacional de Estimación, Prevención y
Reducción del Riesgo de Desastres

Av. Del Parque Norte 313 - 319. San Isidro Lima - Perú
Central Telefónica: (051) 2013550

<https://www.gob.pe/cenepred>

 CENEPRED

 @CENEPRED

 CENEPRED

 CENEPRED PERU