



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

**Identificación de zonas de riesgo por
inundaciones, deslizamientos y socavones en
Ecuador con visualizadores interactivos**

Proyecto Integrador

Previo a la obtención del Título de:
Ingeniero en Estadística

Presentado por:

OSCAR DANIEL BOLAÑOS FLORES
BRITNEY NAYELI RODRÍGUEZ RIVAS

Guayaquil - Ecuador

2025

Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, cuyo amor, ejemplo y guía han sostenido cada paso de este proceso; a mi hermano Franklin, quien me abrió las puertas del mundo de la estadística; y a mi hermana Ileana, que siempre consigue sacarme una sonrisa.

A mis amigos de la universidad, sin cuya compañía y apoyo este camino habría sido mucho más difícil.

A mi tutora de tesis, Ph.D. Katherine Loor Valeriano, cuyo profesionalismo y experiencia orientaron mi trabajo con claridad y rigor hasta el final.

Y a mi novia, mi compañera incondicional, por su paciencia, comprensión y aliento permanente; por celebrar conmigo cada logro y sostenerme en los momentos difíciles. Su apoyo ha sido fundamental y, sin duda, lo más valioso que me ha ocurrido en esta etapa universitaria.

Óscar Bolaños Flores

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres por su gran apoyo, paciencia y amor a lo largo de mi vida, así como por enseñarme valores como la perseverancia, la dedicación y la disciplina necesarias para seguir adelante ante cualquier dificultad.

A mis hermanos, cuya alegría y ocurrencias siempre lograron sacarme una sonrisa, incluso en los momentos más difíciles.

A los profesores que guiaron mi camino a través de sus enseñanzas y, en especial, a mi tutora de tesis por su valioso apoyo y orientación en esta última etapa.

A mi pareja, por su paciencia, comprensión y compañía constante. Gracias por alentarme a continuar cuando las fuerzas parecían faltar y por recordarme que este esfuerzo valía la pena.

Britney Rodríguez Rivas

Declaración Expresa

Nosotros Oscar Daniel Bolaños Flores y Britney Nayeli Rodríguez Rivas, acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 28 de Mayo del 2025.



Oscar Daniel Bolaños
Flores



Britney Nayeli Rodríguez
Rivas

Evaluadores

M.Sc. Roa López Heydi Mariana
Profesor de Materia

Ph.D. Llor Valeriano Katherine
Tutor de proyecto

Resumen

En Ecuador, la recurrencia de inundaciones, deslizamientos y socavones genera pérdidas humanas, materiales y económicas, y demanda herramientas operativas para la planificación territorial y la prevención. Este proyecto diseña visualizadores interactivos en **ArcGIS** que integran registros históricos (2012–2023) de eventos reportados a nivel nacional, permitiendo explorar la distribución temporal y espacial de los tres fenómenos mediante filtros por año, mes, provincia, cantón y parroquia.

Adicionalmente, se construye un índice cantonal de riesgo (R) de inundaciones, que combina **vulnerabilidad** (V), **exposición** (E) y **peligro** (P) a través del análisis de componentes principales (ACP) y una agregación multiplicativa ($R = P \times E \times V$). La vulnerabilidad y la exposición se derivan de indicadores censales recientes, mientras que el peligro incorpora precipitación máxima en 24 horas y recurrencia histórica de inundaciones.

Los resultados muestran picos nacionales de inundaciones en 2021 y 2023, concentrados entre febrero y mayo; a escala provincial, destacan cantones como Guayaquil, Salitre y Durán (Guayas) y Portoviejo, Chone y Manta (Manabí). El índice identifica clústeres de alto riesgo principalmente en cantones de Esmeraldas, Manabí y Los Ríos, donde la alta exposición y limitaciones en servicios básicos amplifican la vulnerabilidad. El tablero y el índice aportan evidencia operativa para priorizar zonas, orientar medidas preventivas y apoyar la asignación de recursos y la comunicación del riesgo a tomadores de decisión locales.

Palabras claves: ArcGIS, Exposición, Índice, Peligro, SIG, Vulnerabilidad.

Abstract

In Ecuador, recurrent floods, landslides, and sinkholes cause human, material, and economic losses, underscoring the need for operational tools for territorial planning and prevention. This project builds interactive **ArcGIS** dashboards that integrate nationwide records (2012–2023) of reported events, enabling temporal and spatial exploration of the three hazards with filters by year, month, province, county, and parish.

Additionally, we develop a cantonal flood risk index (R) that combines **vulnerability** (V), **exposure** (E), and **hazard** (P) using principal component analysis (PCA) and a multiplicative aggregation ($R = V \times E \times P$). Vulnerability and exposure draw on recent census indicators, while hazard incorporates 24-hour maximum precipitation and historical flood recurrence.

Results show national flood peaks in 2021 and 2023, concentrated between February and May. At the subnational scale, recurrent hotspots appear in Guayas (e.g., Guayaquil, Salitre, Durán) and Manabí (Portoviejo, Chone, Manta). Within Guayas, the index identifies high-risk clusters where high exposure and gaps in basic services amplify vulnerability. The dashboards and the index provide actionable evidence to prioritize areas, guide preventive measures, support resource allocation, and strengthen risk communication for local decision-makers.

Keywords: ArcGIS, Exposure, Index, Hazard, GIS, Vulnerability.

Índice de figuras

Figura 1 – Proporción de observaciones faltantes por variable en el subconjunto de datos correspondiente a eventos clasificados como inundaciones .	26
Figura 2 – Proporción de observaciones faltantes por variable en el subconjunto de datos correspondiente a los eventos socavones (panel izquierdo) y deslizamientos (panel derecho).	27
Figura 3 – Serie temporal del total de inundaciones registradas en Ecuador desde 2012 hasta 2023.	35
Figura 4 – Serie temporal del total de inundaciones a nivel nacional por mes y año de 2012 a 2023.	36
Figura 5 – Total de inundaciones registradas por provincia desde 2012 hasta 2023.	37
Figura 6 – Total de inundaciones registradas por año y provincia en la Región Costa de 2012 a 2023.	37
Figura 7 – Total de inundaciones registradas por año y provincia en la Región Sierra de 2012 a 2023.	38
Figura 8 – Total de inundaciones registradas por año y provincia en la Región Amazónica de 2012 a 2023.	39
Figura 9 – Frecuencia de inundaciones por provincia de 2012 a 2023, expresada como número de eventos por cada 1000 km^2 .	39
Figura 10 – Total de inundaciones desde 2012 hasta 2023 por cantón, para las provincias de Guayas, Manabí, Esmeraldas y Los Ríos.	40
Figura 11 – Total de inundaciones por provincia para los años con mayor ocurrencia del evento (2017, 2021, 2022 y 2023).	42
Figura 12 – Total de inundaciones registradas desde 2012 hasta 2023 por Causa.	43
Figura 13 – Total de personas fallecidas, heridas, afectadas directamente y evacuadas por año debido a inundaciones.	45
Figura 14 – Total de personas fallecidas, heridas, afectadas directamente y evacuadas por mes y año, debido a inundaciones.	46
Figura 15 – Total de personas fallecidas y heridas por provincia, debido a las inundaciones durante 2012-2023.	46
Figura 16 – Total de personas afectadas directamente, damnificadas, desaparecidas y evacuadas por provincia, debido a las inundaciones durante 2012-2023.	47

Figura 17 – Total de personas afectadas directamente debido a inundaciones por año para las provincias de Esmeraldas, Guayas, Manabí y Los Ríos.	48
Figura 18 – Total de viviendas afectadas, viviendas destruidas, centros de salud afectados y establecimientos educativos afectados por mes y año.	50
Figura 19 – Total de viviendas afectadas, viviendas destruidas, centros de salud y establecimientos educativos afectados por provincia durante las inundaciones ocurridas desde 2012 hasta 2023.	51
Figura 20 – Total de puentes afectados, puentes destruidos, bienes públicos y privados afectados por provincia durante las inundaciones ocurridas desde 2012 hasta 2023.	52
Figura 21 – Total de hectáreas de cultivo afectadas y perdidas por inundaciones de 2012 a 2023.	53
Figura 22 – Total de hectáreas de cultivo afectadas y perdidas por año y mes, desde 2012 hasta 2023.	54
Figura 23 – Perfiles radiales de severidad de inundaciones por provincia (indicadores promedios por evento, 2012–2023).	55
Figura 24 – Serie temporal del total de deslizamientos registrados en Ecuador desde 2012 hasta 2023.	57
Figura 25 – Serie temporal del total de deslizamientos registrados en Ecuador por mes y año de 2012 a 2023.	58
Figura 26 – Total de deslizamientos registrados por provincia desde 2012 hasta 2023.	58
Figura 27 – Total de deslizamientos desde 2012 hasta 2023 por cantón para las provincias de Pichincha, Loja, Tungurahua y Chimborazo.	59
Figura 28 – Proporción de deslizamientos registrados desde 2012 hasta 2023 por Causa.	60
Figura 29 – Total de personas fallecidas, heridas, evacuadas y damnificadas por provincia debido a deslizamientos de 2012 a 2023.	62
Figura 30 – Total de viviendas afectadas y destruidas, bienes privados y públicos afectados, establecimientos educativos y puentes afectadas por provincia durante los deslizamientos ocurridos de 2012 hasta 2023.	64
Figura 31 – Total de hectáreas de cultivo afectadas y perdidas por deslizamientos de 2012 a 2023.	66
Figura 32 – Perfiles radiales de severidad de deslizamientos por provincia (indicadores promedios por evento, 2012–2023).	67
Figura 33 – Serie temporal del total de socavones registrados en Ecuador desde 2012 hasta 2023.	68

Figura 34 – Serie temporal del total de socavones registrados en Ecuador por mes y año de 2012 a 2023.	69
Figura 35 – Total de socavones registrados por provincia desde 2012 hasta 2023.	70
Figura 36 – Proporción de socavones registrados desde 2012 hasta 2023 por Causa.	71
Figura 37 – Total de personas heridas, afectadas directamente, evacuadas y dam- nificadas por provincia debido a socavamientos ocurridos de 2012 a 2023.	72
Figura 38 – Total de viviendas, puentes, bienes privados y públicos afectados por provincia durante los socavones ocurridos de 2012 hasta 2023. . . .	74
Figura 39 – Visualizador interactivo construido en ArcGIS.	75
Figura 40 – Mapa coroplético (izquierda) y mapa de calor (derecha) del Índice de Riesgo de Inundación ($R = P \times E \times V$) a nivel cantonal, Ecuador - 2022.	78
Figura 41 – Resultados normalizados de las variables que componen el subíndice de peligro.	80
Figura 42 – Resultados normalizados de las variables que conforman el subíndice de exposición.	81
Figura 43 – Resultados normalizados de las variables que confirman el subíndice de vulnerabilidad.	82

Índice de cuadros

Cuadro 1 – Número de registros identificados en la base de datos para los eventos clasificados como: inundaciones, deslizamientos y socavones, desde 2012 hasta 2023.	25
Cuadro 2 – Total de inundaciones ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron al menos una persona con alguna afectación. . .	43
Cuadro 3 – Total de inundaciones ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron al menos una estructura/bien con alguna afectación.	49
Cuadro 4 – Total de inundaciones ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron cultivos con alguna afectación.	53
Cuadro 5 – Total de deslizamientos ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron al menos una persona con alguna afectación. . .	61
Cuadro 6 – Total de deslizamientos ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron al menos una estructura/bien con afectación. . .	63
Cuadro 7 – Total de deslizamientos ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron cultivos con alguna afectación.	65
Cuadro 8 – Total de socavones ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron al menos una persona con alguna afectación.	71
Cuadro 9 – Total de socavones ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron al menos una estructura/bien con afectación.	73
Cuadro 10 – Total de socavones ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron cultivos con alguna afectación.	75

Lista de siglas y abreviaturas

ACP	Análisis de Componentes Principales
COE	Comité de Operaciones de Emergencia
DVEG	Distribución de Valores Extremos Generalizada (en inglés, Generalized Extreme Value Distribution o GEV)
ENSO	El Niño-Southern Oscillation
ETCCDI	Expert Team on Climate Change Detection and Indices
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador
KPI	Key Performance Indicator
ONU	Organización de las Naciones Unidas
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SNGR	Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos
SNGRE	Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias del Ecuador

Índice general

1	Introducción	15
1.1	Descripción del problema	15
1.2	Justificación del problema	17
1.3	Objetivos	17
1.3.1	Objetivo General	17
1.3.2	Objetivos Específicos	17
1.4	Marco Teórico	18
1.4.1	Inundaciones, deslizamientos y socavones: causas y características	18
1.4.1.1	Inundaciones	18
1.4.1.2	Deslizamientos	19
1.4.1.3	Socavones	20
1.4.2	Revisión de la Literatura	20
2	Metodología	23
2.1	Formulación de alternativas de solución	23
2.2	Metodología de diseño	24
2.2.1	Fuente de datos	24
2.2.2	Tratamiento de datos faltantes	25
2.2.3	Selección y codificación de variables	27
2.2.4	Análisis exploratorio	29
2.2.5	Diseño del visualizador	29
2.2.6	Construcción del índice de riesgo de inundaciones	30
2.2.6.1	Metodología implementada para la construcción del índice en Ecuador	32
2.3	Consideraciones éticas y legales	33
3	Análisis exploratorio de inundaciones, deslizamientos y socavones en Ecuador	34
3.1	Inundaciones en Ecuador	34
3.1.1	Inundaciones por año	34
3.1.2	Inundaciones por mes y año	35
3.1.3	Inundaciones por provincia	36
3.1.4	Posibles causas de las inundaciones	42
3.1.5	Afectaciones de las inundaciones en personas	43
3.1.6	Afectaciones de las inundaciones en estructuras	48
3.1.7	Afectaciones de las inundaciones en cultivos	52

3.1.8	Comparación multidimensional de las afectaciones generadas por las inundaciones	54
3.2	Deslizamientos en Ecuador	56
3.2.1	Deslizamientos por año	56
3.2.2	Deslizamientos por mes y año	57
3.2.3	Deslizamientos por provincia	58
3.2.4	Posibles causas de los deslizamientos	60
3.2.5	Afectaciones de los deslizamientos en personas	61
3.2.6	Afectaciones de los deslizamientos en estructuras	62
3.2.7	Afectaciones de los deslizamientos en cultivos	65
3.2.8	Comparación multidimensional de las afectaciones generadas por los deslizamientos	66
3.3	Socavones en Ecuador	67
3.3.1	Número de socavones por año	68
3.3.2	Número de socavones por mes y año	68
3.3.3	Número de socavones por provincia	69
3.3.4	Posibles causas de los socavones	70
3.3.5	Afectaciones de los socavones en personas	71
3.3.6	Afectaciones de los socavones en estructuras	73
3.3.7	Afectaciones de los socavones en cultivos	74
3.4	Visualizador interactivo usando ArcGIS	75
4	Índice de riesgo por inundaciones	77
4.1	Construcción del índice de riesgo	77
4.2	Resultados del índice de riesgo	78
4.2.1	Subíndice de peligro	79
4.2.2	Subíndice de exposición	80
4.2.3	Subíndice de vulnerabilidad social	81
5	Conclusiones y Recomendaciones	83
5.1	Conclusiones	83
5.2	Recomendaciones	85
	Bibliografía	86

1 Introducción

Ecuador es un país geográficamente diverso y tectónicamente activo, caracterizado por la presencia de zonas montañosas, regiones costeras y áreas amazónicas, lo cual lo hace particularmente vulnerable a amenazas naturales como inundaciones y deslizamientos de tierra. Estos eventos, agravados por factores como el cambio climático, el crecimiento urbano desorganizado y la deforestación, representan un riesgo significativo para la seguridad de las comunidades, la infraestructura pública y el desarrollo económico del país.

Estos fenómenos no son problemas que ocurren únicamente en Ecuador, pues eventos similares se han observado en países como Colombia, Perú, Venezuela y Brasil. En Colombia, regiones como Antioquia y Nariño han sufrido pérdidas humanas por deslizamientos, mientras que en Perú, las lluvias intensas asociadas al fenómeno de El Niño han generado inundaciones recurrentes en la costa norte, afectando especialmente a los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad ([SENAMHI, 2018](#)). En Venezuela, el deslave ocurrido en Las Tejerías en octubre de 2022 dejó más de 40 víctimas mortales y decenas de desaparecidos, evidenciando una vez más la fragilidad de las infraestructuras urbanas y la distribución de recursos públicos frente a fenómenos climáticos extremos. Asimismo, en octubre de 2024, la ciudad de Valencia (España) experimentó lluvias torrenciales que desencadenaron inundaciones y aludes, con un saldo trágico de decenas de fallecidos y cuantiosos daños materiales.

Para mitigar el impacto de los desastres naturales, se han desarrollado diversas estrategias orientadas a la gestión del riesgo. En Colombia, por ejemplo, se han implementado modelos predictivos apoyados en Sistemas de Información Geográfica (SIG). En Perú, se han promovido planes de reconstrucción y ordenamiento territorial basados en la identificación de zonas vulnerables a eventos climáticos extremos, especialmente en regiones afectadas por el fenómeno de El Niño. No obstante, estas iniciativas, en su mayoría, no se traducen en herramientas interactivas y operativas que puedan ser utilizadas de forma eficaz por los gobiernos locales, lo que evidencia la persistencia de un enfoque fragmentado y tecnocrático.

1.1 Descripción del problema

A lo largo del tiempo, Ecuador ha enfrentado eventos hidrometeorológicos extremos, particularmente durante los primeros meses del año, debido principalmente

al fenómeno de El Niño. Este fenómeno, caracterizado por el calentamiento anómalo de las aguas superficiales del océano Pacífico ecuatorial, al interactuar con la corriente fría de Humboldt, genera un incremento significativo en las precipitaciones, lo que a su vez provoca el desbordamiento de ríos y deslizamientos de tierra en diversas regiones del país ([Taylor & Enfield, 2019](#)). Un ejemplo reciente fue la temporada invernal 2023-2025, durante la cual se registraron afectaciones severas en provincias como Manabí, Esmeraldas y Chimborazo. Casos emblemáticos, como el deslizamiento en Alausí o los socavones en el sur de Quito, reflejan no solo el impacto de procesos naturales, sino también las consecuencias de una planificación urbana insuficiente y la carencia de medidas preventivas eficaces.

Estos eventos han tenido consecuencias devastadoras, entre las que se destacan la pérdida de vidas humanas, la destrucción de viviendas e infraestructura crítica, la afectación de actividades agrícolas, el aislamiento prolongado de comunidades y el desplazamiento forzado de poblaciones enteras. En 2025, más de 115000 personas resultaron afectadas en 23 provincias del país; se reportaron más de 30000 inmuebles dañados, 7800 hectáreas de cultivos destruidos y más de 50000 animales perdidos. Además, se reportaron daños en 32 puentes y en más de 91 kilómetros de vías. Ante la magnitud de la emergencia, el Comité de Operaciones de Emergencia (COE) Nacional declaró el estado de emergencia en ocho provincias, movilizando recursos para atender a la población afectada ([Ecuador en Vivo, 2025](#)). Estos datos evidencian no solo el impacto directo de los desastres naturales, sino también una serie de efectos indirectos sobre la economía, los servicios básicos, la salud pública y la educación. Las consecuencias económicas incluyen la pérdida de productividad, interrupción de cadenas de suministro, aumento del desempleo y presión sobre los recursos fiscales. Desde el punto de vista social, estos eventos profundizan las desigualdades existentes y generan una mayor dependencia de la ayuda estatal y humanitaria.

A pesar de los avances en cuanto a planificación territorial, desarrollo de sistemas de alerta temprana y capacitación comunitaria, la respuesta gubernamental continúa siendo limitada, especialmente en áreas rurales y en sectores con menor capacidad operativa. En muchos casos, las acciones adoptadas son reactivas y fragmentadas, sin una articulación efectiva entre la ciencia, la tecnología y la política pública. Si bien la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) ha promovido la elaboración de mapas de amenazas y la implementación de protocolos de emergencia, las herramientas disponibles suelen ser estáticas, poco actualizables y de difícil acceso para los técnicos locales. Además, existe una desconexión entre los análisis estadísticos de eventos pasados y la representación geoespacial del riesgo, lo que limita significativamente su aplicación en la toma de decisiones y en la planificación del territorio.

1.2 Justificación del problema

Este panorama evidencia que el análisis de los patrones históricos de eventos naturales no solo es relevante, sino urgente. Contar con este tipo de información permitiría identificar zonas con alta recurrencia de desastres, establecer prioridades de intervención y desarrollar estrategias de optimización y distribución de recursos.

Este proyecto surge como respuesta a la necesidad de fortalecer la capacidad institucional del estado ecuatoriano para mitigar el impacto de eventos como inundaciones, deslizamientos y socavones. Se propone el desarrollo de una herramienta interactiva de visualización geoespacial, basada en la plataforma ArcGIS, que permita identificar de forma clara y dinámica las zonas de mayor incidencia de estos eventos. La herramienta integrará el análisis exploratorio de datos históricos, la detección de patrones espaciales y la elaboración de mapas temáticos, con el objetivo de brindar soporte técnico a la Subsecretaría Nacional de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, así como a los gobiernos autónomos descentralizados.

Este estudio representa un aporte significativo hacia una gestión del riesgo más proactiva, territorialmente informada y socialmente responsable. Al facilitar el acceso a información georreferenciada actualizada y visualmente comprensible, se promueve una cultura de prevención en todos los niveles de gobierno, mejorando la capacidad de respuesta ante emergencias y contribuyendo a la protección de vidas humanas, infraestructura y medios de subsistencia en las zonas más vulnerables del país.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar visualizadores interactivos que integren datos históricos de eventos naturales, facilitando la exploración geográfica y la comunicación de riesgos a tomadores de decisiones y actores locales, con el fin de fortalecer la planificación territorial y las acciones preventivas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Clasificar los tipos de evento registrados en la base de datos mediante un proceso de depuración y agrupación temática, con el fin de identificar y aislar únicamente los eventos asociados a inundaciones, deslizamientos y socavones.

- Identificar patrones históricos mediante el análisis de la distribución espacial y evolución temporal de inundaciones, deslizamientos y socavones en Ecuador, con el fin de reconocer zonas de recurrencia y mayor vulnerabilidad.
- Generar representaciones geospaciales a partir de los datos disponibles, que permitan visualizar las zonas con mayor recurrencia e impacto de eventos naturales en el territorio ecuatoriano.

1.4 Marco Teórico

Los fenómenos naturales como inundaciones, deslizamientos y socavones constituyen amenazas significativas para la seguridad humana, el desarrollo territorial y la infraestructura crítica, especialmente en países con alta diversidad geográfica como Ecuador. La interacción entre factores físicos, climáticos y antrópicos ha incrementado la frecuencia e intensidad de estos eventos, exacerbando la vulnerabilidad de comunidades enteras.

Desde una perspectiva de gestión del riesgo, la comprensión de estos fenómenos no puede limitarse a su ocurrencia aislada, sino que debe considerar sus patrones históricos, su distribución espacial y las condiciones sociales que agravan su impacto. En este contexto, la identificación de zonas de riesgo adquiere un papel central, pues permite establecer prioridades, planificar intervenciones preventivas y mitigar futuras pérdidas.

1.4.1 Inundaciones, deslizamientos y socavones: causas y características

1.4.1.1 Inundaciones

Las inundaciones pueden clasificarse en fluviales, pluviales y costeras. En Ecuador, las más frecuentes son las fluviales, originadas por el desbordamiento de ríos tras lluvias intensas, muchas veces potenciadas por eventos como el fenómeno de El Niño ([Espinoza, 1996](#)). Entre sus causas antrópicas destacan la deforestación, la sedimentación de cauces, el crecimiento urbano desordenado y el deterioro de la infraestructura hidráulica.

El fenómeno de El Niño que constituye una de las principales causas de inundaciones severas en la región costera ecuatoriana, provoca precipitaciones hasta 2.3 veces superiores al promedio de las temporadas regulares ([Espinoza, 1996](#)). En contraste el fenómeno de La Niña, que suele traer menos precipitaciones y estar asociada con sequías, en ocasiones también ha generado inundaciones puntuales debido al aumento

de lluvias en zonas específicas del país, especialmente cuando se combina con otros factores climáticos locales.

La sedimentación en los ríos reduce significativamente su capacidad de evacuación de caudales, lo que incrementa el riesgo de desbordamientos y consecuentemente inundaciones en las zonas aledañas. Un ejemplo claro se observa en el río San Pablo, en la provincia de Los Ríos, donde la acumulación de arena ha generado inundaciones que afectan directamente a terrenos agrícolas como los de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo, donde las inundaciones recurrentes causan pérdidas económicas, destruyen cultivos y dañan infraestructura académica y productiva (Parrales *et al.*, 2020).

Por otra parte, la falta de monitoreo adecuado en cuencas hidrográficas, como en la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga (Manabí), obstaculiza la planificación territorial e incrementa la exposición a eventos extremos (Burgos Choez *et al.*, 2019). Adicionalmente, la expansión de actividades como la camaronera ha transformado zonas costeras en áreas propensas a inundaciones, debido a la alteración de manglares y ecosistemas frágiles (Mendívez *et al.*, 2014; Azuero *et al.*, 2021).

1.4.1.2 Deslizamientos

Los deslizamientos ocurren principalmente en zonas andinas con pendientes pronunciadas y suelos volcánicos poco consolidados. Factores como la sobrecarga urbana, uso inadecuado del suelo, deforestación, lluvias intensas y sismos contribuyen a su activación. El caso reciente de Alausí (2023) ejemplifica esta problemática, con precipitaciones acumuladas seis veces por encima del promedio histórico y un terreno altamente susceptible (Pilatasig *et al.*, 2025; Macías *et al.*, 2024).

El incremento extremo de lluvias durante eventos cálidos de El Niño intensifica la inestabilidad de laderas en buena parte de la Sierra centro-sur, mientras que pulsos fríos de La Niña suelen concentrar chubascos orográficos hacia el interior andino; ambos patrones agravan la susceptibilidad cuando coinciden con taludes intervenidos y bosques secundarios reducidos (Pilatasig *et al.*, 2025).

A escala global, la plataforma LHASA-Forecast de la NASA fusiona previsiones GEOS-FP, humedad de suelo y variables estáticas (pendiente, litología, deforestación) para generar alertas de deslizamiento con 72 horas de anticipación y resolución de 1 km, una herramienta importante para complementar los sistemas ecuatorianos de alerta temprana (Khan *et al.*, 2022).

1.4.1.3 Socavones

Los socavones o hundimientos súbitos del terreno están asociados a procesos como la minería subterránea (e.g., Zaruma, Portovelo), erosión fluvial regresiva (e.g., río Coca) y disolución de materiales volcánicos en contextos urbanos. Estos eventos representan una amenaza emergente que requiere monitoreo continuo mediante tecnologías geoespaciales ([Ammirati *et al.*, 2020](#); [Oak Ridge National Laboratory, 2024](#)).

Un caso emblemático es el de Zaruma, donde estudios de interferometría DInSAR aplicados a imágenes Sentinel-1 entre 2015 y 2019 detectaron subsidencias de hasta 30 mm/año, asociadas a túneles artesanales ubicados a menos de 50 metros de profundidad en el centro patrimonial de la ciudad ([Ammirati *et al.*, 2020](#)). Esta inestabilidad obligó al cierre técnico del Hospital Humberto Molina, y motivó estudios geotécnicos que recomendaron la implementación de canales de drenaje y rellenos controlados como medidas para restituir la seguridad estructural ([Carrión-Mero *et al.*, 2022](#)).

1.4.2 Revisión de la Literatura

En América Latina y otras regiones del mundo se han desarrollado diversos enfoques para el análisis y prevención de eventos naturales. En Argentina, por ejemplo, se ha empleado la distribución de Gumbel para modelar máximos históricos de precipitaciones, integrando factores como la pobreza estructural y el índice de necesidades básicas insatisfechas para identificar áreas vulnerables y hogares propensos a inundaciones ([Bucogen *et al.*, 2024](#)).

En México, estudios realizados en Atemajac (Jalisco) han combinado modelos deterministas y paramétricos para generar mapas de riesgo de inundación, considerando periodos de retorno de hasta 100 años y evaluaciones de exposición social, física y ambiental ([Hernández-Uribe *et al.*, 2017](#)). El enfoque determinista es basado en modelación numérica y estimación de daños, mientras que el enfoque paramétrico homogeniza los factores de vulnerabilidad mediante índices adimensionales normalizados en componentes sociales, económicos, físicos y ambientales.

En el ámbito de los deslizamientos, el sistema LHASA-Forecast de la NASA ha sido implementado a escala global para generar alertas tempranas con base en lluvia satelital, litología, pendiente, deforestación y densidad de carreteras para generar probabilidades de deslizamiento con hasta 72 horas de anticipación, alcanzando resoluciones de hasta 1 km e integrándose a plataformas de gestión de riesgo ([Khan *et al.*, 2022](#)). Este modelo ha sido complementado en Nepal, Colombia y Perú con sensores de humedad de suelo y calibración de umbrales locales.

En contextos urbanos, investigaciones como la de Ciudad de Guatemala han resaltado la importancia de integrar redes de alcantarillado e infraestructura en la modelación del riesgo, especialmente sobre suelos volcánicos porosos ([Hermosilla, 2011](#)). Asimismo, el uso de técnicas de aprendizaje automático ha mostrado eficacia en la predicción de áreas susceptibles, como en el caso de Florida, EE.UU., donde se logró una precisión del 84 % en la identificación de zonas kársticas con riesgo de colapso ([Kim & Nam, 2018](#)).

En Ecuador, [Vincenti et al. \(2016\)](#) estudiaron datos pluviométricos diarios de más de 30 años en la ciudad de Machala, utilizando el software R-Climdex para calcular 27 índices climáticos recomendados por el Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI), enfocados en la identificación de extremos de precipitación y temperatura. El análisis se realizó sobre series temporales del INAMHI, contrastando períodos secos y húmedos, e identificando tendencias en los eventos extremos. Los resultados mostraron un aumento significativo en la frecuencia y magnitud de las precipitaciones intensas, especialmente durante años asociados al fenómeno ENSO (El Niño-Southern Oscillation). Además, los autores encontraron una alta correlación entre los picos de precipitación y los eventos de inundación reportados por la SNGR.

Por otra parte, el estudio de [Ríos et al. \(2021\)](#) analiza los factores que generan un posible represamiento en el estuario del río Guayas, frente a Guayaquil, evaluando su incidencia en los eventos de inundación en la ciudad. Mediante mediciones de campo en tres estaciones (Puente Guayaquil-Samborondón; Parque Histórico; Malecón 2000), realizadas en ambas fases lunares (cuadratura y sicigia) durante la época seca, se determinó que en esa temporada no existe una constricción significativa ni remanso apreciable en el cauce. Sin embargo, el estudio sugiere que, en periodos de caudal alto, como en temporada lluviosa o durante El Niño, factores como la sedimentación, la configuración de islas (como El Palmar), el aporte desbalanceado del río Babahoyo y obras civiles (represa Daule-Peripa, puentes) podrían generar represamientos que elevan el riesgo de inundación en Guayaquil.

El caso de los deslizamientos en Alausí ha sido estudiado mediante análisis geofísicos que han permitido estimar el volumen desplazado y caracterizar zonas de debilidad estructural ([Pilatasig et al., 2025](#); [Macías et al., 2024](#)). En el ámbito de los socavones, los estudios en Zaruma mediante imágenes Sentinel-1 han detectado deformaciones asociadas a minería informal ([Ammirati et al., 2020](#)), mientras que en el río Coca, los procesos de erosión regresiva han sido documentados mediante mapeo con drones y sensores remotos ([Oak Ridge National Laboratory, 2024](#)).

Una variante reciente en Ecuador es la erosión regresiva del río Coca (2020-2025), donde la remoción acelerada del lecho fluvial ha generado cráteres y socavones

que amenazan carreteras, oleoductos y la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. Estudios de teledetección cuantifican la pérdida de 500 m de sedimentos y la migración del “head-cut” a una velocidad media de 1.4 km/año ([Oak Ridge National Laboratory, 2024](#)).

2 Metodología

Este capítulo presenta la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto de identificación de zonas de riesgo por inundaciones, deslizamientos y socavones en Ecuador, a partir del análisis de registros históricos y su visualización mediante herramientas interactivas. Se describen las diferentes alternativas metodológicas consideradas, el proceso de selección de la solución más adecuada, así como el diseño conceptual de la solución.

Además, se expone la caracterización de la base de datos utilizada, los criterios técnicos aplicados, y las decisiones tomadas en cuanto al procesamiento, análisis y visualización de la información. Finalmente, se abordan las especificaciones técnicas del producto generado, junto con las consideraciones éticas y legales que guiaron el proceso.

2.1 Formulación de alternativas de solución

Con base en la necesidad de identificar zonas de riesgo ante fenómenos naturales como inundaciones, deslizamientos y socavones en Ecuador, se formularon distintas alternativas de solución. Estas alternativas consideraron tanto enfoques tradicionales de análisis geográfico como métodos computacionales modernos para visualización e inferencia espacial. Las principales opciones evaluadas consisten en:

- El diseño de visualizadores interactivos y análisis exploratorio de eventos históricos. Esta alternativa se enfocó en consolidar datos históricos georreferenciados y visualizarlos mediante un sistema web dinámico, con funcionalidades de filtrado, análisis espacial, temporal y generación de indicadores. Esta opción permitía la integración de análisis estadísticos con herramientas de visualización intuitivas, facilitando su comprensión por parte de usuarios técnicos y no técnicos. Además, ofrecía mayor flexibilidad y escalabilidad, permitiendo su actualización periódica y su adaptación a diferentes contextos territoriales.
- La implementación de un sistema de alerta temprana basado en modelos predictivos y aprendizaje automático. Esta opción contemplaba el uso de algoritmos de machine learning (por ejemplo, random forest, XGBoost o redes neuronales) entrenados con variables topográficas, meteorológicas e históricas para anticipar la ocurrencia de eventos. Si bien prometía generar alertas automatizadas, requería

bases de datos de alta resolución temporal y espacial, así como una infraestructura computacional más avanzada y acceso en tiempo real a sensores o estaciones meteorológicas, lo cual no siempre era factible.

Una vez formuladas las propuestas de solución, se optó por desarrollar la primera alternativa, dado que permitía integrar el análisis de datos históricos con componentes tanto temporales como espaciales mediante el uso de visualizadores dinámicos construidos sobre plataformas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este enfoque resultó especialmente valioso por su utilidad práctica ya que los resultados generados son fácilmente interpretables tanto por especialistas en estadística como por usuarios no técnicos, incluyendo autoridades y técnicos de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) del país. Además, la solución presenta un alto grado de escalabilidad, ya que el sistema puede ser actualizado de forma continua mediante la incorporación de nuevos registros en la base de datos, sin necesidad de rediseñar la plataforma visual. Se construyó también un índice de riesgo por inundaciones a nivel cantonal, los detalles de este índice son proporcionados en la Sección [2.2.6](#).

2.2 Metodología de diseño

El desarrollo del proyecto siguió una metodología estructurada en seis etapas:

1. Fuente de datos
2. Tratamiento de datos faltantes
3. Selección y codificación de variables
4. Análisis exploratorio
5. Diseño del visualizador
6. Elaboración de un índice de riesgo por inundaciones

Cada una de estas etapas es descrita de manera detallada a continuación.

2.2.1 Fuente de datos

La base de datos utilizada fue proporcionada por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. En esta etapa, se realizó una evaluación inicial de dicha base de datos con el objetivo de conocer las variables disponibles y su estructura. Posteriormente, se aplicaron filtros específicos para seleccionar únicamente los registros relacionados con los eventos de interés: inundaciones, socavones y deslizamientos. Cabe destacar que la base de datos abarca registros comprendidos entre los años 2012 y 2023.

En cuanto a las inundaciones, se identificaron 5808 registros. Adicionalmente, se encontraron otros eventos relacionados con el movimiento de masas de agua que, si bien no constituyen inundaciones propiamente dichas, presentan relevancia en el contexto del estudio. Entre ellos se incluyen oleajes (153 registros) y aluviones (424 registros). En este estudio, se agruparon como eventos de tipo inundación todos aquellos relacionados con el ingreso o desplazamiento súbito de masas de agua en el territorio, incluyendo inundaciones fluviales, oleajes extremos y aluviones.

Respecto a los deslizamientos, se localizaron 11507 registros, lo que representa uno de los eventos más frecuentes dentro del conjunto de datos. En el caso de los socavamientos, se identificaron 840 registros bajo esa denominación, y 474 registros clasificados como hundimientos. En este estudio, los eventos registrados como hundimientos y socavamientos fueron clasificados bajo la categoría general de socavones, dado que ambos comparten características estructurales similares y se manifiestan como colapsos localizados del terreno. La información consolidada se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1 – Número de registros identificados en la base de datos para los eventos clasificados como: inundaciones, deslizamientos y socavones, desde 2012 hasta 2023.

Clasificación	Tipo de evento	Número de eventos
Inundaciones	Aluviones	424
	Inundaciones	5808
	Oleajes	153
Deslizamientos	Deslizamientos	11507
Socavones	Hundimientos	474
	Socavamientos	840

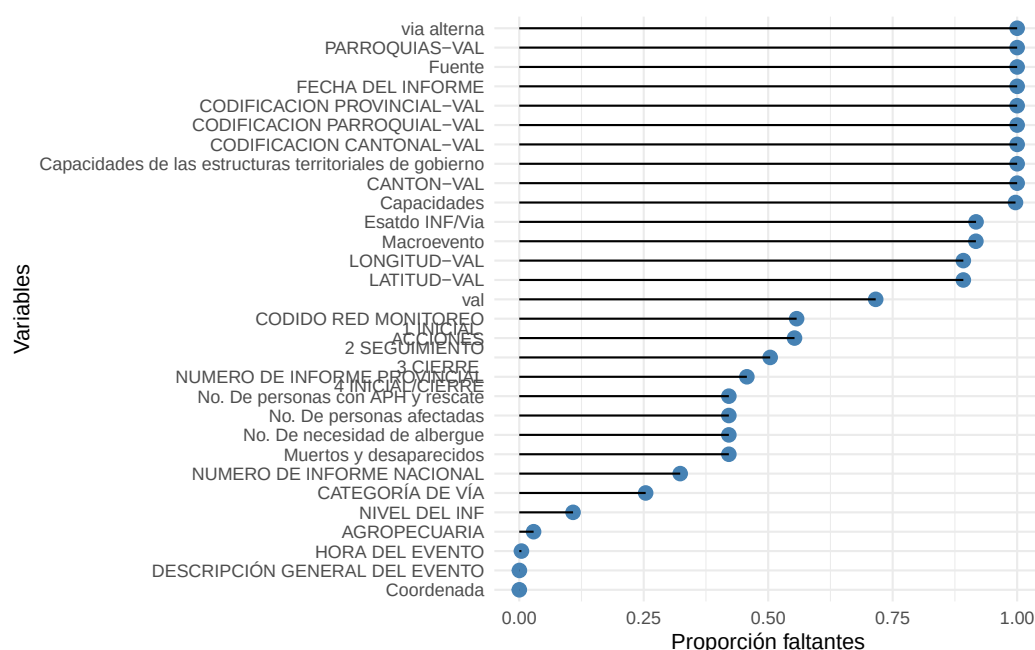
2.2.2 Tratamiento de datos faltantes

Una vez realizado el análisis general de la base de datos, se identificó que muchas de las variables disponibles presentaban valores faltantes. En la mayoría de los casos, estos datos no eran fácilmente imputables debido tanto a su naturaleza como a la magnitud de los vacíos existentes. Para evitar posibles sesgos en el análisis derivados de la ausencia de información completa, se optó por excluir del análisis ciertas variables por diversas razones metodológicas. Algunas no aportaban información relevante para los objetivos del estudio; otras estaban destinadas exclusivamente a procesos de validación interna; y un grupo adicional correspondía a variables de reciente incorporación que no contaban con registros históricos suficientes para su análisis comparativo.

En la Figura 1 se muestran las variables que contenían al menos un valor faltante en el subconjunto de datos correspondiente a eventos clasificados como

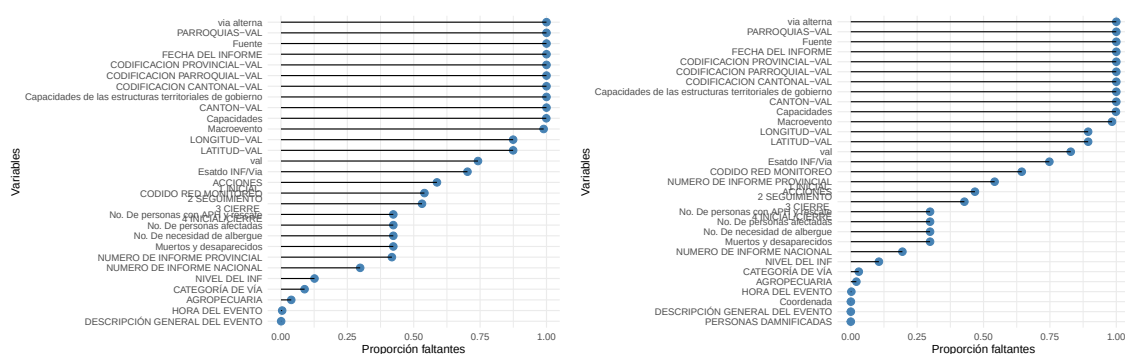
inundaciones. Por tanto, aquellas que no aparecen en el gráfico no presentaban esta condición. En total, se identificó que 30 de las 87 variables disponibles presentaban valores faltantes. De ese conjunto, 18 variables registraban más del 50 % de observaciones perdidas, lo que representa una proporción considerable. Sin embargo, la mayoría de estas variables correspondían a campos destinados a validación y control interno, como por ejemplo: parroquias-VAL, codificación provincial-VAL, codificación parroquial-VAL, y codificación cantonal-VAL, entre otras.

Figura 1 – Proporción de observaciones faltantes por variable en el subconjunto de datos correspondiente a eventos clasificados como **inundaciones**.



La Figura 2 muestra la proporción de observaciones faltantes por variable para los eventos de socavones (panel izquierdo) y deslizamientos (panel derecho). En el conjunto de datos correspondiente a socavones, se identificaron 29 variables con observaciones faltantes, de las cuales 18 presentan más del 50 % de datos no registrados, lo que limita significativamente su utilidad para el análisis. La mayoría de estas variables coincide con las que presentaban datos ausentes en el subconjunto de inundaciones (ver Figura 1); sin embargo, se observó que estas solo difieren de la variable coordenadas, que presentaba valores faltantes en el caso de inundaciones, pero no presenta esta condición en socavones. En cuanto al conjunto de deslizamientos, se detectaron 31 variables con al menos un valor faltante, siendo 17 de ellas las que superan el umbral del 50 % de datos ausentes. Cabe señalar que, en este último subconjunto, la variable número de personas damnificadas presenta únicamente un caso con valor faltante, por lo que fue mantenida en el análisis, al no representar un impacto negativo significativo en los resultados del análisis.

Figura 2 – Proporción de observaciones faltantes por variable en el subconjunto de datos correspondiente a los eventos **socavones** (panel izquierdo) y **deslizamientos** (panel derecho).



2.2.3 Selección y codificación de variables

Para el estudio de identificación de las afectaciones generadas por eventos naturales como inundaciones, deslizamientos y socavones, se seleccionaron un conjunto de variables consideradas relevantes para los objetivos del análisis. Estas variables fueron organizadas en cuatro categorías principales: (i) variables de identificación del evento, (ii) variables relacionadas con afectaciones a personas, (iii) variables sobre afectaciones en infraestructura, y (iv) variables de afectaciones en cultivos.

(i) Variables de identificación del evento:

- **Provincia:** Provincia donde ocurrió el evento.
- **Cantón:** Cantón donde ocurrió el evento.
- **Fecha del evento:** Fecha en la que ocurrió el evento en formato dd/mm/aa. A partir de esta variable se crearon las variables mes y año en el cual ocurrió el evento.
- **Longitud:** Ángulo en grados que mide la distancia al norte o sur del Ecuador.
- **Latitud:** Ángulo en grados que mide la distancia al este u oeste del meridiano de Greenwich.
- **Tipo del evento:** Para esta variable se consideraron únicamente los eventos relacionados con inundaciones, oleajes y aluviones que fueron categorizados como inundaciones, deslizamientos, y aquellos registrados como hundimientos o socavamientos, los cuales fueron agrupados bajo la categoría común de socavones.
- **Causa:** Posible causa que origina el evento.

(ii) Afectaciones en personas:

- **Fallecidas:** Número de personas fallecidas por el evento.
- **Heridas:** Número de personas heridas por el evento.
- **Personas afectadas directamente:** Número de personas afectadas por el evento, pero que no necesariamente requieren ser evacuadas.
- **Personas damnificadas:** Número de personas que resultaron damnificadas debido al evento.
- **Personas evacuadas:** Número de personas evacuadas debido al evento.

(iii) Afectaciones en infraestructuras:

- **Viviendas afectadas:** Número de viviendas afectadas por el evento.
- **Viviendas destruidas:** Número de viviendas destruidas por el evento.
- **Centros de salud afectados:** Número de centros de salud afectados por el evento. No se consideran los centros de salud destruidos ya que según la base de datos esto no ha ocurrido durante los eventos observados entre 2012 y 2023.
- **Establecimientos educativos afectados:** Número de centros educativos afectados por el evento.
- **Establecimientos educativos destruidos:** Número de centros educativos destruidos por el evento.
- **Puentes afectados:** Número de puentes que resultaron afectados por el evento.
- **Puentes destruidos:** Número de puentes destruidos por el evento.
- **Bienes públicos afectados:** Número de bienes públicos que resultaron afectados por el evento.
- **Bienes públicos destruidos:** Número de bienes públicos destruidos por el evento.
- **Bienes privados afectados:** Número de bienes privados que resultaron afectados por el evento.
- **Bienes privados destruidos:** Número de bienes privados destruidos por el evento.

(iv) Afectaciones en cultivos

- **Ha de cultivos afectadas:** Número de hectáreas de cultivo afectados por el evento.
- **Ha de cultivos destruidos:** Número de hectáreas de cultivo destruidas por el evento.

2.2.4 Análisis exploratorio

Como parte del análisis exploratorio, se elaboraron distintas visualizaciones gráficas con el objetivo de identificar patrones relevantes en los eventos registrados. Entre ellas, se generaron gráficos de líneas para representar series temporales, utilizando como eje principal la variable mes o año del evento. Estas representaciones permitieron visualizar la evolución temporal de indicadores como el número de eventos, número de personas afectadas, heridas o fallecidas.

Para incorporar la dimensión espacial, se construyeron mapas de coropletas, los cuales muestran la distribución geográfica del nivel de afectación por provincia. Estos mapas fueron generados tanto para el período total como de forma desagregada por año, lo que permitió identificar cambios en los patrones territoriales a lo largo del tiempo. Los mapas de coropletas son representaciones cartográficas en las que las áreas geográficas (como provincias, cantones o parroquias) se rellenan con colores o intensidades para reflejar los valores de una variable cuantitativa ([Slocum et al., 2022](#)).

Se utilizaron gráficos de burbujas para explorar la relación entre la frecuencia de los eventos y sus causas reportadas, destacando con mayor tamaño y color aquellas categorías que concentran más casos. La magnitud de los daños humanos y materiales fue representada mediante gráficos de barras, que permitieron comparar variables como viviendas dañadas o destruidas, personas afectadas y centros de salud comprometidos, proporcionando así una visión clara del impacto registrado.

Además, elaboramos mapas radiales (gráficos de radar o “araña”) que, en un plano polar, disponen como ejes múltiples dimensiones de afectación, por ejemplo, personas afectadas, evacuadas y damnificadas; viviendas y puentes destruidos, y trazan, para cada provincia, un polígono que sintetiza su perfil relativo. La construcción siguió tres pasos: (i) agregación de los registros por provincia; (ii) cálculo de indicadores comparables, priorizando la severidad por evento frente a totales; y (iii) normalización de cada eje al intervalo $[0, 1]$ para habilitar la comparación entre variables con escalas distintas. Estos mapas permiten contrastar simultáneamente patrones de impacto y detectar territorios con énfasis humano, residencial o infraestructural, complementando la lectura de mapas de coropletas y tablas. Para más detalles sobre cómo realizar el mapa radial consultar [Chambers \(2018\)](#).

2.2.5 Diseño del visualizador

Algunos de los gráficos descritos en la sección anterior fueron integrados en un panel interactivo desarrollado en ArcGIS, la plataforma de sistemas de información geográfica (SIG) de Esri, cuyo acceso fue gestionado a través de la Subsecretaría de

Análisis de la Información y Gestión de Riesgos. El tablero construido incluye mapas de calor, tarjetas resumen, tablas y gráficos dinámicos, y permite aplicar filtros por año, mes, provincia, cantón, parroquia y tipo de evento, facilitando una exploración minuciosa y personalizada a los intereses del usuario.

Previo a la carga de los datos en la plataforma, fue necesario ajustar la nomenclatura de las variables Longitud y Latitud, renombrándolas como Longitude y Latitude, respectivamente, incorporando la letra “e” final para cumplir con los requisitos de ArcGIS. Una vez importados los datos, se generó un mapa de calor que representa la distribución del número de eventos por provincia en el territorio ecuatoriano. A partir de este mapa, se construyó el dashboard, seleccionando cuidadosamente los elementos visuales más relevantes, considerando las limitaciones de espacio y claridad.

El panel incluye gráficos de barras que destacan las 15 provincias con mayores cifras en variables como fallecidos, heridos, familias afectadas, hectáreas de cultivos dañadas o destruidas y centros educativos comprometidos. Además, se incorporaron filtros interactivos que permiten ajustar las visualizaciones según año, provincia, cantón, parroquia y tipo de evento, lo que otorga al usuario un control total sobre el enfoque de análisis. También se añadieron tarjetas informativas con los totales de fallecidos, heridos, familias afectadas, hectáreas de cultivo perjudicadas o destruidas y centros educativos dañados, junto con una serie temporal que muestra la evolución del número de eventos entre 2012 y 2023. Por último, el dashboard incorpora tablas que clasifican los eventos según la causa que los originó y un gráfico de pastel que resume el nivel de emergencia de los eventos ocurridos.

2.2.6 Construcción del índice de riesgo de inundaciones

El Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias del Ecuador (SNGRE) define el **riesgo de desastre** como *“la probable pérdida de vidas o daños ocurridos en una sociedad o comunidad en un período de tiempo específico, que está determinado por la amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta”*. Con el objetivo de construir un índice de riesgo de inundaciones en Ecuador, se realizó una revisión de literatura nacional e internacional para fundamentar metodológicamente su diseño e implementación.

El estudio desarrollado por [Mena Benavides et al. \(2021\)](#) aborda una evaluación integral del riesgo de inundación en el país, basada en los lineamientos metodológicos del SNGRE y de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). El índice propuesto por los autores integra los tres componentes del riesgo, amenaza, exposición y vulnerabilidad, seleccionados, validados y ponderados mediante un proceso participativo. Esta

aproximación permitió una evaluación cuantitativa adaptada a las particularidades de cada parroquia, según la disponibilidad de datos. Los resultados indicaron que el riesgo de inundación está fuertemente influenciado por la exposición, aunque la vulnerabilidad también tiene un peso importante en su determinación. El análisis a nivel parroquial revela una mayor heterogeneidad territorial del riesgo en comparación con el nivel provincial, lo que resalta la importancia de utilizar escalas más detalladas para captar adecuadamente las diferencias espaciales. Este enfoque permite identificar con mayor precisión las zonas críticas, facilitando la planificación y gestión de medidas de mitigación. Asimismo, se concluye que las variaciones en exposición y vulnerabilidad entre parroquias explican una parte sustancial del riesgo total, lo que reafirma la necesidad de intervenir en ambos componentes para reducir eficazmente el impacto de las inundaciones.

No resultaría pertinente replicar un índice ya calculado previamente en Ecuador, especialmente cuando no se dispone de todos los datos necesarios para su reconstrucción. Por este motivo, se consideró como referencia el estudio de [Reyes-Olvera & Gutiérrez-González \(2016\)](#), en el que se desarrolla un índice de riesgo de inundación para el estado de Tabasco, México, mediante un enfoque integrado que contempla tres componentes principales: vulnerabilidad, valor de los bienes expuestos y peligro.

Los autores estimaron la vulnerabilidad a partir de dos subíndices: uno de servicios sociales (acceso a electricidad, agua potable y alcantarillado), y otro de recursos hidrológicos (cantidad y características de los ríos), cada uno construido mediante Análisis de Componentes Principales (ACP, [Jolliffe, 2011](#)). El valor de los bienes expuestos consideró variables como el número de habitantes y la presencia de electrodomésticos y vehículos en los hogares, también integrados con ACP. Por su parte, el peligro se definió con base en la probabilidad de lluvias extremas, estimada a partir de series diarias de precipitación (1961-2007) ajustadas a modelos de distribución de valores extremos como Gumbel y distribución de valores extremos generalizada (DVEG), según criterios estadísticos.

Los resultados obtenidos fueron coherentes con los eventos históricos de inundación registrados en la región, y permitieron construir mapas de riesgo a nivel municipal, identificando zonas críticas como el municipio de Balancán, donde lluvias de 150 mm tienen un período de retorno de apenas 3.5 años. El estudio demostró la utilidad del ACP para la ponderación de indicadores y subrayó la capacidad del enfoque propuesto para apoyar la toma de decisiones en la prevención y gestión del riesgo por inundaciones.

2.2.6.1 Metodología implementada para la construcción del índice en Ecuador

Siguiendo la metodología de [Reyes-Olvera & Gutiérrez-González \(2016\)](#), se construyó un índice basado en el riesgo de inundación por cantón. El índice integra tres dimensiones fundamentales: peligro (P), exposición (E) y vulnerabilidad (V), reconociendo que el riesgo no depende únicamente de eventos naturales, sino también de las condiciones sociales, económicas y físicas del territorio.

El componente de peligro incorporó datos sobre precipitación máxima en 24 horas para los años 2012 a 2022 y el número de inundaciones registradas por 100 km^2 en los últimos 10 años. Los datos sobre precipitaciones fueron obtenidos de CHIRPS ([Funk et al., 2015](#)), una base de datos climática global de alta resolución que combina imágenes satelitales infrarrojas y datos de estaciones meteorológicas en tierra firme (cuando están disponibles). Los datos históricos sobre inundaciones fueron proporcionados por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. En cambio, la exposición se estimó a partir de la densidad de viviendas ocupadas por cantón, el porcentaje de viviendas que cuentan con computadora, lavadora, refrigeradora y vehículos por cantón, estos datos provienen del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Por último, para la vulnerabilidad, se seleccionaron indicadores como el porcentaje de personas en pobreza extrema, la tasa de analfabetismo y falta de acceso a servicios básicos (agua, electricidad y alcantarillado), estos datos fueron extraídos del Censo 2022 realizado por el INEC.

De manera general, cada uno de los indicadores fueron construidos mediante ACP, lo cual permitió obtener pesos óptimos que maximizan la varianza explicada. Los tres subíndices fueron luego integrados mediante una fórmula multiplicativa, en la que el riesgo (R) de inundación es dado por: $R = P \times E \times V$. Esta expresión refleja que el riesgo solo es alto si las tres dimensiones presentan valores elevados simultáneamente. El resultado es un índice continuo entre 0 y 1, calculado por cantón.

Se realizaron transformaciones a algunas de las variables utilizadas para tener en consideración el sesgo introducido por la extensión de los cantones. En la dimensión Peligro, el número de inundaciones se estudió como una frecuencia anual promedio, a través de los siguientes pasos:

Para el cantón i :

$$f_i = \frac{N_i}{T}, \quad T = 11 \text{ años (2012-2022)},$$

donde N_i es el número total de inundaciones en ese período por cantón.

Para la corrección del sesgo de que cantones grandes registren más eventos:

$$r_i = \frac{f_i}{A_i} \times 100 \text{ (eventos/año por cada } 100 \text{ km}^2\text{)},$$

en que A_i denota la extensión territorial del cantón i , en km^2 . Luego las dos variables de peligro fueron combinadas a través del ACP. Finalmente, el resultado fue reescalado entre 0 y 1.

Para el indicador de densidad de viviendas ocupadas, se definió $d_i = \text{viviendas ocupadas}_i / \text{área}_i$ por cantón, se aplicó logaritmo natural ($\ln(d_i)$) para reducir la asimetría y, posteriormente, se realizó un escalamiento min-max al intervalo $[0, 1]$. En paralelo, se construyó un subíndice de bienes de los hogares ($I_{inmuebles}$) mediante ACP sobre las variables porcentaje de viviendas que cuentan con computadora, lavadora, refrigeradora y vehículos por cantón. Para este subíndice, se retuvieron las componentes que acumulan al menos el 80 % de la varianza explicada y el resultado se normalizó a $[0, 1]$. Finalmente, ambos subíndices se agregaron aditivamente con pesos iguales (50 %-50 %) para obtener el indicador compuesto: $E = 0.50I_{muebles} + 0.50I_{inmuebles}$.

Para el subíndice de vulnerabilidad, las variables fueron combinadas a través de ACP, tomando las componentes necesarias hasta completar al menos el 80 % de explicación de la varianza y luego el resultado fue escalonado entre $[0, 1]$. El índice de riesgo fue determinado multiplicando los 3 subíndices, es decir, cada dimensión tomando la misma importancia. Finalmente, los resultados se visualizaron mediante gráficos de barras y se propone su representación en mapas temáticos, lo que facilita la identificación espacial de áreas prioritarias. Este índice se plantea como una métrica útil para la gestión de riesgos, planificación territorial y toma de decisiones estratégicas en localidades susceptibles a inundaciones.

2.3 Consideraciones éticas y legales

Durante la elaboración de este proyecto se garantizó la confidencialidad de la información utilizada, evitando el uso de datos personales o sensibles. Todos los datos empleados fueron de carácter público o provenientes de instituciones oficiales, y se citó adecuadamente su origen. Se respetaron las leyes ecuatorianas en materia de uso de datos geográficos e información pública.

3 Análisis exploratorio de inundaciones, deslizamientos y socavones en Ecuador

Este capítulo presenta el análisis exploratorio de los eventos clasificados como inundaciones, socavones y deslizamientos registrados en Ecuador, con el objetivo de caracterizar su distribución temporal y espacial a lo largo del periodo comprendido entre 2012 y 2023. A partir de una base de datos consolidada y depurada que contaba con 88 variables, se emplearon herramientas gráficas y geoespaciales que permiten identificar patrones y tendencias de afectación en distintas regiones del país.

El análisis se estructura en torno a tres dimensiones fundamentales: temporal, que examina la evolución de los eventos a lo largo del tiempo; espacial, que determina las zonas más recurrentemente afectadas mediante mapas y visualizaciones geográficas; y categórica, que estudia las variables asociadas a los daños humanos, materiales y ambientales. Estas representaciones permiten reconocer no solo la magnitud de los eventos, sino también su impacto en función de factores como localización, causa y nivel de vulnerabilidad de las zonas afectadas. La incorporación de herramientas de visualización, como gráficos de líneas, barras, burbujas y mapas de coropletas, permitió obtener una visión integrada del fenómeno, facilitando la interpretación tanto técnica como estratégica de los resultados.

3.1 Inundaciones en Ecuador

El análisis de los eventos relacionados con inundaciones ocurridos en Ecuador entre 2012 y 2023 permite evidenciar la magnitud e impacto de este fenómeno natural a lo largo del tiempo en las distintas provincias del país. Mediante un análisis exploratorio de los datos disponibles, fue posible identificar patrones temporales y espaciales, así como cuantificar sus consecuencias en términos de pérdidas materiales y afectaciones humanas. Esta sección presenta los hallazgos más relevantes derivados de dicho análisis, los cuales no solo revelan la frecuencia y distribución de las inundaciones, sino también la severidad de sus efectos en diversas regiones del territorio nacional.

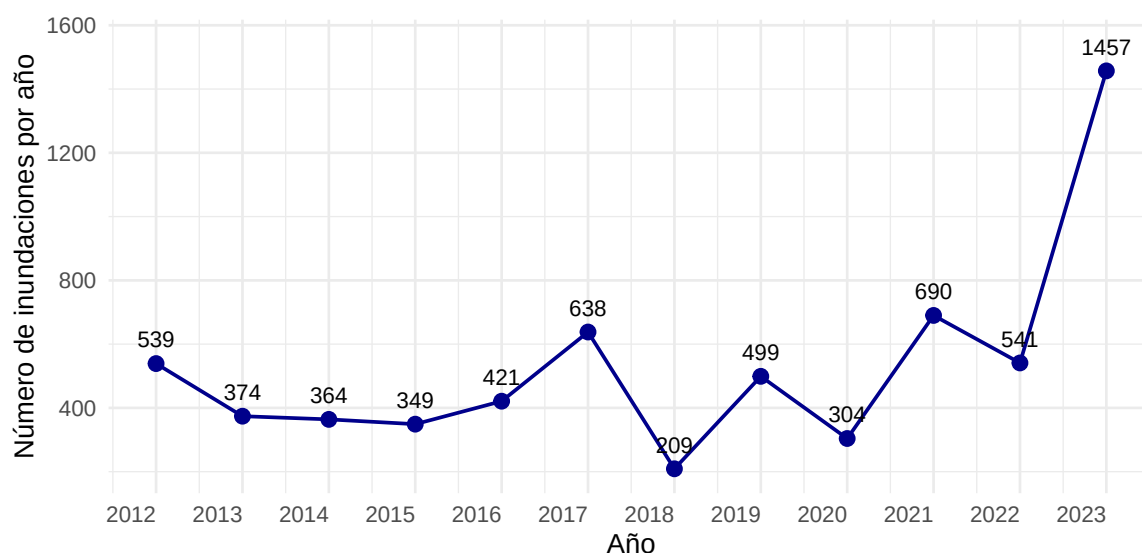
3.1.1 Inundaciones por año

Ecuador registró un total de 6385 eventos relacionados con inundaciones y movimientos de masas de agua (como aluviones y oleajes) entre los años 2012 y 2023,

según se detalla en el Cuadro 1. El año con el mayor número de inundaciones reportadas fue 2023, con 1457 eventos, lo que representa más del doble de los ocurridos en 2021 (690 inundaciones). En tercer lugar se ubicó 2017, con 638 eventos registrados. Por otro lado, 2018 fue el año con el menor número de registros, con solo 209 inundaciones reportadas a lo largo del país.

La Figura 3 presenta una serie temporal que muestra el total anual de inundaciones registradas a nivel nacional. El crecimiento observado en los registros podría reflejar no solo un aumento real en la ocurrencia de estos eventos, sino también una mejora en los mecanismos de monitoreo y en la capacidad institucional para documentar y reportar estos fenómenos de forma más sistemática y eficiente. En contraste, el bajo número de eventos reportados en 2018 refuerza la hipótesis de una evolución progresiva en la calidad del registro a lo largo del tiempo.

Figura 3 – Serie temporal del total de inundaciones registradas en Ecuador desde 2012 hasta 2023.



Adicional, se distinguen tres etapas: un tramo casi plano entre 2012-2016, un ascenso moderado de 2017-2020 y un crecimiento acelerado de 2020-2023 cuya pendiente triplica la del periodo previo. La razón entre el valor máximo y el mínimo de la serie alcanza aproximadamente 7, evidenciando una volatilidad anual que complica la planificación presupuestaria para desastres.

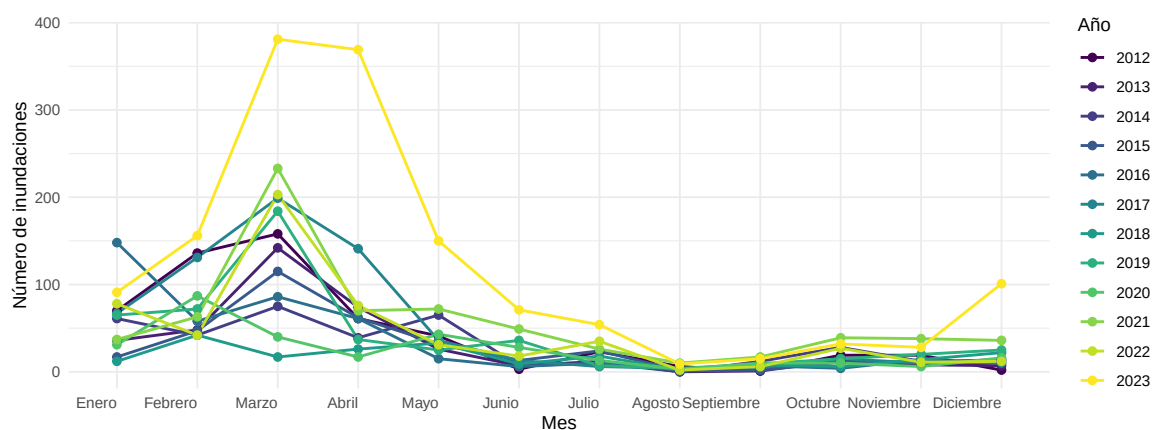
3.1.2 Inundaciones por mes y año

En la sección anterior se identificó que 2023 fue el año con mayor número de inundaciones registradas. En dicho año, los meses con más eventos fueron febrero (156), marzo (381), abril (369) y mayo (150), todos correspondientes a la temporada

lluviosa en Ecuador. La Figura 4 muestra la evolución mensual de las inundaciones desde 2012 hasta 2023, destacando que, de forma histórica, marzo ha sido el mes con mayor número de eventos, seguido por abril, lo cual coincide con el pico del periodo lluvioso.

En contraste, julio, agosto y septiembre presentan un número significativamente menor de registros, lo que puede atribuirse a su correspondencia con la época seca en gran parte del país. No obstante, incluso en esta estación, se han reportado excepciones: por ejemplo, en agosto de 2021 se registraron 10 inundaciones, y en agosto de 2023, un total de 9 eventos; en el resto de los años, los registros para este mes no superaron los 4 eventos.

Figura 4 – Serie temporal del total de inundaciones a nivel nacional por mes y año de 2012 a 2023.



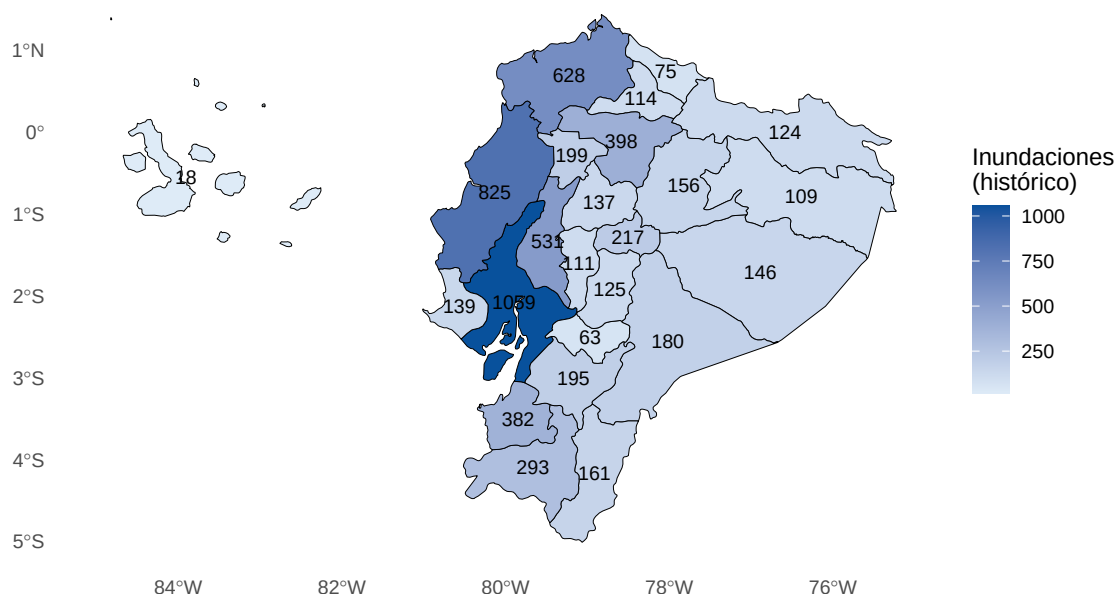
3.1.3 Inundaciones por provincia

Se elaboró un mapa temático con el objetivo de visualizar el número de inundaciones registradas por provincia en Ecuador entre 2012 y 2023. En la Figura 5 se evidencia una mayor concentración de eventos en las provincias de la región costera, mientras que la región interandina, la Amazonía y la región insular presentan una incidencia significativamente menor.

La provincia con mayor número de registros es Guayas, con 1059 eventos, seguida por Manabí (825), Esmeraldas (628) y Los Ríos (531). En la región interandina, destacan Pichincha con 398 eventos y Loja con 293. Un dato llamativo es que, a pesar de su aislamiento geográfico, la provincia de Galápagos registró 18 eventos de inundación en el mismo periodo.

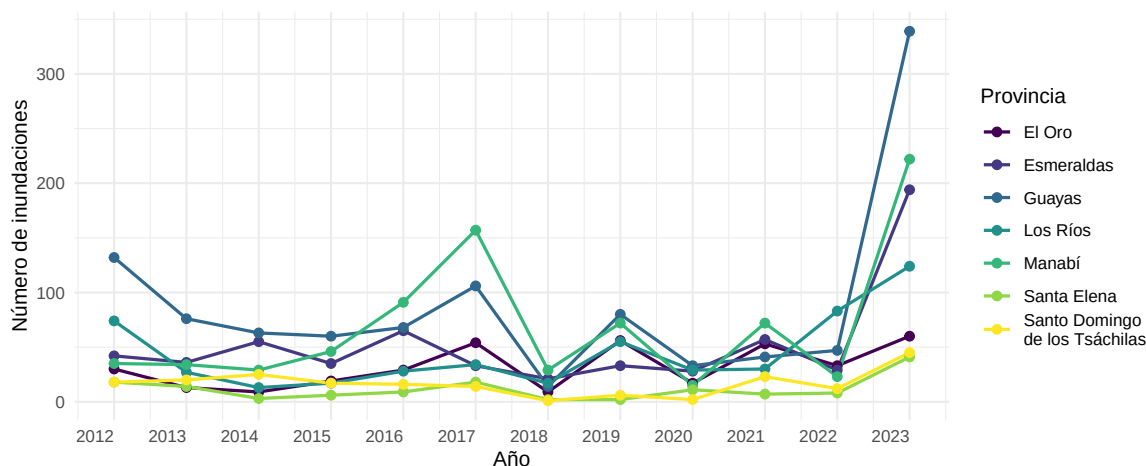
Para una mejor comprensión de los eventos asociados a inundaciones, la Figura 6 presenta el número total de ocurrencias registradas anualmente en cada una de

Figura 5 – Total de inundaciones registradas por provincia desde 2012 hasta 2023.



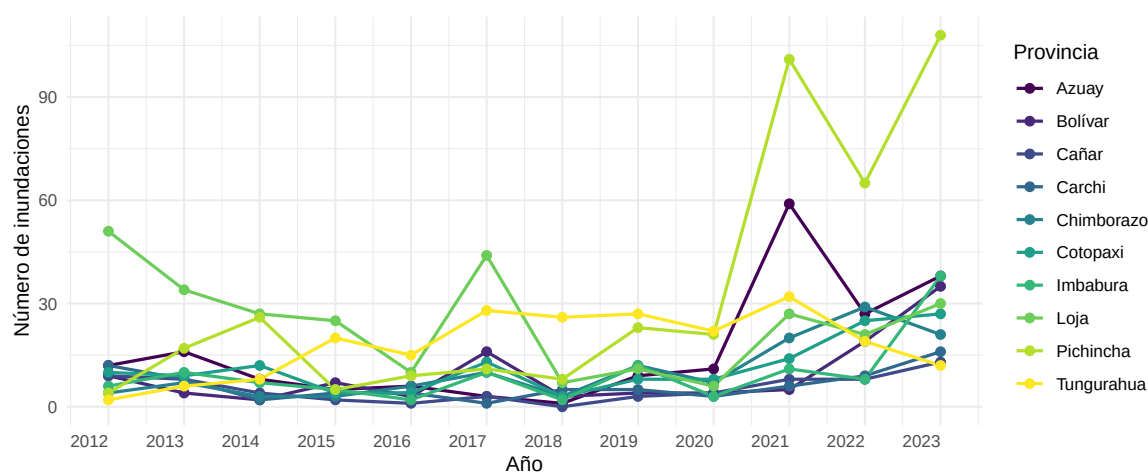
las provincias de la región Costa. Se observa que en 2017 la provincia de Manabí reportó la mayor cantidad de inundaciones (157), seguida por Guayas con 106. Asimismo, en la mayoría de los años analizados, Guayas concentra el mayor número de eventos, destacándose particularmente en 2023, cuando se registraron 339 incidentes vinculados a inundaciones. En contraste, las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Santa Elena muestran los valores más bajos a lo largo del periodo de estudio, siendo las jurisdicciones con menor recurrencia de este tipo de eventos.

Figura 6 – Total de inundaciones registradas por año y provincia en la Región Costa de 2012 a 2023.



En la región interandina o Sierra, ver Figura 7, destaca la provincia de Pichincha, que concentró el mayor número de inundaciones entre los años 2020 y 2023. La provincia de Tungurahua también presentó conteos elevados, especialmente durante el periodo 2018–2020. Por su parte, Loja registró 44 inundaciones en 2017, cifra que constituyó el valor más alto reportado ese año entre las provincias de la Sierra. Asimismo, entre 2012 y 2015, Loja mantuvo consistentemente el mayor número absoluto de inundaciones en comparación con las demás provincias de la región. Note que las provincias con la menor cantidad de reportes de inundaciones por año fueron Cañar, Carchi y Chimborazo.

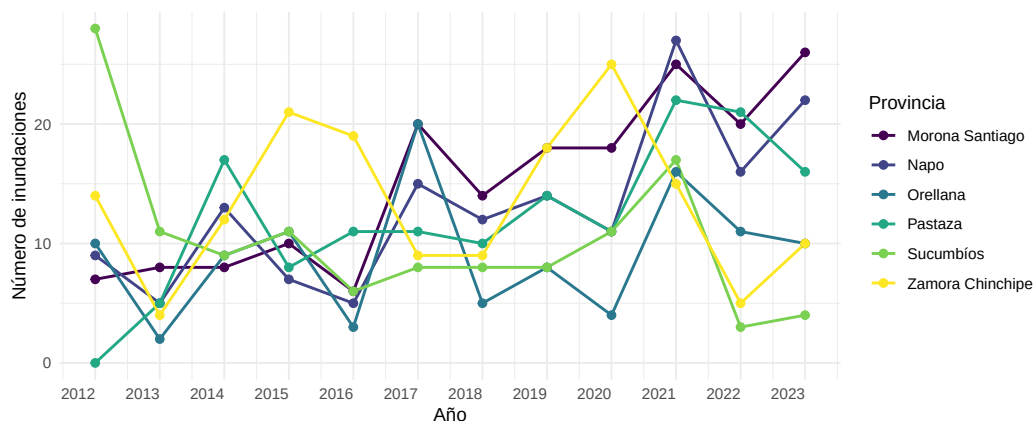
Figura 7 – Total de inundaciones registradas por año y provincia en la Región Sierra de 2012 a 2023.



Por otro lado, la Figura 8 presenta el número total de inundaciones registradas en cada provincia de la región Amazónica. En general, no se observa una diferencia marcada entre las provincias en cuanto a la cantidad de eventos reportados. Sin embargo, se aprecia una ligera tendencia al incremento en Morona Santiago y Pastaza. En el caso de Zamora Chinchipe, los registros muestran oscilaciones con picos destacados en 2015, 2016 y 2021. Finalmente, la provincia de Orellana se caracteriza por haber reportado, en la mayoría de los años, el menor número de inundaciones de la región.

También resulta relevante observar que en las provincias de la Costa el número total de inundaciones registradas entre 2012 y 2023 es mayor que en el resto del país. No obstante, para realizar comparaciones más equitativas es necesario analizar el número de eventos ocurridos en función de la superficie territorial de cada provincia (véase Figura 9). Lo ideal sería considerar únicamente la superficie efectivamente inundable, es decir, descontando áreas ocupadas por ríos, lagos u otros cuerpos de agua permanentes, ya que ello proporcionaría una medida más precisa del riesgo espacial. Sin

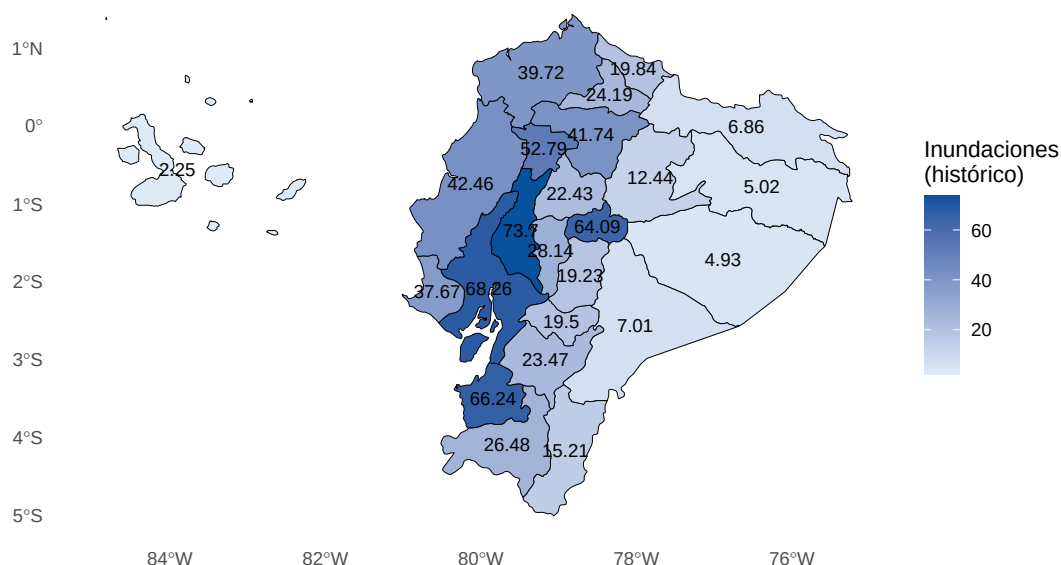
Figura 8 – Total de inundaciones registradas por año y provincia en la Región Amazónica de 2012 a 2023.



embargo, la estandarización de los eventos por cada 1000 km^2 de superficie provincial ofrece una aproximación útil para contrastar resultados entre provincias.

A partir de este indicador, se observa que Los Ríos presenta la mayor frecuencia de inundaciones, con una tasa de 73.70 eventos por cada 1000 km^2 , seguida de Guayas con 68.26, El Oro con 66.24 y Tungurahua con 64.09 eventos por cada 1000 km^2 . Cabe destacar que estas dos últimas provincias (El Oro y Tungurahua) no sobresalían en el análisis basado únicamente en los totales absolutos. Por otro lado, provincias como Esmeraldas y Manabí, a pesar de registrar altos números absolutos de eventos, no aparecen entre las de mayor densidad debido a que cuentan con extensiones

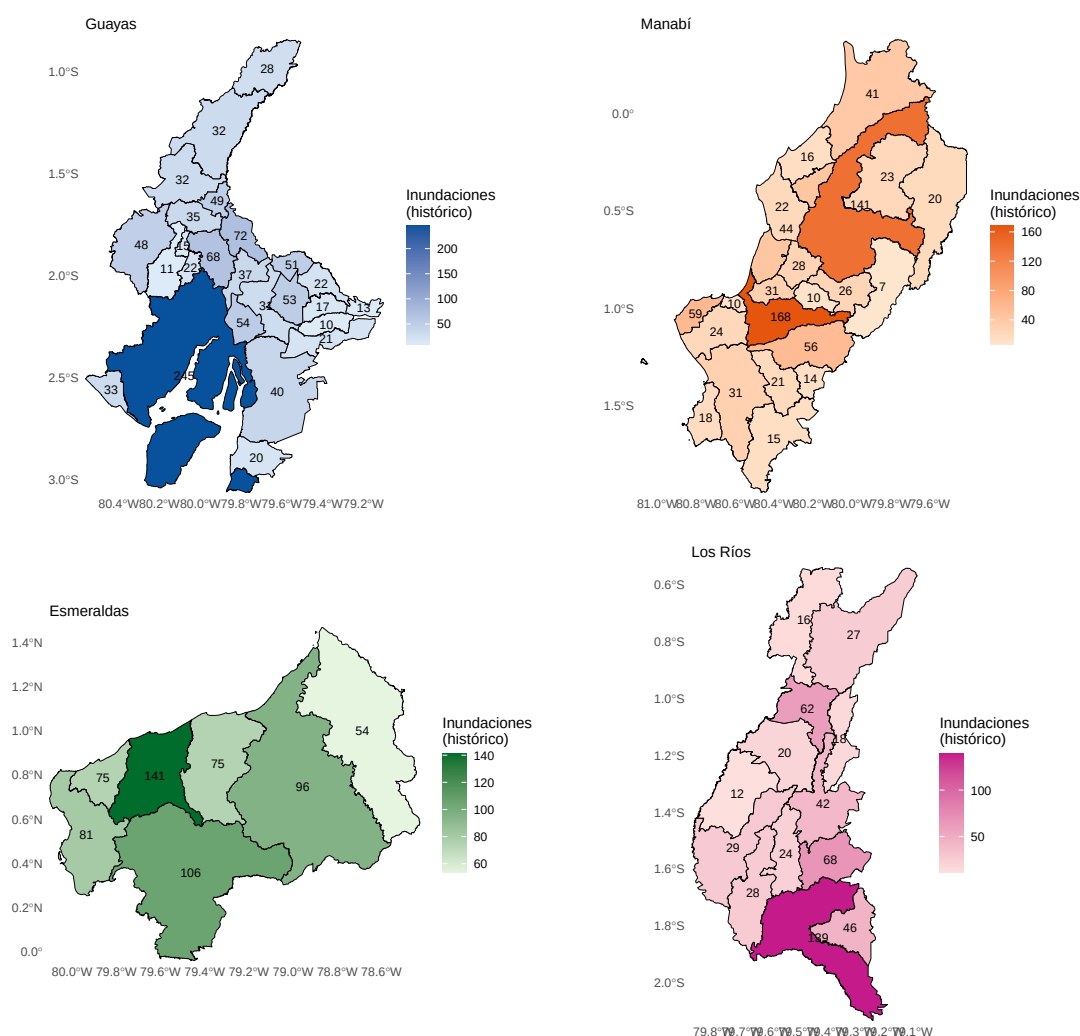
Figura 9 – Frecuencia de inundaciones por provincia de 2012 a 2023, expresada como número de eventos por cada 1000 km^2 .



territoriales considerablemente mayores en comparación con Los Ríos o El Oro.

En este contexto, y con el fin de profundizar el análisis territorial, resulta pertinente descender a una escala más detallada. Por ello, la Figura 10 muestra el total histórico de eventos registrados por cantón en las provincias de Guayas, Manabí, Esmeraldas y Los Ríos, las cuales fueron identificadas como las provincias con mayor recurrencia de inundaciones en el país durante el periodo 2012–2023.

Figura 10 – Total de inundaciones desde 2012 hasta 2023 por cantón, para las provincias de Guayas, Manabí, Esmeraldas y Los Ríos.



En la provincia de Guayas destaca el cantón Guayaquil con un total de 245 registros de inundaciones, seguido por Salitre con 72 eventos y Durán con 68. En contraste, los cantones con menor número de registros son Isidro Ayora (11) y Bucay (13). En Manabí, segunda provincia con mayor frecuencia del evento a nivel nacional con 825 registros totales, los cantones con mayor incidencia son Portoviejo (168), Chone (141) y Manta (59). El cantón Pichincha, en cambio, presenta el menor número de

eventos, con apenas 7 registros.

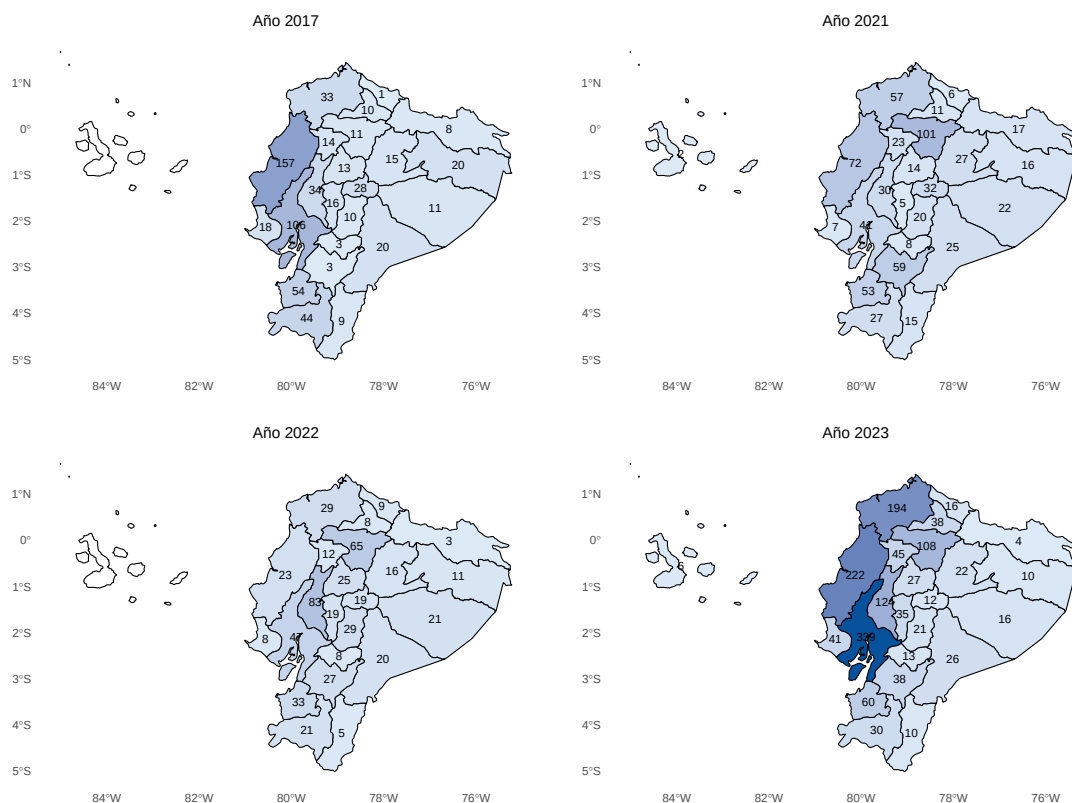
En cuanto a la provincia de Esmeraldas, el cantón homónimo (Esmeraldas) concentra la mayor cantidad de eventos (141), seguido por Quinindé con 106 registros. Los demás cantones muestran una incidencia similar, con valores cercanos a 75 inundaciones a lo largo del periodo de estudio. En la provincia de Los Ríos, el cantón Babahoyo lidera con 139 eventos, seguido por Urdaneta (68) y Quevedo (62).

Es importante destacar que, en todos los casos analizados, los cantones con mayor registro de inundaciones corresponden a las cabeceras provinciales. Una posible explicación podría estar relacionada con su mayor extensión territorial, densidad poblacional, o la cantidad de cuerpos de agua que atraviesan dichas jurisdicciones. Aunque no se dispone actualmente de información detallada sobre el número de ríos por cantón. Este sería un aspecto relevante para futuras investigaciones.

La Figura 11 presenta el total de inundaciones registradas por provincia para los años 2017, 2021, 2022 y 2023. Estos años fueron seleccionados por corresponder a los periodos de mayor ocurrencia del fenómeno a nivel nacional, permitiendo así visualizar su impacto geográfico sobre el territorio ecuatoriano. En términos generales, los años 2021 y 2022 muestran una distribución provincial de inundaciones relativamente similar, con valores moderados en la mayoría de las provincias. Un caso destacado es el de Manabí, donde se observa una disminución significativa de eventos: de 157 inundaciones en 2017, se redujo a 72 en 2021 y luego a 23 en 2022. No obstante, en 2023 esta tendencia se revierte abruptamente, alcanzando un total de 222 inundaciones registradas. Un comportamiento similar se evidencia en Guayas, que pasó de 47 eventos en 2022 a 339 en 2023. Del mismo modo, en Esmeraldas, los registros aumentaron de 29 inundaciones en 2022 a 194 eventos en 2023.

Es importante señalar que los totales presentados corresponden a registros anuales acumulados por provincia, y si bien esta métrica permite identificar patrones regionales relevantes, debe interpretarse considerando factores como la extensión territorial, la densidad poblacional, y la capacidad institucional para el reporte de eventos, los cuales pueden influir significativamente en las cifras. Finalmente, es relevante mencionar que en julio de 2023, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) declaró oficialmente el inicio del evento El Niño 2023-2024, considerado uno de los más intensos registrados, lo que contribuyó al drástico aumento en la frecuencia de inundaciones observada durante ese año.

Figura 11 – Total de inundaciones por provincia para los años con mayor ocurrencia del evento (2017, 2021, 2022 y 2023).

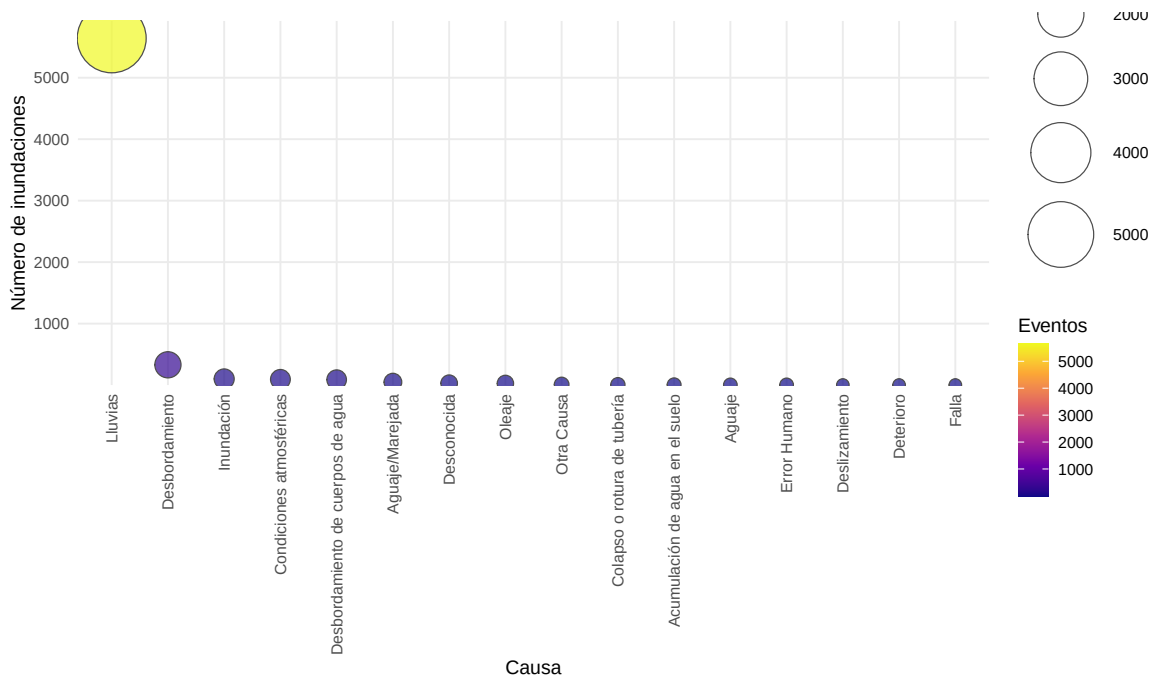


3.1.4 Posibles causas de las inundaciones

Así como resulta relevante identificar las provincias, años y meses de mayor incidencia de inundaciones, también es fundamental analizar las posibles causas asociadas a estos eventos. Si bien este dato puede considerarse parcialmente subjetivo, ya que depende de la persona encargada del registro, proporciona un punto de partida útil para comprender las posibles condiciones que han dado origen a las inundaciones en el país.

La Figura 12 presenta el conteo de eventos según su causa registrada. Para ello, se construyó un gráfico de burbujas, en el cual el tamaño y la intensidad del color amarillo de cada burbuja indican una mayor frecuencia de ocurrencia. A partir de este gráfico, se observa que la principal causa identificada es la lluvia, con 5641 eventos, seguida por desbordamientos (330), inundación genérica (100) y desbordamientos de cuerpos de agua (88). Entre las causas menos frecuentes se encuentran deslizamientos, deterioro y falla, cada una con un solo evento registrado. Resulta llamativo que también se hayan reportado tres casos de inundaciones atribuidos a “Error Humano”, lo que sugiere posibles fallos operativos o de gestión como factores desencadenantes.

Figura 12 – Total de inundaciones registradas desde 2012 hasta 2023 por Causa.



3.1.5 Afectaciones de las inundaciones en personas

En esta sección se busca cuantificar las afectaciones humanas ocasionadas por los eventos relacionados con inundaciones en el Ecuador. El Cuadro 2 presenta el número de eventos que registraron al menos una persona afectada, ya sea por fallecimiento, lesiones, afectación directa, condición de damnificado o evacuación, durante los 12 años de registros recopilados por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR).

Cuadro 2 – Total de inundaciones ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron al menos una persona con alguna afectación.

Afectación	Eventos con algún afectado	Personas afectadas
Personas fallecidas	62	132
Personas heridas	38	131
Personas afectadas directamente	3828	657221
Personas damnificadas	333	21713
Personas evacuadas	504	17708

Del total de 6385 eventos de inundación registrados en el país, se observa que en 62 de ellos se reportó al menos una persona fallecida, contabilizándose un total de 132 muertes durante el periodo de estudio. Asimismo, el 0.59 % de los eventos incluyó al menos una persona herida, con un total acumulado de 131 personas lesionadas a nivel nacional. En cuanto a las personas afectadas directamente, el 59.95 % de las inundaciones registraron al menos una persona en esta condición, lo que se traduce

en un total de 657221 personas afectadas directamente en todo el país a lo largo de los 12 años analizados. Además, el 5.22 % de los eventos reportó al menos una persona damnificada, y el 7.89 % involucró al menos una persona evacuada. Estos resultados evidencian que, si bien no todos los eventos de inundación generan consecuencias humanas graves, una proporción significativa de ellos tiene impactos directos sobre la población, en particular en términos de afectaciones no fatales.

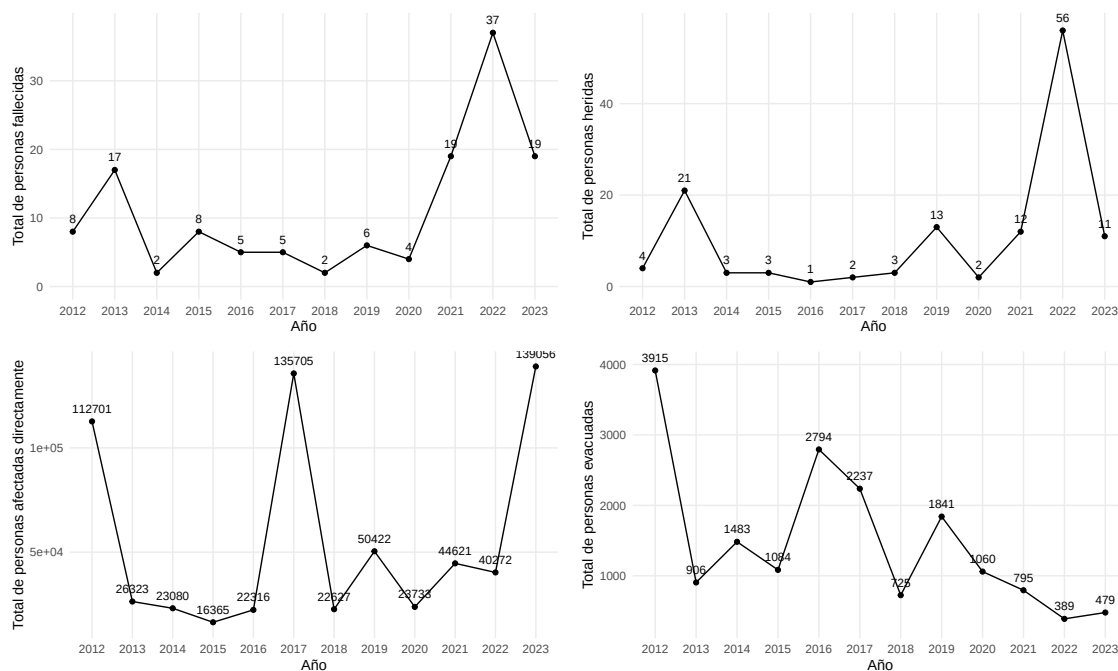
Es importante precisar que, según los criterios de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, las personas afectadas son aquellas que han sufrido daños o impactos en su vida cotidiana, sin haber perdido totalmente su vivienda ni haber sido desplazadas de forma permanente. En cambio, las personas evacuadas corresponden a quienes han sido trasladadas temporalmente de su lugar de residencia hacia sitios considerados más seguros, ya sea de forma preventiva o durante una emergencia.

Continuando con el análisis, la Figura 13 presenta el total de personas fallecidas, heridas, afectadas directamente y evacuadas por año. Se observa que en 2022 se registraron 37 muertes asociadas a inundaciones, distribuidas en nueve eventos que reportaron al menos una víctima, lo que representa un promedio de 4.11 fallecidos por evento. En contraste, tanto en 2021 como en 2023 se registraron 19 fallecimientos en total; sin embargo, en 2021 estos se distribuyeron en siete inundaciones con víctimas fatales, mientras que en 2023 se contabilizaron trece eventos con al menos un fallecido. Una dinámica similar se identifica en el número de heridos: en 2022 se alcanzó el valor más alto del periodo, sumando 56 personas heridas en tan solo tres inundaciones, lo que evidencia la elevada gravedad de los casos registrados ese año.

En relación con las personas afectadas directamente, el año 2023 registró el mayor número, con 139056 personas en 616 eventos, lo que equivale a un promedio de 225.74 afectados por ocurrencia. El segundo valor más alto se observó en 2017, con 135705 personas afectadas en 508 eventos, alcanzando un promedio de 267.14 afectados por evento. Le siguió 2012, con 112701 afectados en 354 eventos, año que, además, presentó el promedio más elevado de personas afectadas por ocurrencia. En cuanto a la población evacuada, el máximo número absoluto se registró en 2012, con 3915 personas en 126 inundaciones. No obstante, fue en 2013 cuando se alcanzó el mayor promedio de evacuados por evento (98.87), con un total de 906 personas distribuidas en 26 inundaciones. Posteriormente, esta cifra mostró una tendencia descendente, llegando en 2023 a 479 personas evacuadas en 22 eventos, lo que representa un promedio de 21.77 evacuados por ocurrencia.

Por otro lado, la Figura 14 muestra el total de personas fallecidas, heridas, afectadas directamente y evacuadas, distribuidas por mes y año a nivel nacional. En cuanto a las personas fallecidas, se observa que las mayores frecuencias absolutas

Figura 13 – Total de personas fallecidas, heridas, afectadas directamente y evacuadas por año debido a inundaciones.



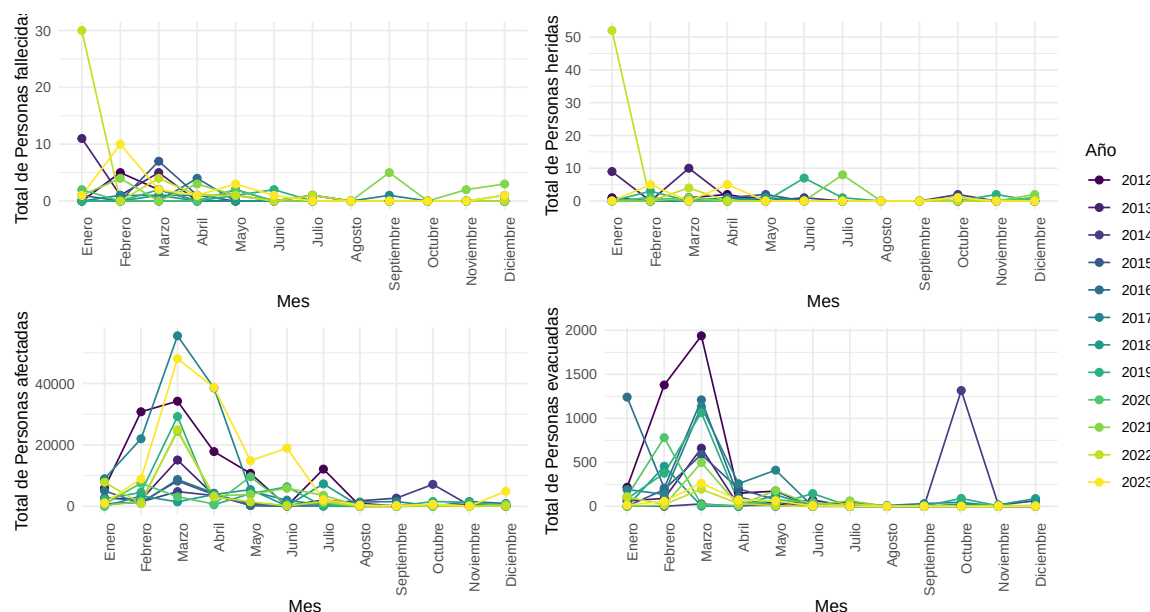
ocurren durante los meses de enero y febrero. En particular, se registró un número considerable de fallecidos en enero de 2022 (30 personas), debido a un aluvión ocurrido en el sector de La Gasca, en Quito, que dejó 28 fallecidos y 52 heridos. Esta última cifra también se refleja como el máximo mensual en el conteo de personas heridas por mes y año.

Respecto a las personas afectadas directamente, se observa que la mayoría de eventos con altos niveles de afectación ocurrieron entre los meses de febrero y mayo, lo cual es consistente con el hecho de que se trata de afectaciones por inundaciones, un fenómeno que coincide con la temporada lluviosa en la mayoría de regiones del país. Finalmente, los mayores totales de personas evacuadas se registraron en febrero (1379 evacuados) y marzo (1938 evacuados) del año 2012.

Las Figuras 15 y 16 presentan el total de personas fallecidas, heridas, afectadas directamente, damnificadas, desaparecidas y evacuadas por provincia, durante el periodo comprendido entre 2012 y 2023. En cuanto al número de personas fallecidas, la provincia de Pichincha registra la cifra más alta, con 32 decesos, seguida por Azuay y Manabí, con 14 y 12 muertes respectivamente. En contraste, provincias como Galápagos, Orellana y Zamora Chinchipe no han reportado fallecimientos asociados a eventos de inundación hasta el año 2023.

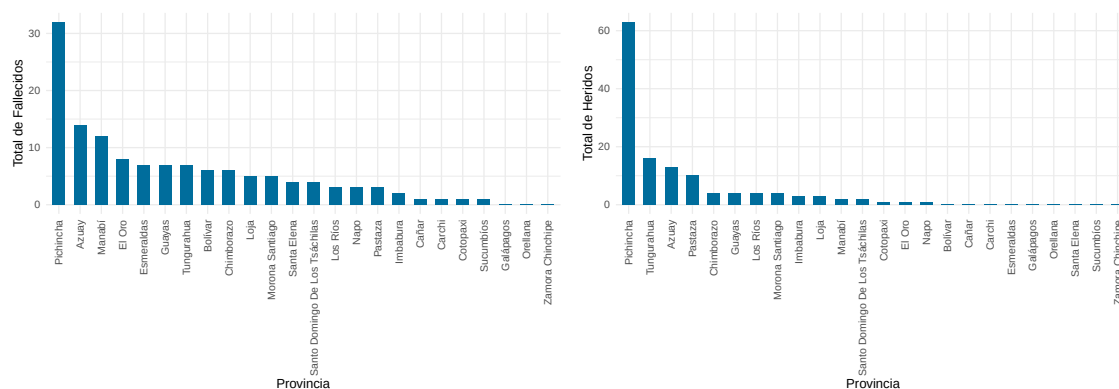
Al analizar el total acumulado de personas heridas, nuevamente Pichincha encabeza la lista con 63 registros, seguida por Tungurahua (16), Azuay (13) y Pastaza

Figura 14 – Total de personas fallecidas, heridas, afectadas directamente y evacuadas por mes y año, debido a inundaciones.



(10). Este patrón resulta particularmente relevante si se considera que, si bien las provincias de la región Sierra han reportado un menor número de eventos de inundación en comparación con la región Litoral, son precisamente estas las que concentran las mayores pérdidas humanas en términos de fallecidos y heridos.

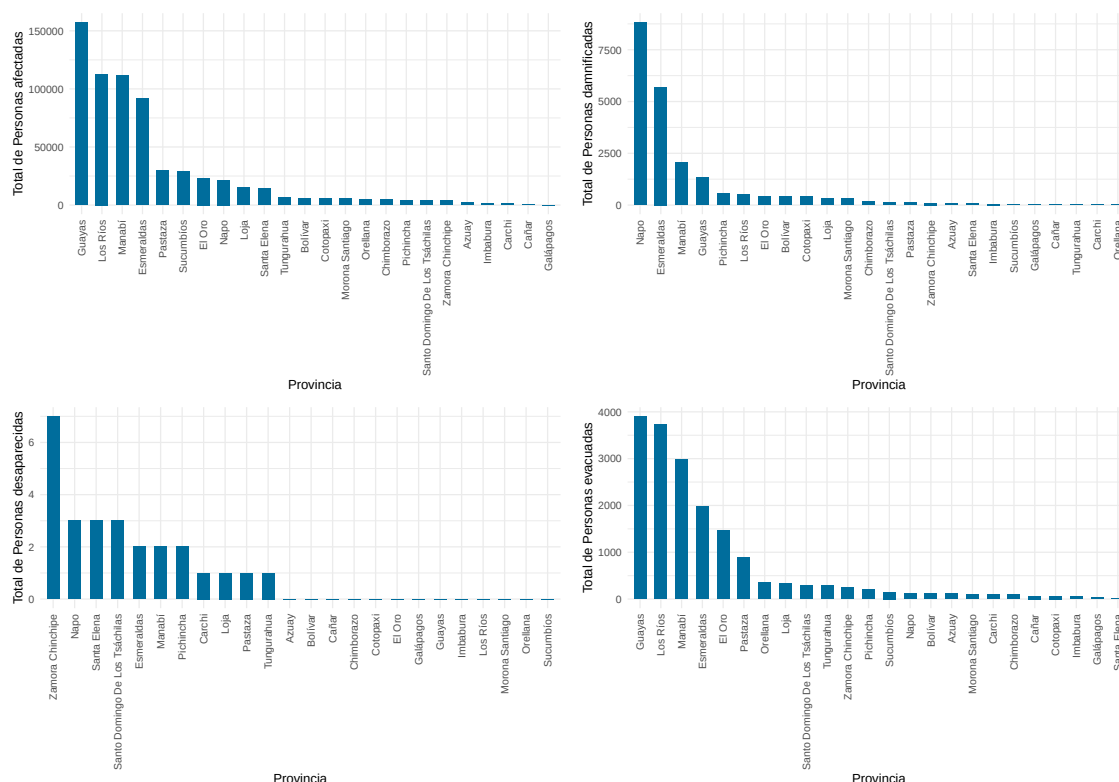
Figura 15 – Total de personas fallecidas y heridas por provincia, debido a las inundaciones durante 2012-2023.



En cuanto al total de personas afectadas directamente por inundaciones, los registros muestran una distribución algo diferente a la observada en fallecidos y heridos. En este caso, la provincia de Guayas encabeza la lista con 157303 personas afectadas de 2012 a 2023, seguida por Los Ríos (112854), Manabí (111643), Esmeraldas (91852). Estas cifras coinciden con las provincias que históricamente han registrado el mayor número de eventos de inundación, lo que sugiere una relación directa entre la frecuencia de ocurrencia y la magnitud del impacto sobre la población.

Respecto al total de personas damnificadas, destaca notablemente la provincia de Napo, con un acumulado de 8824 personas damnificadas durante el periodo 2012-2023. Este resultado resulta llamativo, ya que Napo no figura entre las provincias con mayor número de eventos registrados. No obstante, al revisar la base de datos, se identifican tres eventos significativos en 2012, ocurridos en las parroquias Puerto Napo y Ahuano, los cuales reportaron 4700, 3140 y 754 damnificados, respectivamente. Las demás provincias con mayores cifras de damnificados, Esmeraldas, Manabí y Guayas, coinciden con las zonas más recurrentemente afectadas por inundaciones, lo cual refuerza la relación entre frecuencia de eventos y nivel de afectación humana directa.

Figura 16 – Total de personas afectadas directamente, damnificadas, desaparecidas y evacuadas por provincia, debido a las inundaciones durante 2012-2023.



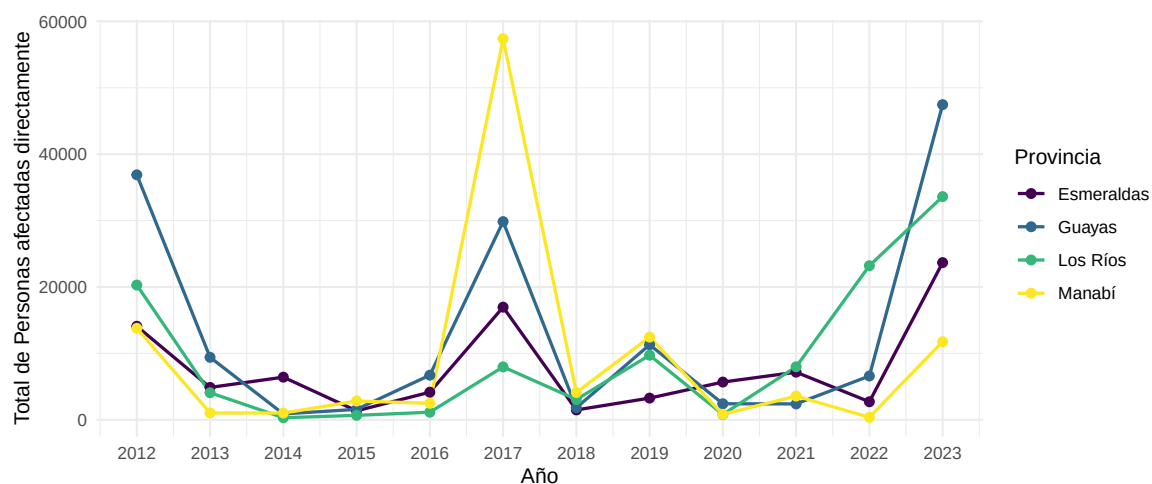
En cuanto al total de personas desaparecidas registradas como consecuencia de inundaciones entre 2012 y 2023, la provincia de Zamora Chinchipe encabeza la lista con un total de 7 personas declaradas desaparecidas. Le siguen las provincias de Napo, Santa Elena y Santo Domingo de los Tsáchilas, cada una con un acumulado de 3 casos. Por otro lado, en 13 de las 24 provincias del país no se han reportado personas desaparecidas durante el periodo analizado. Entre estas se encuentran Azuay, Bolívar, Cañar, Guayas, Los Ríos, entre otras.

En relación al total de personas evacuadas durante el periodo 2012-2023, la provincia de Guayas encabeza la lista con un acumulado de 3904 personas, seguida

por Los Ríos (3734), Manabí (2990) y Esmeraldas (1971). Como dato adicional, en el cantón Milagro se registraron dos eventos significativos: uno en 2016 y otro en 2017, que provocaron la evacuación de 788 y 601 personas, respectivamente. Estos representan los eventos de mayor magnitud en términos de evacuados dentro de la provincia de Guayas durante el periodo analizado.

Finalmente, la Figura 17 muestra el desglose anual del total de personas afectadas directamente por inundaciones en las provincias con mayores acumulados históricos. Cabe destacar que, en el año 2017, la provincia de Manabí alcanzó su acumulado histórico anual de personas afectadas, coincidiendo con el año de mayor registros de inundaciones en dicha provincia (157 eventos), cifra superior a la registrada en la provincia del Guayas (106 eventos). En los años siguientes, el número de personas afectadas en estas cuatro provincias se mantuvo relativamente similar, hasta evidenciarse un nuevo repunte en el año 2023. En ese año, Guayas presentó tanto el mayor número de inundaciones registradas (339) como el mayor total de personas afectadas (47460). Le siguió la provincia de Los Ríos, con 33608 personas afectadas, lo que representa su máximo anual histórico. Asimismo, Esmeraldas también alcanzó en 2023 su mayor acumulado anual, con 23669 personas afectadas directamente por eventos de inundación.

Figura 17 – Total de personas afectadas directamente debido a inundaciones por año para las provincias de Esmeraldas, Guayas, Manabí y Los Ríos.



3.1.6 Afectaciones de las inundaciones en estructuras

Además de las pérdidas humanas ocasionadas por las inundaciones, resulta indispensable evaluar los daños materiales y las afectaciones a infraestructuras estratégicas para el país. En este sentido, de las 6385 inundaciones reportadas entre 2012 y 2023, en 3608 eventos (56.50 %) se registró al menos una vivienda afectada, acumulando un total de 128713 viviendas con algún tipo de daño. Asimismo, en 266 inundaciones

se reportó la destrucción de al menos una vivienda, con un saldo de 2021 viviendas destruidas durante el periodo de estudio.

En lo que respecta a los centros de salud, se contabilizó un total de 146 establecimientos afectados, lo que representa un promedio de 1.22 afectaciones de centros de salud por inundación. En cuanto a los centros educativos, se observa un promedio de 1.84 establecimientos afectados por evento, mientras que, en los 12 años de análisis, se reportaron únicamente cuatro centros educativos destruidos a causa de las inundaciones. Respecto a los bienes públicos, se estimó un promedio cercano a dos bienes afectados por evento y tres bienes destruidos en aquellos casos en que se registraron daños de esta categoría. En relación con los bienes privados, el promedio alcanzó 4.30 bienes afectados por evento y 3.64 bienes destruidos por evento. Para un desglose detallado de estas cifras, véase el Cuadro 3.

Cuadro 3 – Total de inundaciones ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron al menos una estructura/bien con alguna afectación.

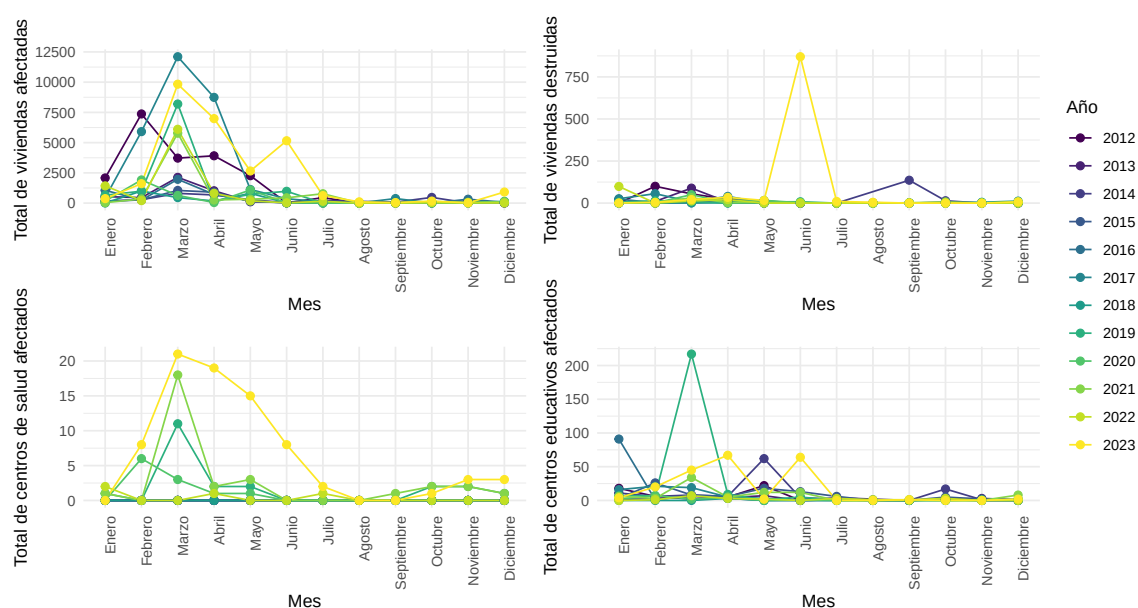
Afectación	Eventos con alguna afectación	Bienes afectados
Viviendas afectadas	3608	128713
Viviendas destruidas	266	2021
Centros de salud afectados	120	146
Centros educativos afectados	564	1038
Centros educativos destruidos	4	4
Puentes afectados	126	225
Puentes destruidos	48	82
Bienes públicos afectados	365	645
Bienes públicos destruidos	55	162
Bienes privados afectados	289	1243
Bienes privados destruidos	39	142

En la Figura 18 se presenta el desglose del total de viviendas afectadas, viviendas destruidas, centros de salud afectados y establecimientos educativos afectados por año y mes, en el periodo 2012-2023. Con respecto a las viviendas afectadas, se observa que el mes de marzo registra el mayor impacto debido a las inundaciones. En cuanto a las viviendas destruidas, el año 2023 fue el más crítico, destacándose particularmente el mes de junio como el de mayores pérdidas. Este comportamiento se concentró principalmente en las provincias de Esmeraldas, Los Ríos, Guayas y Manabí, que además presentan los mayores registros históricos de inundaciones en el país.

Al analizar el gráfico de centros de salud afectados, se observa que durante los primeros cinco años del periodo no se registraron afectaciones. El año 2023 destaca como el más crítico, siendo nuevamente marzo el mes con mayor impacto; a partir de este punto se aprecia una disminución en el número de centros afectados. En relación

con los establecimientos educativos, el año 2019 y, particularmente, el mes de marzo, registraron el mayor número de afectaciones. Un aspecto relevante es que, en el periodo comprendido entre 2012 y 2023, no se reportaron centros de salud destruidos como consecuencia de inundaciones en el Ecuador.

Figura 18 – Total de viviendas afectadas, viviendas destruidas, centros de salud afectados y establecimientos educativos afectados por mes y año.

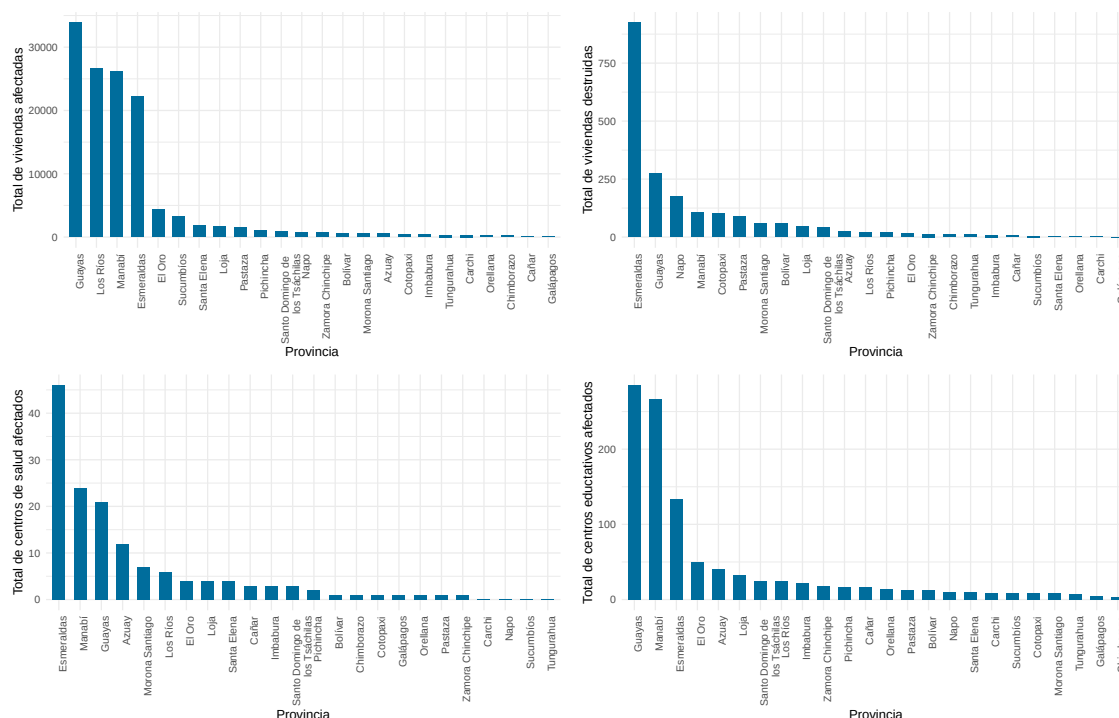


La Figura 19 muestra la distribución de viviendas, centros de salud y establecimientos educativos afectados por provincia en los eventos de inundación registrados. En el caso de las viviendas afectadas, la provincia del Guayas presenta el mayor número (33857), seguida por Los Ríos (26697), Manabí (26178) y Esmeraldas (22182). Este patrón resulta coherente, dado que este corredor costero combina extensas planicies fluviales con una alta densidad poblacional, lo que amplifica las pérdidas cuando se intensifican las lluvias. En cuanto a las viviendas destruidas, la situación cambia ligeramente: Esmeraldas encabeza con 924 casas destruidas en los 31 eventos registrados entre 2012 y 2023, seguida de Guayas (274) y Napo (174). Este último caso resulta particularmente relevante, pues muestra que, a pesar de su menor exposición absoluta, la fragilidad constructiva en ciertas zonas amazónicas incrementa significativamente el riesgo de destrucción total cuando los caudales se desbordan.

Respecto a los centros de salud afectados, Esmeraldas ocupa el primer lugar con 46 registros, seguida de Manabí (24), Guayas (21) y Azuay (12). Esta última provincia registró siete afectaciones en centros de salud en eventos ocurridos en el año 2021. En relación con los establecimientos educativos, Guayas (285) retoma el liderazgo, con Manabí (266) y Esmeraldas (134) en segundo y tercer lugar. No obstante,

es importante subrayar que la afectación educativa no se limita a la Costa ya que provincias de la Sierra y la Amazonía, como Azuay, Loja Imbabura y Zamora Chinchipe, también presentan registros significativos, lo que evidencia que la vulnerabilidad en la infraestructura escolar se extiende a gran parte del territorio ecuatoriano.

Figura 19 – Total de viviendas afectadas, viviendas destruidas, centros de salud y establecimientos educativos afectados por provincia durante las inundaciones ocurridas desde 2012 hasta 2023.

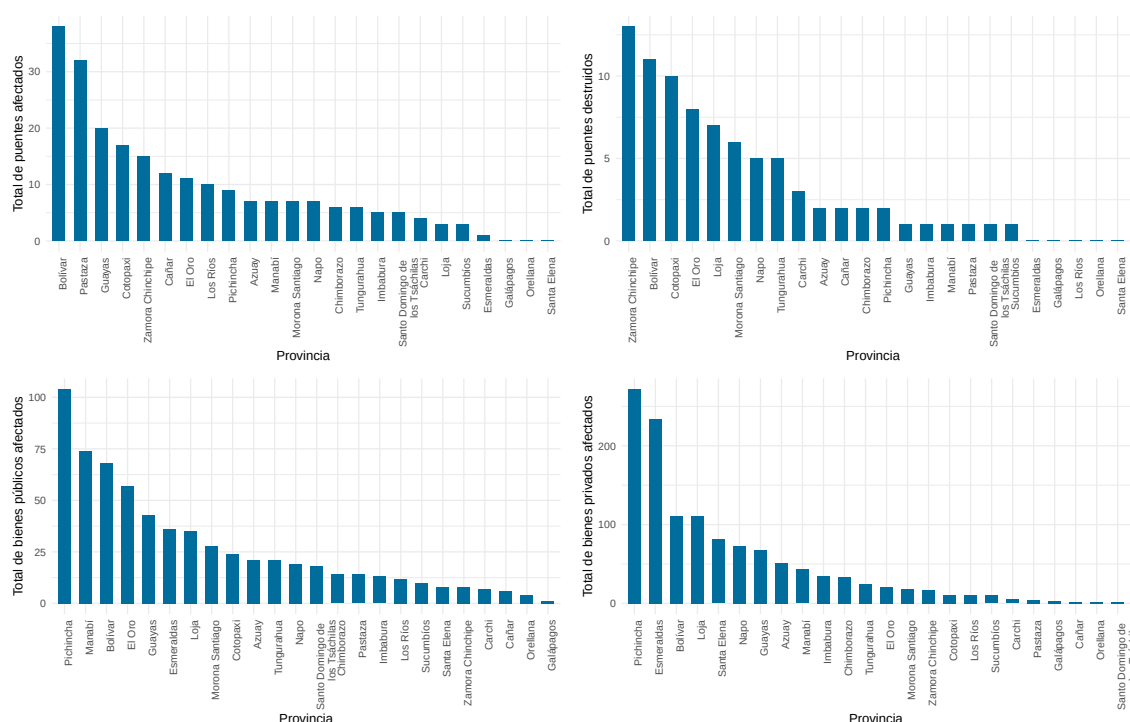


Además de las viviendas, centros de salud e instituciones educativas afectadas, otra infraestructura de interés corresponde a los puentes y a las pérdidas registradas en bienes públicos y privados. Los totales de puentes afectados y destruidos, así como de bienes públicos y privados dañados por provincia entre 2012 y 2023, se presentan en la Figura 20.

En cuanto a los puentes afectados, la provincia de Bolívar ocupa el primer lugar con 38 registros, seguida de Pastaza con 32 y Guayas con 20. Por el contrario, Galápagos, Orellana y Santa Elena son las únicas provincias que no han reportado daños en puentes durante el periodo analizado. Un caso particular es el de Los Ríos, que contabilizó 10 puentes afectados pero ninguno destruido. Respecto a los puentes destruidos, las cifras más elevadas corresponden a Zamora Chinchipe (13), Bolívar (11) y Cotopaxi (10). En términos generales, este tipo de afectación se concentra en provincias de la Sierra y la Amazonía, mientras que en la Costa resulta menos frecuente; solo El Oro reportó 8 puentes destruidos, y Guayas y Manabí registraron un caso cada una.

En relación con los bienes públicos afectados, las provincias más impactadas fueron Pichincha (105), Manabí (74) y Bolívar (68). Incluso Galápagos, que hasta ahora se había mostrado como una de las provincias menos expuestas a inundaciones, presentó un bien público afectado en el periodo de estudio. En cuanto a los bienes privados afectados, Pichincha registra el mayor número con 272 casos, seguida de Esmeraldas (234), Bolívar (111), Loja (111) y Santa Elena (81). En conjunto, los resultados evidencian que provincias como Bolívar, Zamora Chinchipe y Pastaza concentran niveles elevados de daños en infraestructura y bienes, tanto públicos como privados. Esto pone de evidencia la necesidad de reforzar las estrategias de prevención y gestión del riesgo en estas zonas, donde la exposición y vulnerabilidad frente a las inundaciones resultan especialmente críticas.

Figura 20 – Total de puentes afectados, puentes destruidos, bienes públicos y privados afectados por provincia durante las inundaciones ocurridas desde 2012 hasta 2023.



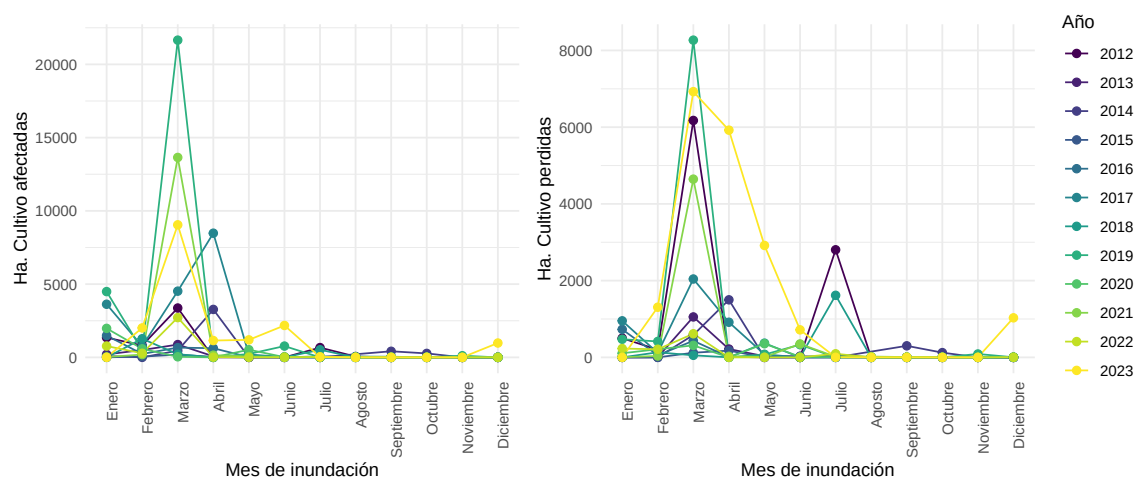
3.1.7 Afectaciones de las inundaciones en cultivos

Así como resulta fundamental evaluar las pérdidas en infraestructura ocasionadas por las inundaciones, también lo es analizar las pérdidas agrícolas generadas por estos eventos. En el Cuadro 10 se presenta el número de inundaciones registradas entre 2012 y 2023 que produjeron algún tipo de afectación sobre cultivos, ya sea en forma de cultivos dañados o destruidos. La última columna muestra el total de

concentra el mayor número de hectáreas comprometidas, tanto en afectaciones parciales como en pérdidas totales, con una diferencia marcada respecto a los demás meses. En particular, el año 2019 registra el mayor número (21654.42 ha) de cultivos afectados en dicho mes. En relación con las hectáreas de cultivo perdidas, el año 2023 presenta un comportamiento atípico frente a los años anteriores, ya que se reportan valores elevados no solo en marzo (6926.05 ha), sino también en abril (5922.45 ha) y mayo (2917.00 ha), meses que usualmente presentan cifras menores.

En términos generales, las hectáreas afectadas y las pérdidas mantienen una tendencia similar, lo que confirma que marzo constituye el periodo crítico en el que deben priorizarse medidas de prevención y mitigación para reducir los impactos sobre la producción agrícola.

Figura 22 – Total de hectáreas de cultivo afectadas y perdidas por año y mes, desde 2012 hasta 2023.



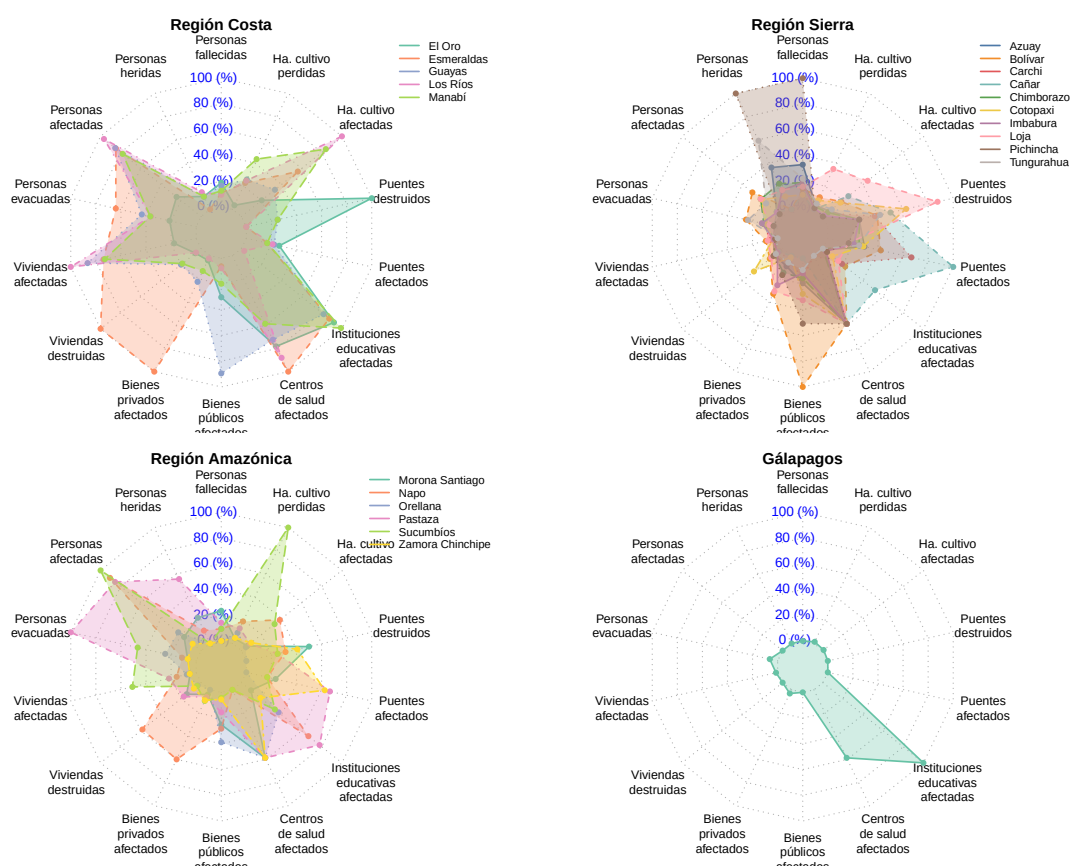
3.1.8 Comparación multidimensional de las afectaciones generadas por las inundaciones

En esta sección se presenta, para cada provincia, un gráfico de radar que resumen la intensidad relativa de las principales dimensiones de afectación por inundaciones, en donde fue considerado el número de personas fallecidas, heridas, afectadas directamente y evacuadas, las afectaciones registradas en viviendas, centros de salud, instituciones educativas, puentes y bienes públicos y privados, así como el total de hectáreas de cultivo afectadas y perdidas desde el año 2012 hasta el 2023. Para garantizar la comparabilidad por provincia, se calculó el número promedio de afectaciones por evento y posteriormente las variables se normalizaron a una escala común $[0, 1]$, o expresadas como porcentaje del máximo; por tanto, valores próximos al borde del

polígono reflejan mayor impacto relativo en esa dimensión. En conjunto, los perfiles permiten contrastar patrones entre regiones y orientar la priorización de medidas de gestión del riesgo.

La Figura 23 presenta, por provincia y promedio por evento, los perfiles de afectación por inundaciones agrupados por región. En la Costa, Guayas encabeza las afectaciones en bienes públicos y mantiene niveles altos en viviendas, personas e instituciones educativas afectadas, combinación que refleja presión social y pérdidas productivas. Los Ríos registra los mayores promedios por evento en personas, viviendas y hectáreas de cultivo afectadas; Manabí exhibe un patrón similar, aunque algo menor. Esmeraldas muestra un perfil centrado en vivienda y propiedad privada, altos valores en viviendas destruidas, bienes privados y centros de salud afectados, lo que sugiere mayor fragilidad del tejido residencial y de los servicios básicos. En contraste, El Oro resalta por infraestructura pública, con promedios superiores en puentes destruidos e instituciones educativas afectadas, señalando vulnerabilidad de la red vial y de obras de uso colectivo.

Figura 23 – Perfiles radiales de severidad de inundaciones por provincia (indicadores promedios por evento, 2012–2023).



En la Sierra los perfiles son más heterogéneos. Pichincha destaca por el

componente humano e institucional (máximos en personas heridas y fallecidas por evento y valores intermedios en bienes públicos y centros de salud afectados), consistente con la alta exposición urbana y de equipamientos. Loja presenta señales relevantes en puentes destruidos y valores menores en hectáreas de cultivo afectadas y perdidas; Bolívar sobresale en bienes públicos afectados; y Cañar registra el mayor promedio de puentes afectados por evento, lo que apunta a corredores viales sensibles. En la Amazonía predomina un impacto infraestructural y humano: Pastaza destaca en el promedio de personas evacuadas y afectadas y valores intermedios en personas heridas, puentes e instituciones educativas afectadas, mientras que Sucumbíos registra los promedios más altos en personas afectadas y hectáreas de cultivo perdidas. En Galápagos, el polígono permanece próximo al centro para casi todas las variables, con la salvedad de un valor relativamente alto en instituciones educativas afectadas (2.5 por evento), dentro de un contexto general de baja incidencia.

En conjunto, los contrastes regionales sugieren prioridades diferenciadas: en la Sierra, reforzar equipamientos urbanos y red vial; en la Amazonía, obras de protección y diseño resiliente de puentes y accesos; en Galápagos, mantener monitoreo y preparación por su baja frecuencia; y en la Costa, fortalecer la capacidad de respuesta, albergues temporales y la protección de infraestructura social, junto con la recuperación de áreas productivas por las pérdidas agrícolas observadas.

3.2 Deslizamientos en Ecuador

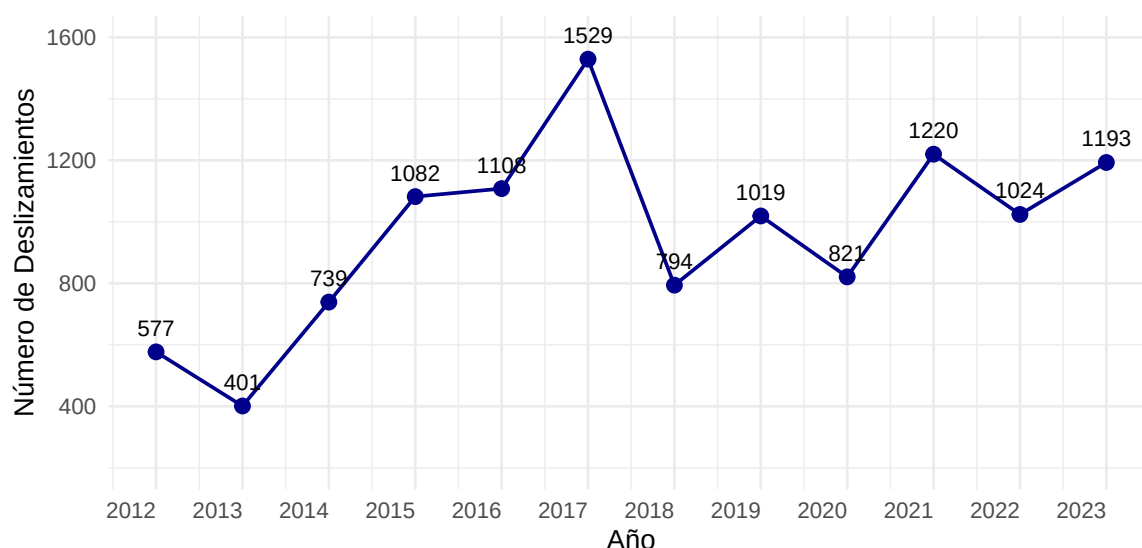
Entre 2012 y 2023 se registraron 11507 deslizamientos en Ecuador, según datos de la Secretaría de Gestión de Riesgos. Para dimensionar la magnitud y el alcance de esta amenaza geodinámica, esta sección analiza el conjunto de datos disponible, identifica tendencias temporales y espaciales y cuantifica los efectos sobre la infraestructura y la población. A continuación se presentan los hallazgos relevantes, donde se evidencia la recurrencia de los movimientos en masa y la severidad de sus afectaciones en diversas zonas del país. Estos resultados constituyen una línea de base para la evaluación del riesgo por deslizamientos y para orientar la planificación preventiva y la gestión del territorio.

3.2.1 Deslizamientos por año

La Figura 24 muestra la evolución anual de los deslizamientos registrados en Ecuador entre 2012 y 2023. El máximo se observa en 2017 con 1529 deslizamientos, mientras que el mínimo corresponde a 2013 con 401; el máximo es aproximadamente 3.8 veces el mínimo. A grandes rasgos se distinguen tres etapas: 2012–2014, con una

caída de 577 a 401 y un rebote a 739; 2015–2017, con un incremento sostenido de 1082 a 1108 y luego a 1529; y 2018–2023, con un descenso marcado en 2018 (794) seguido de una recuperación fluctuante (1019, 821, 1220, 1024, 1193). En conjunto, los valores recientes se mantienen por encima del arranque de la serie, lo que respalda la necesidad de fortalecer la alerta temprana e incorporar la susceptibilidad a deslizamientos en la planificación territorial.

Figura 24 – Serie temporal del total de deslizamientos registrados en Ecuador desde 2012 hasta 2023.

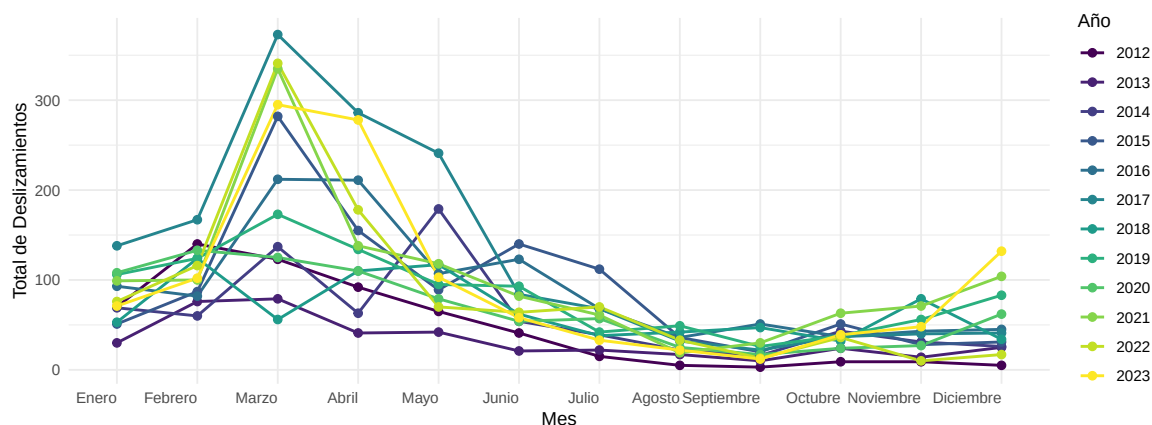


3.2.2 Deslizamientos por mes y año

En la sección previa se identificó a 2017 como el año con mayor número de deslizamientos, seguido de 2021 y 2023. Con el fin de examinar la distribución mensual de estos eventos, la Figura 25 muestra el total registrado por mes y año. El gráfico revela una estacionalidad marcada: la mayor actividad se concentra entre febrero y mayo, con picos sistemáticos en marzo. Destacan marzo de 2017 con 373 deslizamientos (máximo mensual del periodo), marzo de 2022 con 341 y marzo de 2021 con 335. En varios años, enero–febrero también presentan niveles elevados (70–170 eventos mensuales), tras lo cual la serie desciende rápidamente a partir de mayo.

El mínimo estacional se sitúa entre julio y septiembre, con septiembre como el mes de menor actividad en la mayoría de los años (3–50 eventos). Hacia el cierre del año se observa una reactivación moderada: en noviembre de 2023 se registraron 48 eventos y en diciembre de 2023 132, superando a diciembre de 2021 (104). En síntesis, el patrón mensual exhibe un máximo en el primer trimestre, un valle en el tercer trimestre y repuntes puntuales a fines de año, consistentes con la estacionalidad de las lluvias en el país.

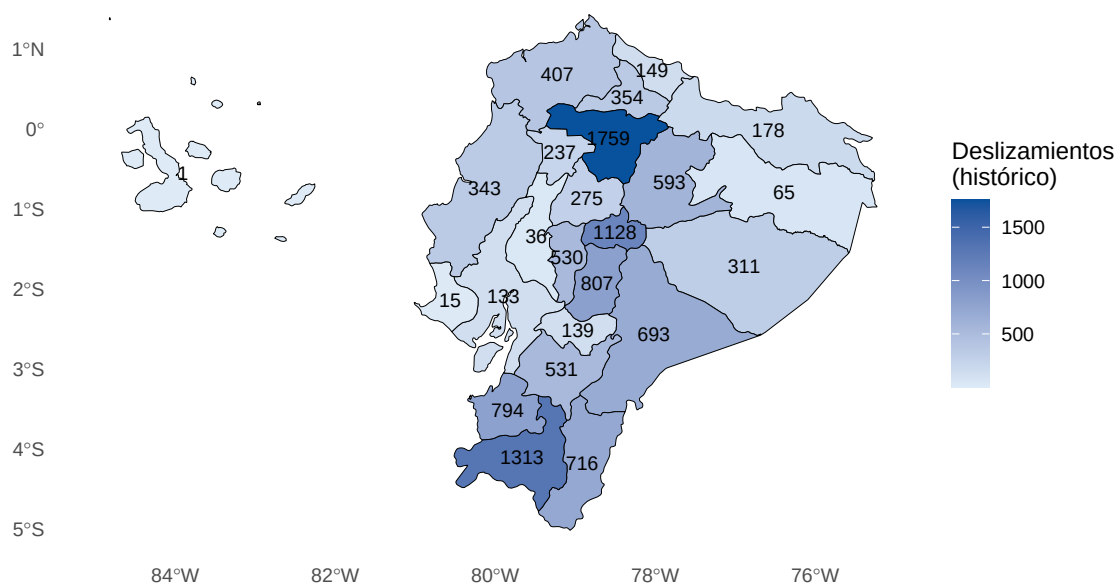
Figura 25 – Serie temporal del total de deslizamientos registrados en Ecuador por mes y año de 2012 a 2023.



3.2.3 Deslizamientos por provincia

En la Figura 26 se muestra la distribución del total de deslizamientos registrados por provincia desde 2012 hasta 2023. La provincia con mayor número histórico de deslizamientos es Pichincha (1759), seguida por Loja (1313) y Tungurahua (1128). En el corredor andino central aparecen también valores altos en Chimborazo (807), Cañar (531) y Bolívar (530), lo que señala una franja de alta susceptibilidad vinculada a pendientes pronunciadas, suelos volcánicos y fuertes gradientes de precipitación.

Figura 26 – Total de deslizamientos registrados por provincia desde 2012 hasta 2023.

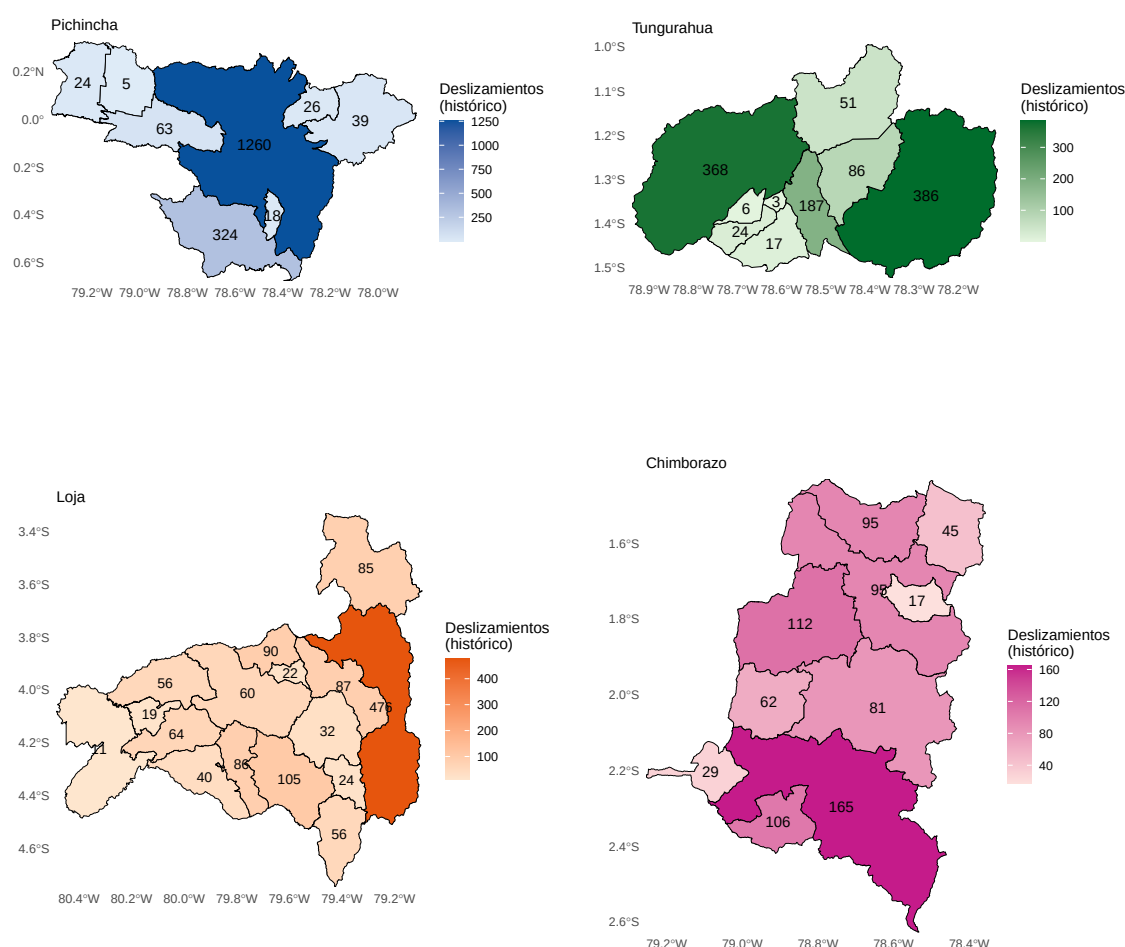


En la costa, el patrón es más heterogéneo: El Oro (794) sobresale claramente

frente a Esmeraldas (407), Manabí (343), Guayas (133) y Santa Elena (15). Esto sugiere que, aunque la llanura litoral registra deslizamientos, la recurrencia más marcada se asocia a zonas de estribaciones y piedemontes (caso El Oro). Por su parte, la Amazonía presenta valores intermedios: se observan totales elevados en Zamora Chinchipe (716), Morona Santiago (693) y Napo (593). En conjunto, el patrón espacial confirma que las laderas andinas y sus transiciones hacia costa y oriente concentran los mayores conteos, reforzando la necesidad de priorizar medidas de prevención y estabilización de taludes en esos corredores.

Para las provincias que concentraron el mayor número de deslizamientos en el periodo de estudio, se analiza la distribución cantonal de los eventos. Los resultados se muestran en la Figura 27.

Figura 27 – Total de deslizamientos desde 2012 hasta 2023 por cantón para las provincias de Pichincha, Loja, Tungurahua y Chimborazo.



En Pichincha el patrón es claramente concentrado en el cantón Quito, que

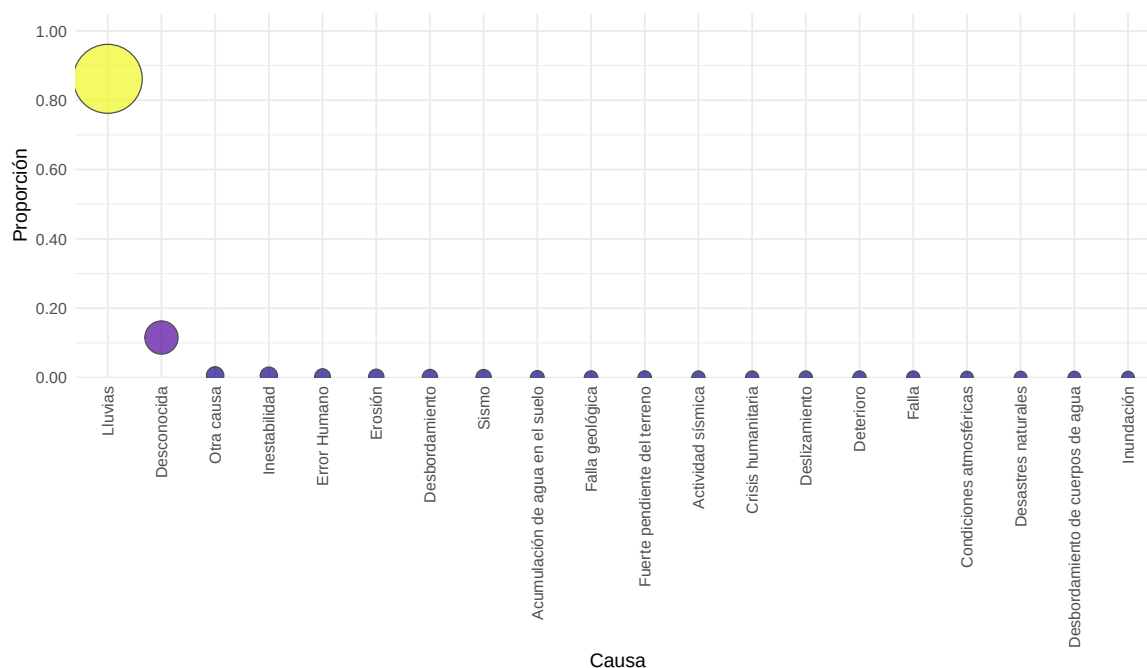
acumula 1260 deslizamientos entre 2012 y 2023; le sigue Mejía con 324. El resto de cantones (Rumiñahui, Cayambe, Pedro Moncayo y los del noroccidente) se mantiene por debajo de 100 eventos. Esta disparidad sugiere que la combinación de laderas urbanizadas, densa red vial y quebradas en el área metropolitana incrementa la recurrencia de movimientos en masa frente a cantones con menor presión antrópica.

En Tungurahua destaca Baños de Agua Santa (386), seguido de Ambato (368). En contraste, Cevallos, Mocha, Quero y Tisaleo registran menos de 30 deslizamientos en todo el periodo. En Loja, el cantón homónimo concentra 476 eventos, mientras que la mayoría de cantones del occidente y centro se sitúa entre 10 y 105. En Chimborazo, el máximo se localiza en el sur (Alausí, 165), seguido por Colta (112), Chunchi (106) y Guano y Riobamba con 95 cada uno; los restantes fluctúan entre 17 y 81. En conjunto, los picos se alinean con corredores andinos de fuerte pendiente, donde la interacción entre litología, relieve y lluvias favorece la ocurrencia de deslizamientos.

3.2.4 Posibles causas de los deslizamientos

La Figura 28 revela como principal causa de los deslizamientos a las lluvias, que explica casi nueve de cada diez deslizamientos (0.861). La segunda causa más frecuente es desconocida, con una proporción cercana a 0.115. El resto de causas, como inestabilidad, error humano, erosión, desbordamiento, sismo, falla geológica, pendiente del terreno, condiciones atmosféricas y otras, presentan aportes marginales, cada una menor a 0.006, conformando una cola larga de detonantes minoritarios.

Figura 28 – Proporción de deslizamientos registrados desde 2012 hasta 2023 por Causa.



Desde una perspectiva de gestión del riesgo, el patrón confirma un control pluvial del fenómeno: la priorización debe centrarse en umbrales de lluvia, monitoreo de saturación de suelos y alertas tempranas estacionales. La fracción desconocida sugiere, además, la necesidad de mejorar la atribución causal en los reportes (protocolos y capacitación), sin alterar la conclusión principal: en el periodo analizado, los deslizamientos en Ecuador estuvieron dominados por eventos de precipitación.

3.2.5 Afectaciones de los deslizamientos en personas

Con 11507 deslizamientos registrados (2012–2023), los eventos que involucraron personas son una fracción del total, pero no despreciable. En particular, 1503 deslizamientos reportaron al menos una persona afectada directamente, lo que equivale a una proporción de 0.1306, aproximadamente 1 de cada 8 eventos. Los eventos con evacuados fueron 357 (0.0310), los eventos con damnificados 286 (aproximadamente 1 de cada 40), los que dejaron heridos 226 (aproximadamente 1 de cada 51), y en 183 resultó al menos un fallecido (0.0159).

En términos de personas, se contabilizaron 385 fallecidas, 606 heridas, 75058 personas afectadas directamente, 4309 damnificadas y 7792 personas evacuadas. Entre los eventos que sí presentaron cada tipo de afectación, los promedios por evento fueron: 2.10 fallecidas, 2.68 heridas, 49.94 afectadas directamente, 15.07 damnificadas y 21.83 evacuadas; estos valores dan una idea de la severidad típica cuando el impacto humano ocurre.

Cuadro 5 – Total de deslizamientos ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron al menos una persona con alguna afectación.

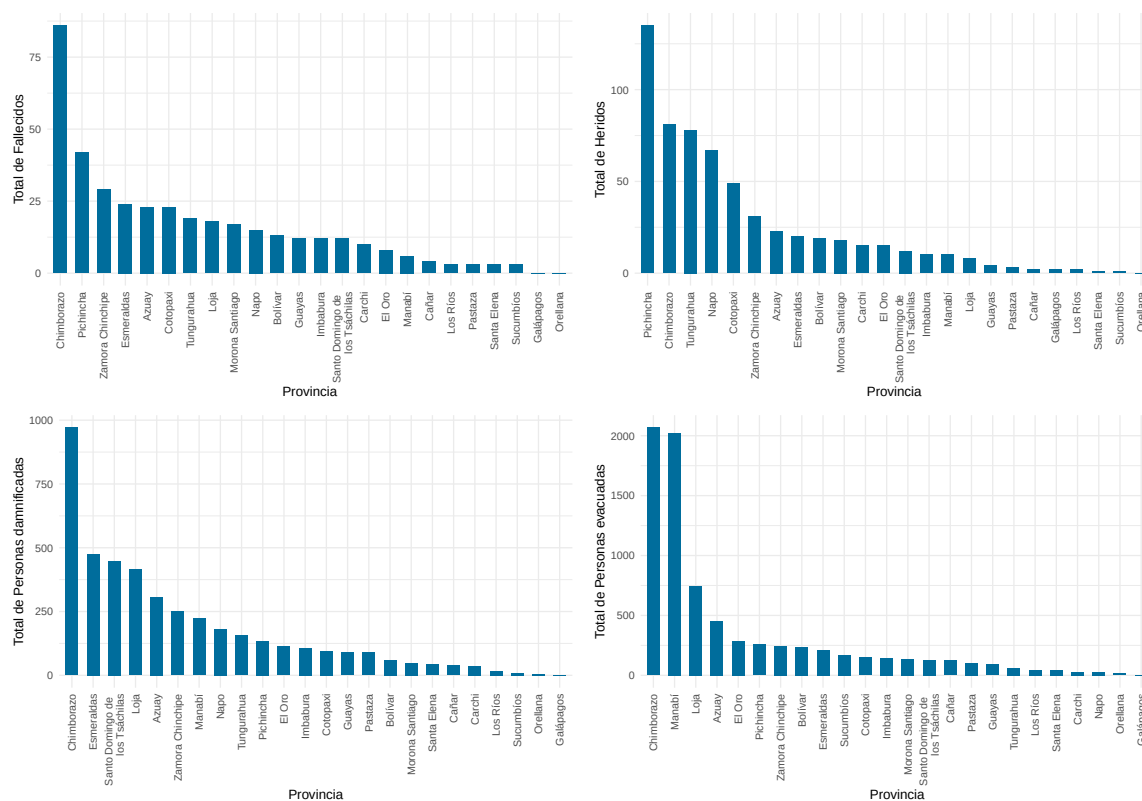
Afectación	Eventos con algún afectado	Personas afectadas
Personas fallecidas	183	385
Personas heridas	226	606
Personas afectadas directamente	1503	75058
Personas damnificadas	286	4309
Personas evacuadas	357	7792

La Figura 29 sintetiza las afectaciones dejadas en humanos por los deslizamientos ocurridos en Ecuador de 2012 a 2023, en este caso nos enfocaremos en el total de personas fallecidas, heridas, damnificadas y evacuadas por provincia. Se observa un claro predominio de las afectaciones en las provincias de la región andina. En relación al total de fallecidos, destaca Chimborazo con el mayor total acumulado del periodo (86), seguido por Pichincha (42) y un segundo grupo con valores intermedios en Zamora Chinchipe (29), Esmeraldas (24), Azuay (23) y Cotopaxi (23). En heridos, el liderazgo corresponde a Pichincha (135), con Chimborazo (81) y Tungurahua (78)

a continuación; Napo (67) y Cotopaxi (49) presentan conteos menores. Este patrón sugiere que los corredores andinos con pendientes fuertes y alta densidad de población e infraestructura concentran los eventos con mayor severidad individual.

En las afectaciones masivas, Chimborazo vuelve a encabezar los totales, en damnificados supera ampliamente al resto (971), mientras que Esmeraldas y Manabí exhiben cifras relevantes dentro de la Costa con 476 y 223 damnificados, respectivamente, lo que apunta a mayor vulnerabilidad residencial. En evacuados, el contraste es aún mayor: Chimborazo y Manabí alcanzan alrededor de 2000 personas cada una, por encima de provincias como Loja (745) y Azuay (455).

Figura 29 – Total de personas fallecidas, heridas, evacuadas y damnificadas por provincia debido a deslizamientos de 2012 a 2023.



3.2.6 Afectaciones de los deslizamientos en estructuras

A la par del impacto sobre las personas, resulta clave medir cómo los deslizamientos afectan la infraestructura pública y privada. El Cuadro 6 resume, para 2012–2023, el número de eventos que dejaron al menos una estructura dañada y el total de estructuras afectadas. Con 11507 deslizamientos registrados, 1355 involucraron al menos una vivienda afectada (0.118), con 6091 viviendas dañadas en total. En 303

eventos se reportaron viviendas destruidas (0.026), sumando 677 viviendas, lo que implica en promedio 2.23 viviendas destruidas por evento con esta afectación.

En la infraestructura pública, se registraron 346 bienes afectados en 262 eventos y 305 bienes destruidos en 54 eventos, con un promedio de 5.65 bienes públicos destruidos por evento cuando ocurre este tipo de daño. En centros educativos, se reportaron 114 afectados en 103 eventos y 3 destruidos en 3 eventos. En la infraestructura vial, los deslizamientos dejaron 51 puentes afectados en 47 eventos y 20 puentes destruidos en 14 eventos. En el ámbito privado no residencial, se contabilizaron 421 bienes afectados en 263 eventos y 67 bienes destruidos en 34 eventos, con promedios de 1.60 y 1.97 bienes por evento, respectivamente. En conjunto, el patrón observado indica que, aunque los puentes y escuelas registran menos eventos, cuando ocurren daños a infraestructura pública pueden concentrar múltiples bienes destruidos, mientras que la vivienda es el frente más recurrente de impacto.

Cuadro 6 – Total de deslizamientos ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron al menos una estructura/bien con afectación.

Afectación	Eventos con alguna afectación	Bienes afectados
Viviendas afectadas	1355	6091
Viviendas destruidas	303	677
Centros educativos afectados	103	114
Centros educativos destruidos	3	3
Puentes afectados	47	51
Puentes destruidos	14	20
Bienes públicos afectados	262	346
Bienes públicos destruidos	54	305
Bienes privados afectados	263	421
Bienes privados destruidos	34	67

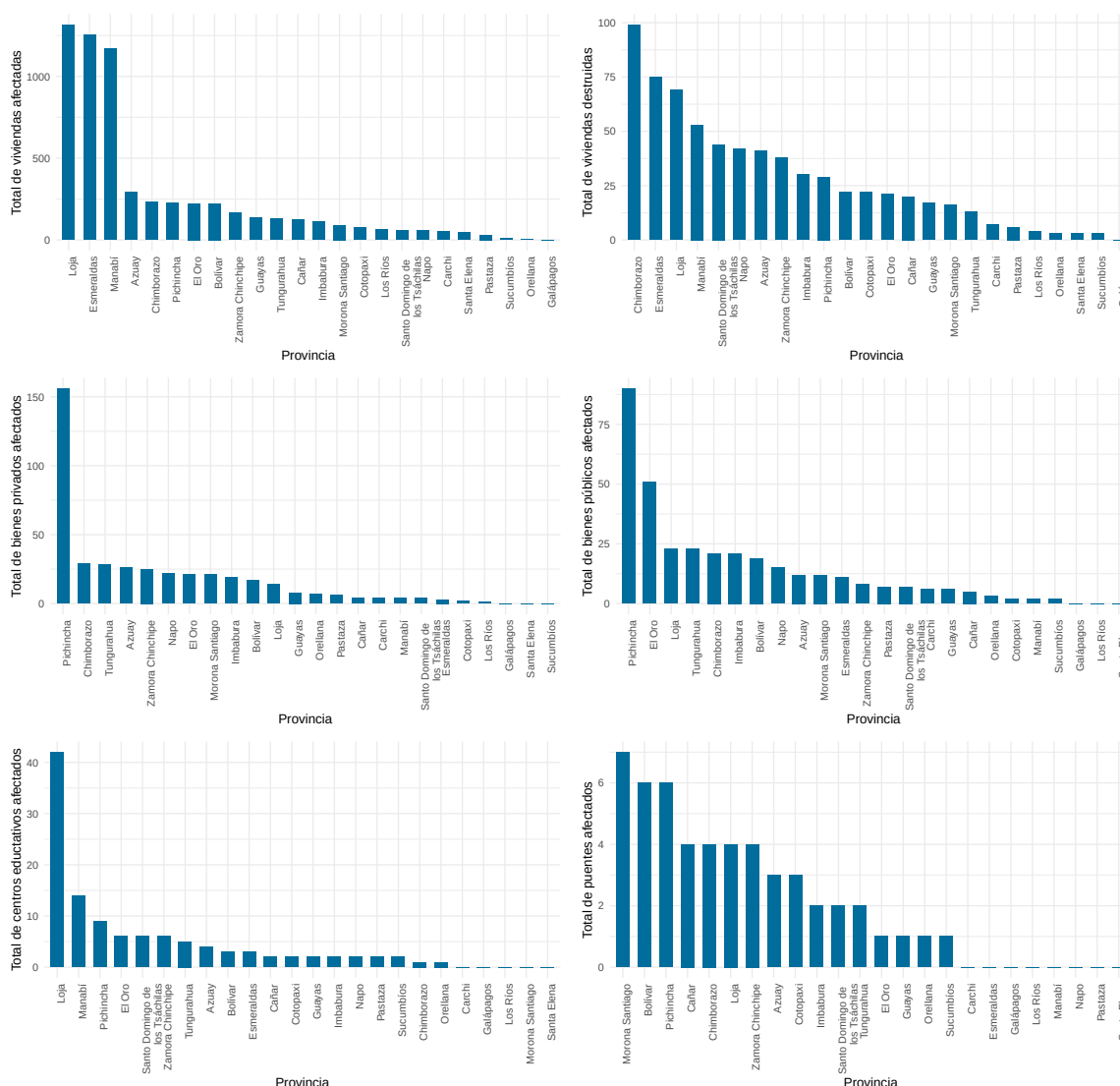
La Figura 30 resume el total de afectaciones en bienes públicos y privados ocasionadas por deslizamientos según los registros históricos (2012–2023). En viviendas afectadas, Loja presenta el mayor conteo con 1315 casas, seguida de Esmeraldas (1254) y Manabí (1169). Aunque Esmeraldas y Manabí no figuran entre las provincias con más deslizamientos a escala nacional, sí concentran altos valores dentro de la Costa, junto con El Oro. Galápagos no registra viviendas afectadas ni destruidas; en el periodo únicamente se reportó un deslizamiento.

Respecto de las viviendas destruidas, lidera Chimborazo con 99, seguida de Esmeraldas (75), Loja (69) y Manabí (53), destacando nuevamente dos provincias costeras. En bienes privados afectados, Pichincha encabeza con 156, muy por encima de otras provincias andinas como Chimborazo (29), Tungurahua (28) y Azuay (26). En

bienes públicos afectados, Pichincha vuelve a liderar con 90, seguida de El Oro (51). Galápagos, Los Ríos y Santa Elena no registran afectaciones en bienes públicos.

Cabe destacar que no se han sido reportados centros de salud afectados o destruidos debido a deslizamientos y por tal motivo esta variable no ha sido considerada en este análisis. Sí se reportaron instituciones educativas afectadas, con máximos en Loja (42), Manabí (14) y Pichincha (9). En cuanto a la infraestructura vial, destacan Morona Santiago con 7 puentes afectados, y Bolívar y Pichincha con 6 cada una; en general, las provincias costeras reportan menos puentes afectados por deslizamientos.

Figura 30 – Total de viviendas afectadas y destruidas, bienes privados y públicos afectados, establecimientos educativos y puentes afectados por provincia durante los deslizamientos ocurridos de 2012 hasta 2023.



En conjunto, las afectaciones estructurales por deslizamientos muestran un patrón nítido, la vivienda es el frente más recurrente de daño y también uno de los más costosos socialmente. En términos de política pública, las prioridades son

claras: (i) gestión de laderas urbanas y drenaje en áreas residenciales críticas; (ii) diseño y mantenimiento resiliente de infraestructura pública; (iii) ordenamiento y microzonificación para limitar la ocupación de zonas de alta susceptibilidad; y (iv) alerta temprana basada en umbrales de lluvia y saturación del suelo. Conviene, además, mejorar la atribución causal y la calidad del registro para afinar la priorización territorial y estimar con mayor precisión los costos de recuperación.

3.2.7 Afectaciones de los deslizamientos en cultivos

El Cuadro 7 muestra que, entre 2012 y 2023, los deslizamientos afectaron cultivos en 59 eventos (0.51 respecto a 11507 deslizamientos) con un total de 1183.018 ha; además, 66 eventos (0.57) reportaron cultivos destruidos por 1078.462 ha. Aunque la frecuencia es baja a escala nacional, la magnitud del impacto agrícola es relevante.

En términos de severidad, cuando ocurre el daño agrícola, el promedio es de 20.05 ha afectadas por evento y 16.34 ha destruidas por evento. Nótese que el área destruida equivale a 91 % del área afectada acumulada, lo que sugiere que, aun con baja recurrencia, los episodios que alcanzan zonas productivas tienden a ser severos, con pérdidas cercanas a la pérdida total del cultivo en muchos casos.

Cuadro 7 – Total de deslizamientos ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron cultivos con alguna afectación.

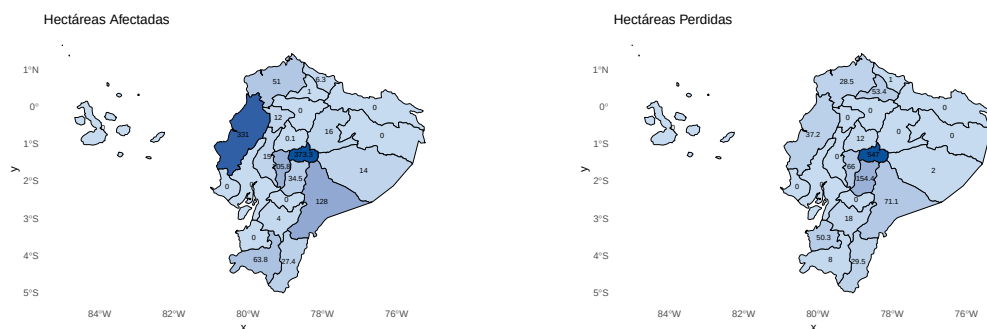
Afectación	Eventos con alguna afectación	Ha. Cultivos afectados
Cultivos afectados	59	1183.018
Cultivos destruidos	66	1078.462

Los mapas mostrados en la Figura 31 reportan el total de hectáreas de cultivo afectadas y perdidas debido a los deslizamientos registrados en Ecuador de 2012 a 2023. En hectáreas de cultivo afectadas, los mayores acumulados se observan en Tungurahua (373.295 ha) y Manabí (331 ha), seguidos por un segundo grupo con valores medios como Morona Santiago (128 ha), Bolívar (105.78 ha) y Loja (63.82 ha). En hectáreas perdidas, el máximo se concentra en Tungurahua (547.01 ha), seguida de Chimborazo (154.43 ha), mientras que el resto de provincias presentan superficies perdidas menores 71 ha. Esto sugiere episodios puntuales pero severos cuando los deslizamientos intersectan áreas productivas.

También se aprecian territorios sin registro o con valores nulos (0 ha) en al menos una de las dos métricas, destacando Galápagos, Guayas, Santa Elena y Pichincha, sin superficies agrícolas reportadas como afectadas o perdidas por deslizamientos, y varias provincias amazónicas que muestran 0 en alguna de las dos capas (p. ej., zonas del nororiente). En conjunto, el patrón confirma que el impacto agrícola por deslizamientos

es poco frecuente a escala nacional, pero concentrado en provincias específicas (sobre todo Tungurahua), por lo que la gestión preventiva debería priorizar laderas cultivadas y valles con alta pendiente en estos territorios.

Figura 31 – Total de hectáreas de cultivo afectadas y perdidas por deslizamientos de 2012 a 2023.



3.2.8 Comparación multidimensional de las afectaciones generadas por los deslizamientos

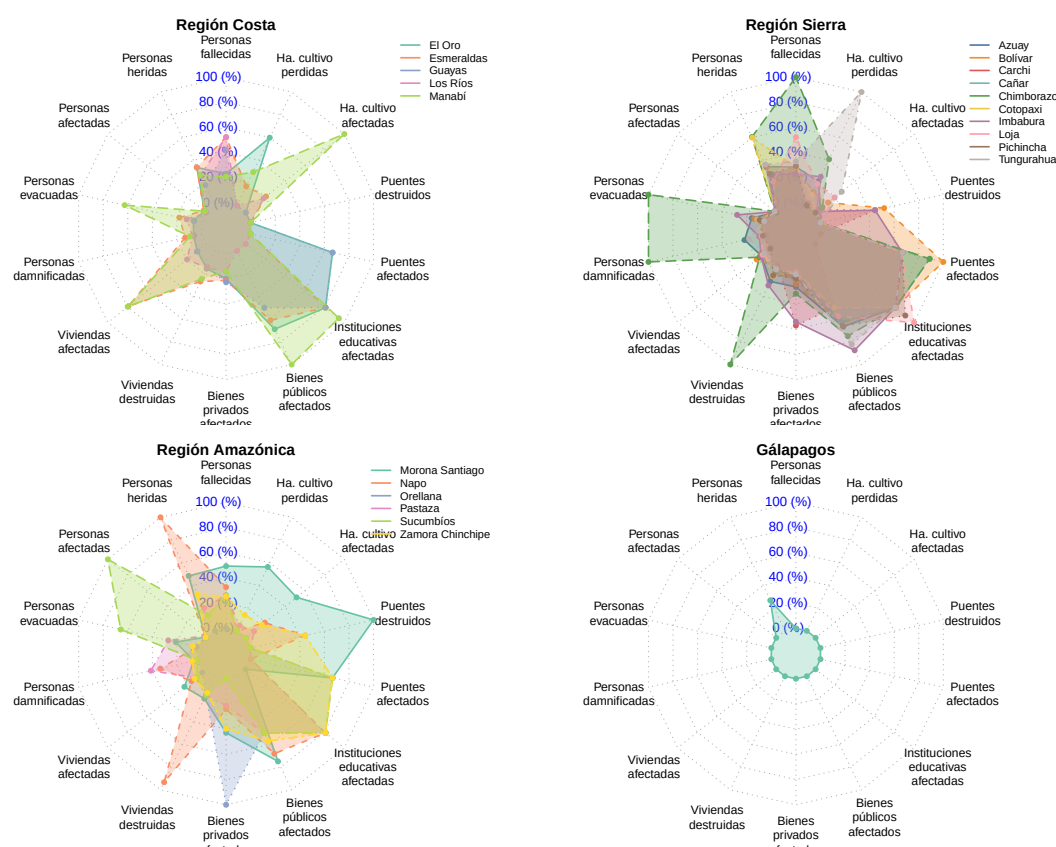
La Figura 32 muestra los mapas radiales de las afectaciones promedios por evento generadas por los deslizamientos para cada provincia y agrupados por región. En las provincias de la Costa domina un patrón asociado a afectaciones en vivienda, bienes públicos, centros educativos y agricultura, con Esmeraldas concentrando picos relativos en viviendas afectadas; Manabí sobresale en el número de personas evacuadas, las viviendas, bienes públicos e instituciones afectadas y por la cantidad de hectáreas de cultivo afectadas en promedio por evento; mientras que El Oro resalta en bienes públicos y puentes afectados y hectáreas de cultivo perdidas. En conjunto, la Costa combina impacto residencial y productivo.

En la Sierra el perfil es más heterogéneo y severo. Chimborazo destaca en el número promedio de personas fallecidas, evacuadas y damnificadas por evento, así como en viviendas destruidas y puentes afectados; y Tungurahua presenta picos en hectáreas de cultivo perdidas y valores relativamente altos en puentes afectados y destruidos, coherentes con corredores viales encajados y laderas cultivadas. Mientras que las demás provincias de la Sierra presentan un perfil similar, destando afectaciones en bienes públicos, instituciones educativas y puentes. Este conjunto de perfiles confirma que, en la Sierra, la densidad de población e infraestructura sobre relieve abrupto amplifica la severidad de los eventos.

En la Amazonía prevalece un patrón infraestructural: Morona Santiago concentra los máximos relativos en puentes destruidos y valores intermedios en hectáreas afectadas y perdidas y puentes afectados; mientras que Sucumbíos resalta por personas

afectadas directamente y evacuadas. Napo presenta picos en relación al número promedio de personas heridas y viviendas destruidas por evento y Orellana muestra valores intermedios en la mayoría de dimensiones, con un pico en el promedio de bienes privados afectados por evento. Finalmente, Galápagos mantiene un polígono próximo al centro en casi todas las variables, reflejando baja incidencia de afectaciones por deslizamientos en el periodo. En síntesis, las prioridades de gestión se diferencian por región: vivienda y agricultura en la Costa; equipamientos, red vial y asentamientos en ladera en la Sierra; conectividad (puentes) y accesos en la Amazonía; y monitoreo preventivo en Galápagos.

Figura 32 – Perfiles radiales de severidad de deslizamientos por provincia (indicadores promedios por evento, 2012–2023).



3.3 Socavones en Ecuador

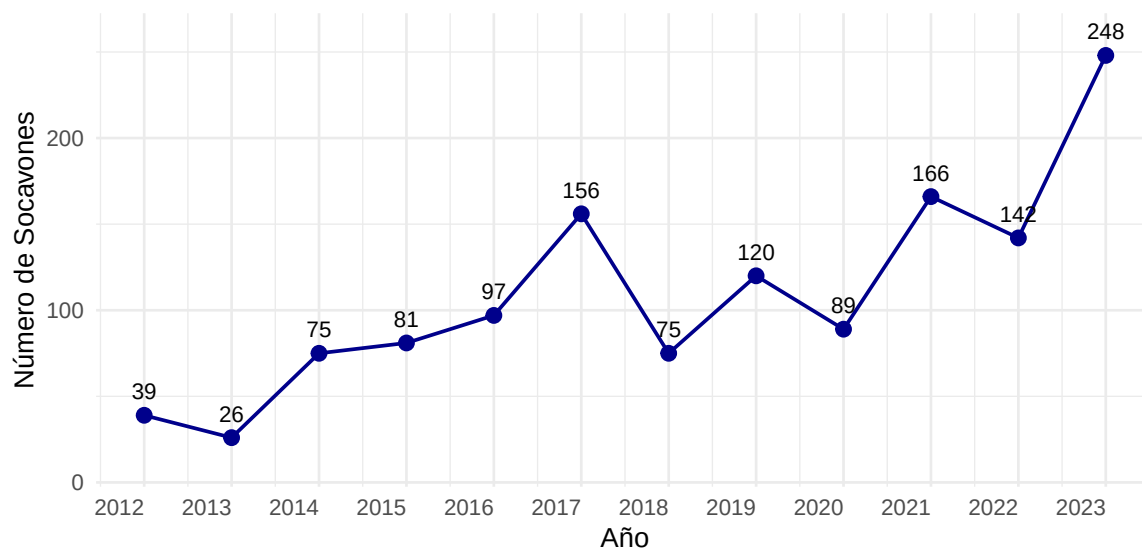
Esta sección examina los socavones y hundimientos registrados en Ecuador durante 2012-2023 con el fin de dimensionar la magnitud y la distribución de esta amenaza geodinámica. En el periodo analizado se reportaron 840 socavamientos y 474 hundimientos, cifras que permiten caracterizar su comportamiento temporal y espacial, así como cuantificar su alcance sobre la infraestructura y las comunidades.

Los resultados aquí sintetizados muestran la repetición y dispersión de los colapsos subterráneos, así como la intensidad con la que afectan a diversas provincias. Este panorama inicial constituye un insumo clave para estimar el riesgo asociado a los socavones y para orientar acciones de prevención, mitigación y ordenamiento territorial.

3.3.1 Número de socavones por año

La Figura 33 ilustra la trayectoria anual del total de socavones reportados en Ecuador de 2012 a 2023. La serie muestra una tendencia ascendente marcada en el número de socavones, con picos y correcciones interanuales. Tras valores bajos en 2012 y 2013 (39 y 26), se observa un incremento sostenido hasta 2017 (156), una caída en 2018 (75), con un nuevo repunte en 2019 (120) y leve descenso en 2020 (89). La fase reciente es la más intensa: 2021 marca 166, 2022 baja a 142 y 2023 alcanza el máximo del periodo con 248, un incremento del 49 % respecto a 2022 y 59 % sobre el pico de 2017. En términos acumulados, el conteo se multiplicó por 6 frente a 2012 y por 10 respecto al mínimo de 2013, evidenciando una intensificación del fenómeno y/o de su registro en la última parte de la década.

Figura 33 – Serie temporal del total de socavones registrados en Ecuador desde 2012 hasta 2023.



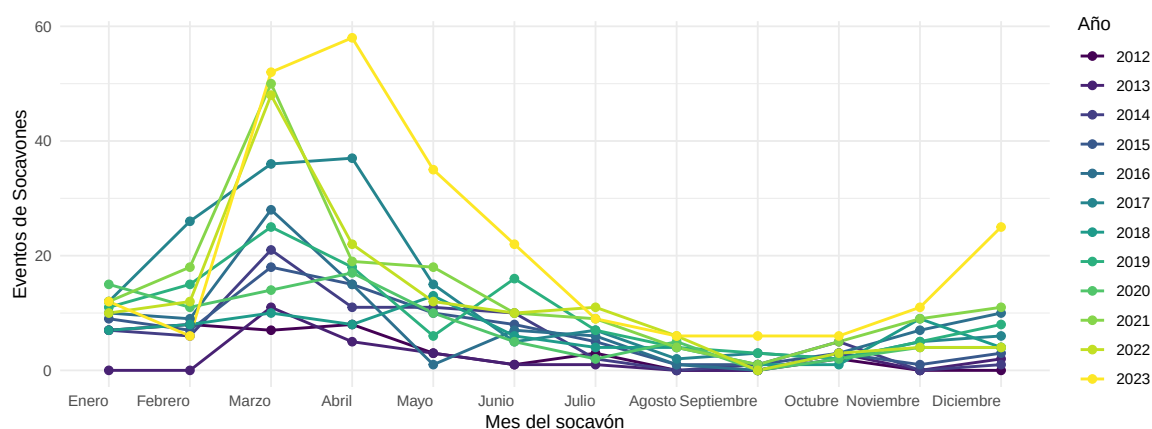
3.3.2 Número de socavones por mes y año

La Figura 34 muestra el número total de socavones registrados a nivel nacional por mes y año. Se observa una estacionalidad marcada, donde los máximos se concentran entre marzo y mayo, con el pico absoluto en abril de 2023 (58 eventos) y valores muy altos en marzo de 2023 (52) y mayo de 2023 (35). Mientras que el mínimo

estacional se ubica entre agosto y octubre, con conteos que frecuentemente descienden a 0-5 eventos. Hacia diciembre suele observarse un repunte moderado (en 2023 se registraron 25), cerrando el ciclo anual.

Estos patrones enlazan con el resultado anual previo: la tendencia ascendente que culmina en 2023 (248 eventos) se explica, en gran parte, por picos tempranos más altos y temporadas lluviosas más activas en los últimos años. En suma, el fenómeno muestra intensificación reciente y una dinámica fuertemente pluviodependiente, coherente con lo observado para otros movimientos en masa, lo que refuerza la necesidad de sistemas de alerta estacional y gestión preventiva durante marzo-mayo.

Figura 34 – Serie temporal del total de socavones registrados en Ecuador por mes y año de 2012 a 2023.



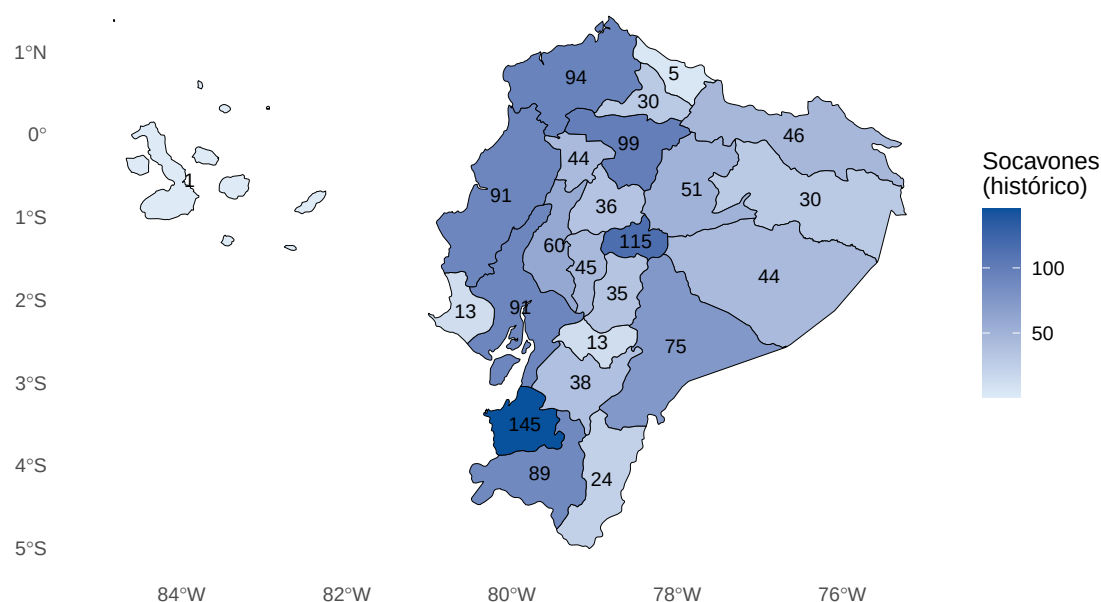
3.3.3 Número de socavones por provincia

Al realizar el análisis por provincia, podemos observar en la Figura 35 que el mapa de socavones (2012–2023) evidencia tres focos territoriales. El suroeste costero muestra el mayor acumulado en El Oro (145); el corredor andino norte-centro concentra valores altos en Tungurahua (115) y Pichincha (99); y el noroccidente costero destaca con Esmeraldas (94), Manabí (91) y Guayas (91). Este patrón sugiere la concurrencia de alta exposición urbana y vial, suelos volcánicos jóvenes (zona andina) y procesos erosivos intensos en llanuras costeras.

Hacia la Amazonía los conteos son moderados, con Morona Santiago (75) por encima del resto, y valores intermedios en Sucumbíos (46), Napo (51) y Pastaza (44). En la Sierra austral los totales son menores (Azuay 38; Cañar 13; Loja 89), y en la Costa central resaltan mínimos como Santa Elena (13). Galápagos registra un caso en el periodo. En conjunto, la distribución espacial refuerza lo visto en las series anual y mensual: una intensificación reciente del fenómeno y una concentración en territorios con pendientes, suelos susceptibles y alta densidad de infraestructura, donde fallas de

drenaje, colapsos de cavidades y erosión subterránea pueden desencadenar socavones con mayor frecuencia.

Figura 35 – Total de socavones registrados por provincia desde 2012 hasta 2023.

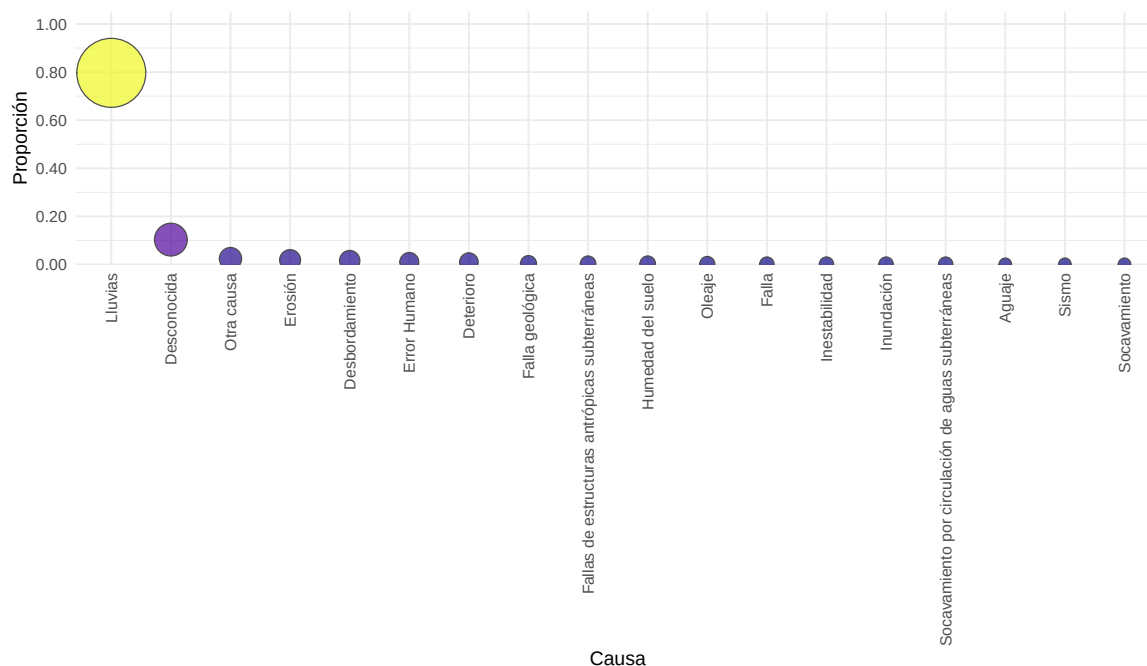


3.3.4 Posibles causas de los socavones

El diagrama de burbujas, presentado en la Figura 36, muestra una clara dominancia pluvial en el disparo de los socavones: la categoría lluvias concentra 0.797 de los casos, muy por encima de cualquier otro detonante. En segundo lugar aparece causa desconocida con 0.104. El resto de factores, como erosión, desbordamiento, error humano, deterioro, fallas geológicas, humedad del suelo, fallas de estructuras subterráneas, inundación, sismo, oleaje/aguaje, entre otras, aportan proporciones marginales (inferiores a 0.02), conformando una cola larga de causas menos frecuentes.

Desde la gestión del riesgo, el patrón sugiere priorizar medidas hidrometeorológicas y de drenaje urbano: umbrales de precipitación, monitoreo de saturación del suelo, mantenimiento de alcantarillado y control de fugas en redes subterráneas. La fracción “desconocida” indica además la necesidad de mejorar la atribución causal en los reportes (protocolos, capacitación y registro fotográfico/geométrico), para distinguir entre gatillantes primarios (lluvia) y cofactores como fallas de infraestructura o procesos erosivos.

Figura 36 – Proporción de socavones registrados desde 2012 hasta 2023 por Causa.



3.3.5 Afectaciones de los socavones en personas

Del total de eventos de socavones y hundimientos registrados en el periodo (1314), 163 registraron personas afectadas directamente (0.124), 49 reportaron evacuados (0.037) y 37 tuvieron damnificados (0.028). Los desenlaces severos fueron poco frecuentes: 10 eventos con heridos (0.0076) y 3 con fallecidos (0.0023). Note adicionalmente, que cuando existe impacto humano, los promedios por evento fueron: 47.1 personas afectadas, 20.1 evacuadas (985/49), 14.95 damnificadas, 4.3 heridas y 1.33 fallecidas. En síntesis, la mayor carga humana de los socavones se manifiesta en afectaciones directas y evacuaciones, mientras que los desenlaces más graves (heridos y fallecidos) son raros.

Cuadro 8 – Total de socavones ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron al menos una persona con alguna afectación.

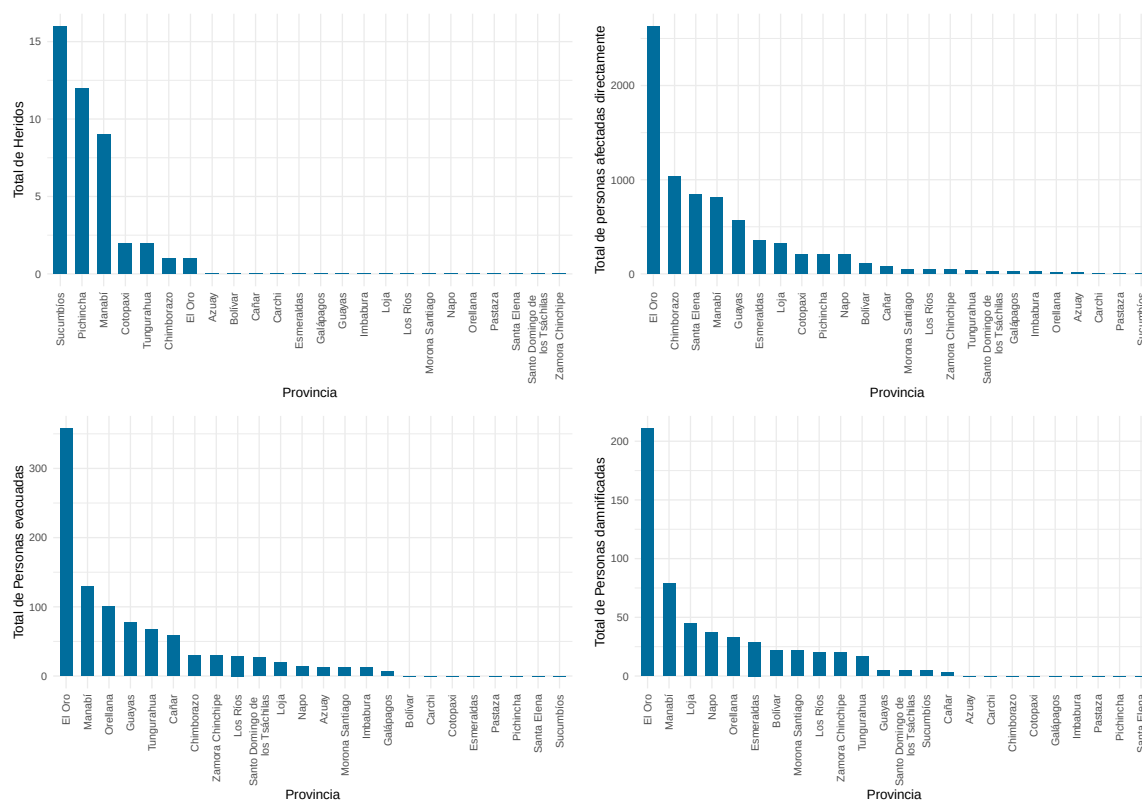
Afectación	Eventos con algún afectado	Personas afectadas
Personas fallecidas	3	4
Personas heridas	10	43
Personas afectadas directamente	163	7684
Personas damnificadas	37	553
Personas evacuadas	49	985

En términos de lesiones, los casos son escasos pero concentrados en pocas provincias, de los 43 heridos a nivel nacional (2012-2023), Sucumbíos reúne 16 (37.2 %) y Pichincha 12 (27.9 %), seguidos por Manabí (9); el resto de provincias aporta conteos

menores a 2. Este patrón sugiere contextos distintos: áreas urbanas con alta exposición subterránea en Pichincha y entornos amazónicos con suelos saturables o infraestructura lineal vulnerable en Sucumbíos. La afectación directa en personas (7684 personas) se concentra en la Costa y Sierra centro. El Oro lidera con 2631 personas (34.2 % del total), seguido por Chimborazo (1033), Santa Elena (839), Manabí (816) y Guayas (570). Es un perfil coherente con lo observado en los conteos de socavones y con la dependencia estacional: mayor actividad durante marzo-mayo, cuando las lluvias intensifican el riesgo de colapso de cavidades y fallas de drenaje.

En evacuaciones (985 personas), la jerarquía se mantiene: El Oro 358 (3.3 %) ocupa el primer lugar, seguido por Manabí (129), Orellana (100) y Guayas (78). Para damnificados (553 personas), El Oro vuelve a encabezar con 211 (38.2 %), y le siguen Manabí (79) y Loja (45). Estos resultados apuntan a impactos masivos en provincias costeras y a episodios puntuales en la Amazonía que requieren evacuación por afectación del terreno o de la infraestructura.

Figura 37 – Total de personas heridas, afectadas directamente, evacuadas y damnificadas por provincia debido a socavamientos ocurridos de 2012 a 2023.



En conjunto, los hallazgos refuerzan tres líneas de acción: (i) gestión del drenaje y mantenimiento de redes subterráneas en ciudades grandes (Guayas, Pichincha) y cabeceras cantonales costeras; (ii) planes de evacuación y control de ocupación en zonas de subsidencia recurrente (El Oro, Manabí, Santa Elena); y (iii) monitoreo

hidrometeorológico y de saturación del suelo en corredores amazónicos (Sucumbíos, Orellana), especialmente en el pico lluvioso de marzo a mayo.

3.3.6 Afectaciones de los socavones en estructuras

El Cuadro 9 reporta cuántos eventos relacionados con socavamientos registraron al menos una afectación estructural y cuántos bienes quedaron dañados o destruidos. El impacto más frecuente recae en viviendas afectadas con 162 eventos (12.3 %) que dejaron 815 viviendas afectadas (aproximadamente 5.03 por evento), y 29 eventos (2.2 %) reportaron 45 viviendas destruidas (1.55 por evento con destrucción). En equipamientos sociales, se contabilizan 40 eventos con centros educativos afectados (1 por evento) y 2 con centros de salud afectados (1 por evento).

En infraestructura vial, los puentes muestran una presencia relevante: 141 eventos (10.7 %) con 159 puentes afectados (1.13 por evento) y 19 con 25 puentes destruidos (1.32 por evento). Respecto a bienes públicos, hubo 127 eventos con 174 afectados (1.37 por evento) y 19 con 38 destruidos (2 por evento, la severidad más alta entre las categorías al ocurrir destrucción). Para bienes privados no residenciales, se registran 56 eventos con 76 afectados (1.36 por evento) y 4 con 4 destruidos (1 por evento).

Cuadro 9 – Total de socavones ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron al menos una estructura/bien con afectación.

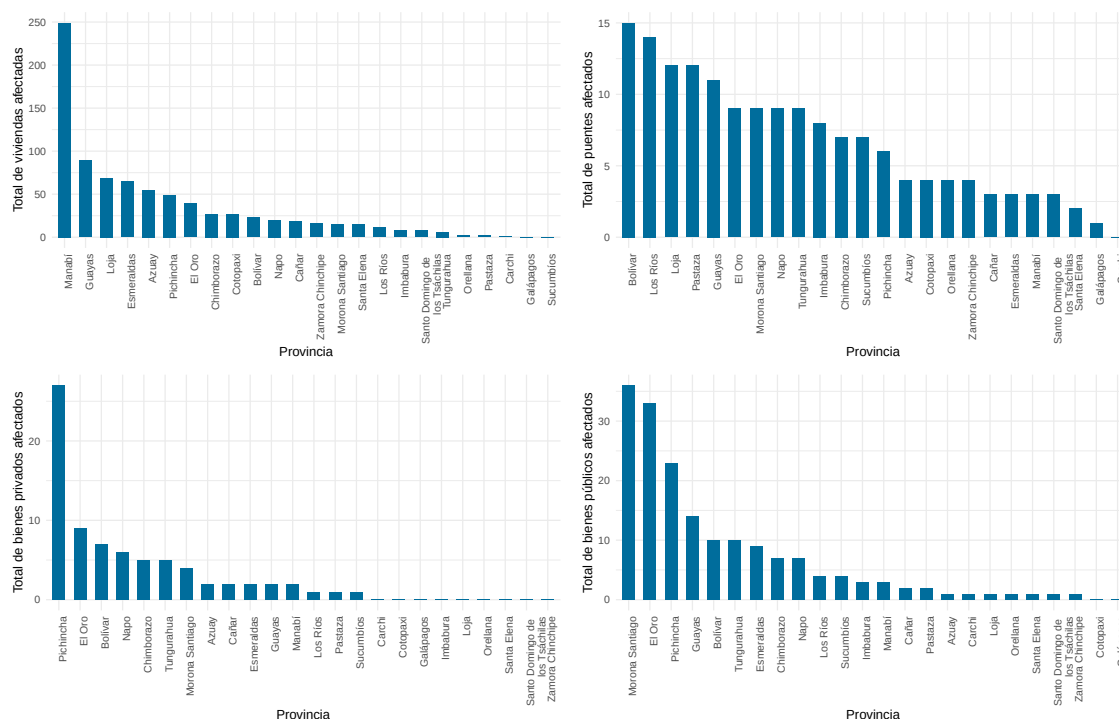
Afectación	Eventos con alguna afectación	Bienes afectados
Viviendas afectadas	162	815
Viviendas destruidas	29	45
Centros educativos afectados	40	40
Centros de salud afectados	2	2
Puentes afectados	141	159
Puentes destruidos	19	25
Bienes públicos afectados	127	174
Bienes públicos destruidos	19	38
Bienes privados afectados	56	76
Bienes privados destruidos	4	4

La Figura 38 muestra el total de viviendas, puentes, bienes privados y públicos afectados por los deslizamientos entre 2012 y 2023 por provincia. En viviendas afectadas, los mayores totales se concentran en la Costa, con Manabí (249) al frente y siguientes relevantes en Guayas (89) y Loja (69); el gráfico refleja, además, focos menores dispersos en otras provincias. En relación con el total de puentes afectados, el peso se traslada al corredor andino, destacando Bolívar (15), Loja (12) y Los Ríos (14),

junto con aportes de provincias de transición como Pastaza (12) y de la Costa sur (El Oro); es decir, zonas con valles estrechos y pasos viales sobre cauces con alta energía.

En bienes privados afectados, el perfil es mixto, destacando Pichincha (27) y El Oro (9), mientras que en bienes públicos afectados no se observa un patrón provincial claro, presentando el mayor número de casos en Morona Santiago (36), seguido de El Oro (33), Pichincha (23) y Guayas (14). Note que Galápagos ha sido la provincia que presenta el menor número de afectaciones por socavamientos, esto debido a que solamente se ha reportado un evento de esta naturaleza.

Figura 38 – Total de viviendas, puentes, bienes privados y públicos afectados por provincia durante los socavones ocurridos de 2012 hasta 2023.



3.3.7 Afectaciones de los socavones en cultivos

De los 1314 socavamientos registrados, solo 5 eventos dejaron cultivos afectados y 8 eventos reportaron cultivos destruidos. En términos de superficie, se contabilizan 122.01 ha afectadas y 93.40 ha destruidas en todo el periodo a nivel nacional. Los casos con afectación a cultivos se concentraron en 2023, principalmente en Chimborazo, Bolívar, Manabí y Guayas; las pérdidas se registraron mayoritariamente en 2021 y 2023, con mayor recurrencia en El Oro y Bolívar.

Cuando hubo impacto agrícola, los promedios fueron de 24.40 ha afectadas por evento (122.01/5) y 11.68 ha destruidas por evento (93.40/8). Es decir, aunque los

casos son poco frecuentes, los episodios que alcanzan a la agricultura pueden implicar áreas relevantes a escala local.

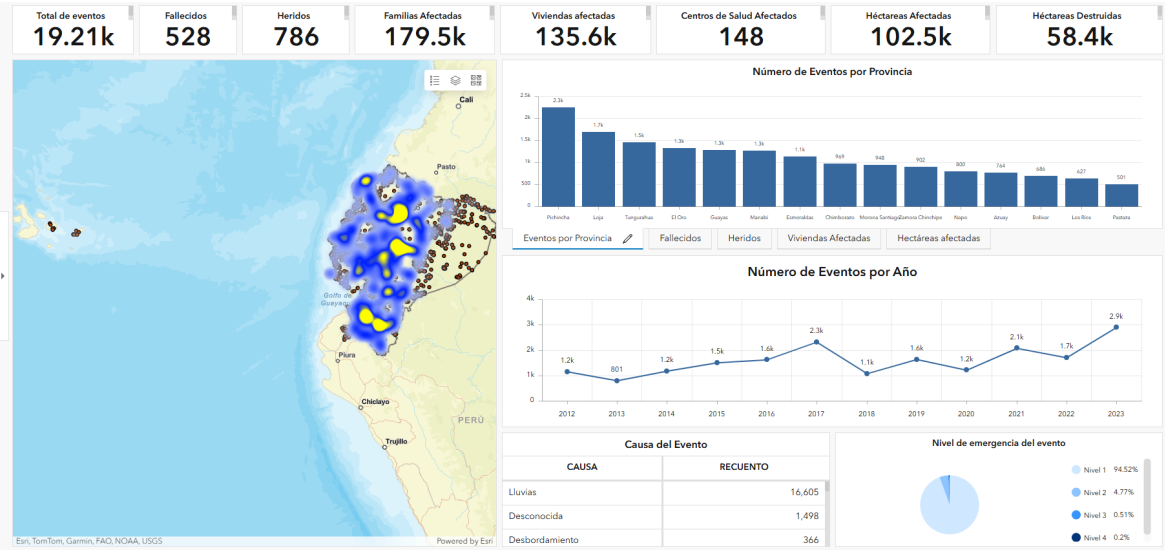
Cuadro 10 – Total de socavones ocurridos a nivel nacional durante 2012 y 2023 que dejaron cultivos con alguna afectación.

Afectación	Eventos con alguna afectación	Ha. Cultivos afectados
Cultivos afectados	5	122.01
Cultivos destruidos	8	93.40

3.4 Visualizador interactivo usando ArcGIS

En esta sección se presenta la arquitectura del tablero interactivo elaborado en ArcGIS que integra datos de inundaciones, socavones y deslizamientos en Ecuador. La plataforma ofrece una visión unificada y actualizable de los eventos y permite filtrar por mes, año, provincia y tipo de evento para explorar patrones temporales, identificar picos estacionales, comparar tendencias interanuales y localizar focos territoriales (hotspots) en tiempo real. Sus gráficos dinámicos y mapas temáticos apoyan a los equipos cantonales y provinciales de gestión del riesgo en la asignación de recursos, el seguimiento de indicadores (personas afectadas, viviendas, puentes, hectáreas) y la comunicación con tomadores de decisiones y ciudadanía, aportando transparencia y trazabilidad a todo el proceso.

Figura 39 – Visualizador interactivo construido en ArcGIS.



La Figura 39 muestra la interfaz final del tablero en ArcGIS. El panel integra: (i) un mapa de eventos georreferenciados (símbolo puntual), donde cada punto indica

la localización del evento y despliega pop-ups con sus atributos; (ii) series de tiempo que representan el conteo anual de eventos; (iii) diagramas de barras desagregados por provincia para las métricas clave (número de eventos, fallecidos, heridos, viviendas afectadas y hectáreas agrícolas afectadas); (iv) una tabla de atributos con la posible causa del evento; y (v) un gráfico circular con la proporción por nivel de emergencia. Complementariamente, se incorporan tarjetas KPI que sintetizan, para la selección espacio-temporal activa, los totales de eventos, personas fallecidas y heridas, familias y viviendas afectadas, centros de salud afectados, así como hectáreas de cultivo afectadas y destruidas. Todos los elementos están enlazados mediante filtros por mes, año, provincia, cantón y parroquia (cross-filtering), lo que habilita exploración interactiva, comparación entre territorios y trazabilidad analítica.

4 Índice de riesgo por inundaciones

En este capítulo se presentan los resultados del índice basado en el riesgo por inundaciones definido en la Sección 2.2.6.1. A diferencia de un simple conteo de recurrencia, el índice integra explícitamente las tres dimensiones del riesgo: peligro, exposición y vulnerabilidad (Reyes-Olvera & Gutiérrez-González, 2016). El peligro resume la probabilidad e intensidad de las inundaciones (por ejemplo, máximos de precipitación, recurrencia histórica, nivel/velocidad del agua); la exposición cuantifica “lo que está en juego” en las zonas inundables (personas, viviendas y valor de activos); y la vulnerabilidad refleja la susceptibilidad al daño y la capacidad de respuesta/recuperación (calidad constructiva, servicios básicos e ingresos). Al combinar estas dimensiones, el índice produce una medida comparable y accionable que permite distinguir territorios con alta frecuencia pero baja exposición de otros con baja frecuencia pero elevada vulnerabilidad y exposición, priorizando con mayor precisión la inversión preventiva, la protección social y el refuerzo de infraestructura.

4.1 Construcción del índice de riesgo

El primer paso fue la construcción de los subíndices. El subíndice de peligro resume la severidad de las inundaciones; el de exposición representa el valor/costo de los bienes y personas expuestos; y el de vulnerabilidad evalúa las condiciones socioeconómicas y físicas que limitan la capacidad de respuesta y recuperación ante el evento. Los factores que componen cada subíndice se integraron mediante Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre variables estandarizadas, obteniendo combinaciones lineales que maximizan la varianza explicada y coeficientes (pesos) óptimos que sintetizan de forma eficiente la realidad de cada cantón.

Con los tres subíndices estimados, se procedió a su escalamiento min-max al intervalo $[0, 1]$ y al cálculo del Índice de Riesgo de Inundación mediante agregación multiplicativa:

$$R_i = P_i \times E_i \times V_i,$$

donde P_i , E_i y V_i son, respectivamente, los valores normalizados de peligro, exposición y vulnerabilidad para el cantón i . Esta formulación es no compensatoria: el riesgo solo es alto cuando las tres dimensiones alcanzan niveles elevados. El resultado es un valor continuo entre 0 y 1 por cantón. Para facilitar la interpretación, se clasificó el índice de riesgo en tres niveles según los terciles de los valores: Bajo (primer tercil), Medio

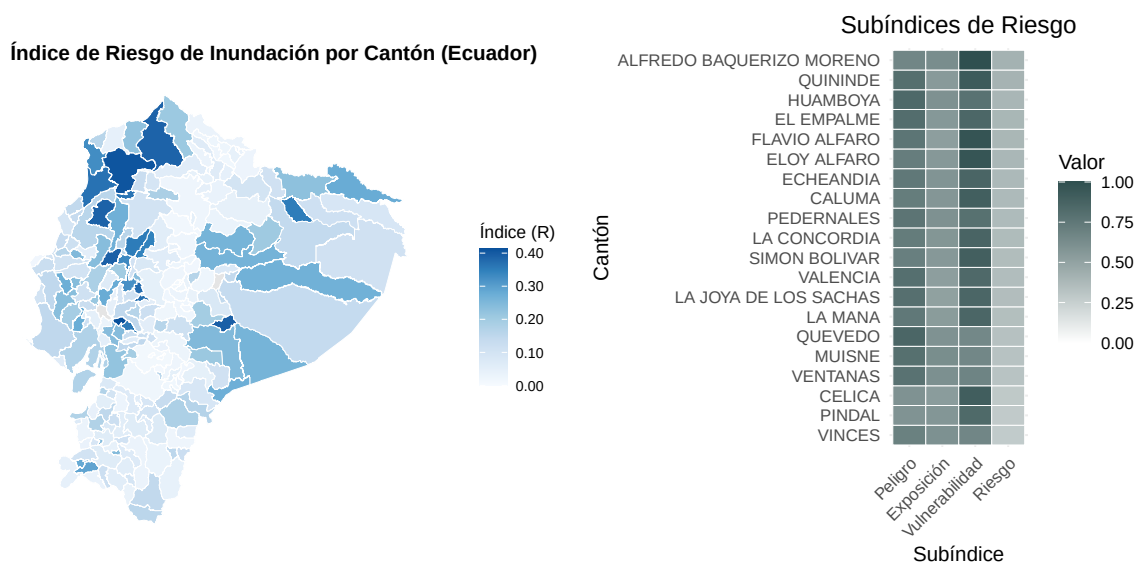
(segundo tercil) y Alto (tercer tercil). Esta clasificación permite identificar visualmente los cantones que requieren mayor prioridad de intervención. La categorización en rangos de valores, como terciles o deciles, es una práctica aceptada en la construcción de índices de riesgo y vulnerabilidad (Birkmann, 2007).

En trabajos futuros, se puede mejorar el índice de riesgo de inundación incorporando otras variables como la calidad de la infraestructura, los materiales de las viviendas y la capacidad institucional de respuesta, lo que permitiría un análisis aún más detallado y preciso del riesgo de inundación.

4.2 Resultados del índice de riesgo

Los resultados del índice de riesgo de inundación se visualizan mediante un mapa coroplético en la Figura 40, donde los tonos de azul más intensos señalan cantones con mayor riesgo. El patrón espacial se concentra en la franja norte de la Costa: en Esmeraldas sobresalen Quinindé, Eloy Alfaro y Muisne; en Manabí, Pedernales, Flavio Alfaro y El Carmen; y en Los Ríos, Valencia, Ventanas, Vines y Quevedo. En Guayas, el valor más alto del país corresponde a Alfredo Baquerizo Moreno (Juján), y El Empalme también registra niveles elevados. En la Sierra destacan Echeandía y Caluma (Bolívar) y La Maná (Cotopaxi), además de Celica y Pindal (Loja). En la Amazonía, entre los veinte cantones con mayor índice, figuran Huamboya (Morona Santiago) y La Joya de los Sachas (Orellana).

Figura 40 – Mapa coroplético (izquierda) y mapa de calor (derecha) del Índice de Riesgo de Inundación ($R = P \times E \times V$) a nivel cantonal, Ecuador - 2022.



En el gráfico del panel derecho de la Figura 40, se presentan los resultados

obtenidos en los tres subíndices, peligro, exposición y vulnerabilidad junto al índice de riesgo, a través de un mapa de calor (heatmap). En la Costa norte se observan perfiles peligro-exposición: Quinindé, Pedernales, Flavio Alfaro, Eloy Alfaro, Muisne, Quevedo, Ventanas y Vinces muestran celdas relativamente oscuras en peligro (recurrencia de inundaciones/lluvias) y exposición (viviendas y activos), lo que se traduce en un riesgo elevado en la última columna. En Los Ríos, Valencia y Quevedo combinan bien ambos factores; en Manabí y Esmeraldas (Pedernales, Muisne, Quinindé) el patrón es similar aunque con matices de vulnerabilidad.

Un segundo grupo está dominado por la vulnerabilidad: Alfredo Baquerizo Moreno (Juján), Echeandía, Caluma y Simón Bolívar exhiben celdas más oscuras en vulnerabilidad y valores moderados en peligro y exposición; por la agregación multiplicativa, el riesgo resultante es medio-alto, no extremo, porque un componente alto no compensa otros bajos. Finalmente, en la Amazonía (Huamboya, La Joya de los Sachas) el peligro puede ser medio, pero la exposición es menor que en la Costa, de modo que el riesgo queda en rangos medios.

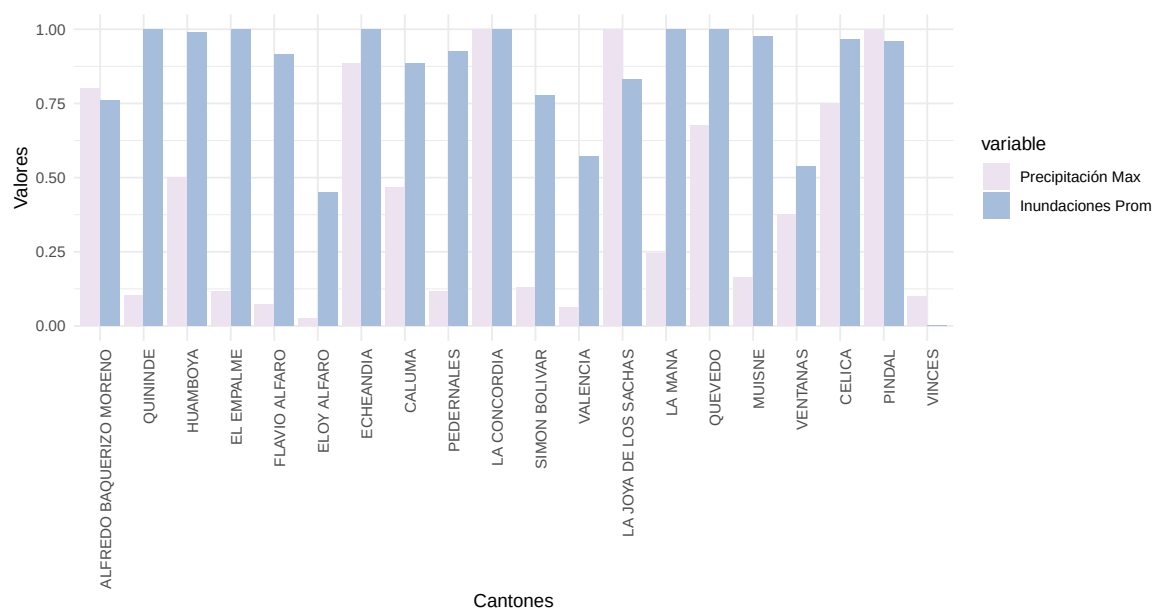
Metodológicamente, recuerde que el índice está normalizado en $[0, 1]$ y agregado de modo no compensatorio ($R = P \times E \times V$); por ello, los tonos más oscuros señalan territorios donde coinciden peligro, exposición y vulnerabilidad, no solo donde hay más recurrencia histórica.

4.2.1 Subíndice de peligro

En la Figura 41 se muestran los valores normalizados de las variables que integran el subíndice de peligro (p. ej., recurrencia histórica de inundaciones y máximos de precipitación) para los cantones mejor posicionados en este componente. El gráfico confirma que el orden del riesgo total no coincide necesariamente con el del peligro: hay cantones con riesgo alto cuyo peligro es medio, porque el valor final está impulsado por exposición o vulnerabilidad.

Asimismo, la relación entre precipitación e inundación no es lineal. Un mayor acumulado de lluvia no siempre se traduce en más eventos, mientras que precipitaciones moderadas pueden desencadenar inundaciones cuando existen factores locales (planicies aluviales, ocupación de márgenes, drenaje deficiente, suelos saturados). Este patrón se observa en Quinindé, El Empalme y Flavio Alfaro, que presentan precipitación relativamente menor pero alta recurrencia de inundaciones, elevando su componente de peligro pese a no registrar los máximos pluviométricos.

Figura 41 – Resultados normalizados de las variables que componen el subíndice de peligro.



4.2.2 Subíndice de exposición

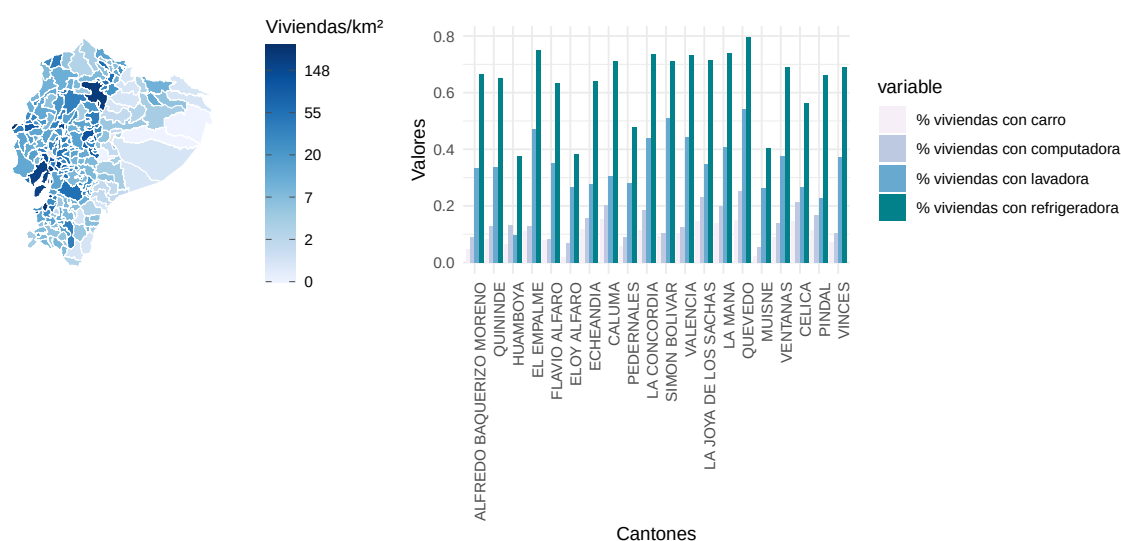
Para el subíndice de exposición se consideraron los costos de los bienes expuestos, identificando tanto estructuras como bienes de mayor valor, entre los cuales se consideran carros, computadoras, refrigeradoras y lavadoras. La Figura 42 muestra, para los cantones con mayores valores de este subíndice, la proporción de hogares que poseen bienes muebles usados como proxy de exposición: automóvil, computadora, lavadora y refrigeradora. El patrón es consistente: la refrigeradora presenta las mayores coberturas (0.6-0.8), seguida por la lavadora (0.5-0.7); en cambio, computadora (0.15-0.30) y automóvil (0.05-0.20) son menos frecuentes. En términos del subíndice, esto implica que la exposición patrimonial está dominada por electrodomésticos esenciales, más que por vehículos o TIC, de modo que una inundación promedio tiene alto potencial de pérdida directa en enseres.

Se observan valores relativamente altos en varios cantones costeros (como Quinindé, El Empalme, Flavio Alfaro, La Concordia, Quevedo, Ventanas, Vines), lo que eleva su componente de exposición; en contraste, cantones como La Joya de los Sachas, Celica o Pindal tienden a mostrar proporciones algo menores, especialmente en automóvil y computadora, reduciendo su exposición relativa. Al combinarse estas proporciones con densidad de vivienda en el subíndice, los cantones densos con alta tenencia de electrodomésticos aportan más al riesgo total. Operativamente, esto sugiere priorizar medidas de protección de bienes en los cantones donde la exposición por enseres es mayor.

Adicionalmente, el mapa de viviendas ocupadas por km^2 evidencia una clara gradiente territorial: las mayores densidades se concentran en la Costa y en los valles interandinos (planicies aluviales de Guayas, Los Ríos, franjas urbanas de Pichincha y Azuay), mientras que la Amazonía (Sucumbíos, Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe) muestra valores bajos. Esto no implica ausencia de asentamientos, sino que, por su gran extensión territorial y baja densidad poblacional, los cantones amazónicos presentan menos viviendas por unidad de área.

Figura 42 – Resultados normalizados de las variables que conforman el subíndice de exposición.

Viviendas ocupadas por km^2 por cantón (Ecuador) & Porcentaje de viviendas con bienes



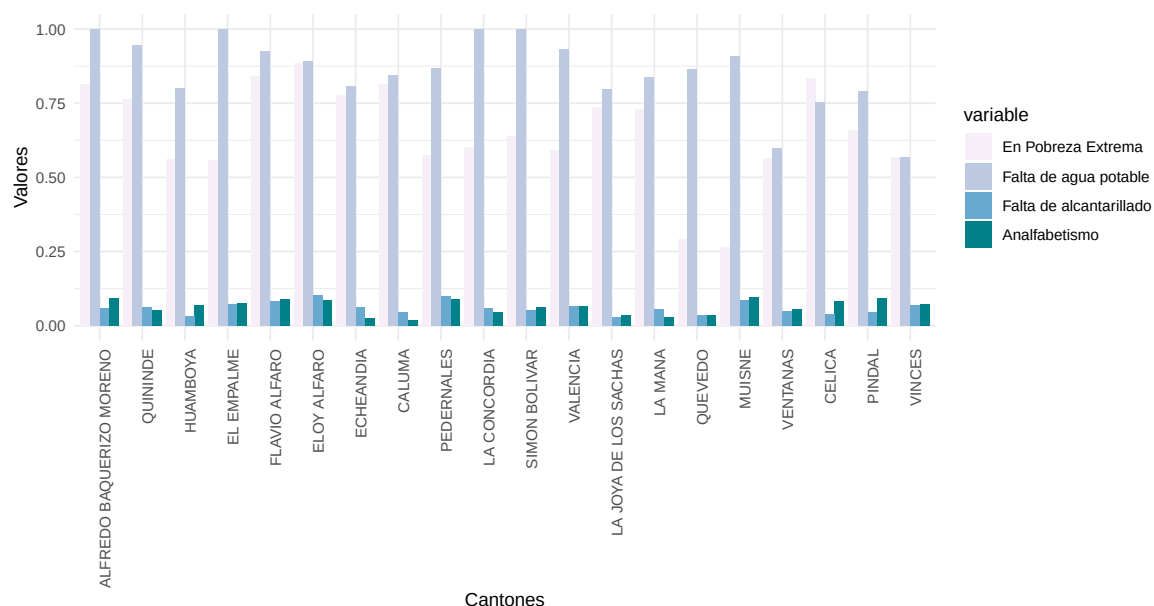
4.2.3 Subíndice de vulnerabilidad social

En la Figura 43 se muestran los valores normalizados $[0, 1]$ de los indicadores que conforman el subíndice de vulnerabilidad social por cantón: proporción de personas en pobreza extrema, proporción de hogares sin agua potable y sin alcantarillado, y proporción de población analfabeta. Este subíndice busca capturar la susceptibilidad de la población ante una inundación: las carencias de saneamiento básico (agua/alcantarillado) suelen agravar los impactos al dificultar el drenaje, la protección de viviendas y la higiene post-evento; la pobreza extrema reduce la capacidad de preparación, mitigación y recuperación; y el analfabetismo puede limitar la comprensión de alertas y la adopción oportuna de medidas de autoprotección.

El patrón observado revela que los déficits en agua potable junto con la pobreza extrema, son los principales impulsores de la vulnerabilidad en la mayoría de cantones; en contraste, el analfabetismo presenta valores más bajos y homogéneos, por

lo que su contribución relativa al subíndice es menor. Esta lectura orienta intervenciones prioritarias en saneamiento básico y protección social, que son las palancas con mayor potencial para reducir la vulnerabilidad y, por ende, el riesgo de inundación.

Figura 43 – Resultados normalizados de las variables que confirman el subíndice de vulnerabilidad.



5 Conclusiones y Recomendaciones

En este estudio se integran y depuran los registros nacionales de inundaciones, deslizamientos y socavones ocurridos en Ecuador entre 2012 y 2023; se presenta un tablero interactivo en **ArcGIS** con filtros espacio-temporales y se construye un Índice de Riesgo por Inundación (IRI) a escala cantonal. El IRI combina tres subíndices: peligro (recurrencia e intensidad), exposición (personas, viviendas y activos) y vulnerabilidad (pobreza, acceso a agua y alcantarillado, analfabetismo), estimados mediante Análisis de Componentes Principales (ACP) y agregados de forma multiplicativa. Además, se emplean mapas radiales y mapas coropléticos para comparar perfiles de afectación y priorizar territorios.

5.1 Conclusiones

A partir del análisis exploratorio y de la aplicación del índice de riesgo, se identifican las provincias y cantones con mayores afectaciones por inundaciones, deslizamientos y socavones en el periodo 2012-2023. Las principales conclusiones son:

- A nivel nacional, los años 2021 y 2023 concentraron la mayor cantidad de inundaciones, con 690 y 1457 registros, respectivamente. La mayoría de estos eventos se presentó entre febrero y mayo, en concordancia con la temporada lluviosa de la región Costa, siendo Guayas, Manabí y Esmeraldas las provincias con mayor recurrencia absoluta. Sin embargo, al estandarizar el recuento por superficie, número de inundaciones históricas por cada 1000 km^2 , emergen como prioritarias provincias como Los Ríos, El Oro y Tungurahua, que han presentado las mayores densidades históricas de ocurrencia.
- En la provincia del Guayas, el cantón Guayaquil ha sido históricamente el que registra mayor número de inundaciones con 245, seguido por Salitre (72) y Durán (68). En Manabí, segunda provincia con mayor número de casos (825 registros), los cantones más con mayor recurrencia de este evento fueron Portoviejo (168), Chone (141) y Manta (59).
- En el caso de las inundaciones, las lluvias se identifican como la causa más frecuente, seguidas por eventos relacionados como deslizamientos y desbordamientos de cuerpos hídricos. Para los deslizamientos, las precipitaciones también representan el principal factor desencadenante, con una proporción destacada de 0.861,

seguidas por causas no identificadas. Esta misma tendencia se observa en los socavones, donde las lluvias y las causas desconocidas figuran entre los motivos más reportados. Estos hallazgos resaltan la necesidad de priorizar estrategias de gestión del riesgo centradas en el monitoreo hidrometeorológico, así como en la mejora de los sistemas de drenaje urbano, con el fin de reducir la ocurrencia y el impacto de estos fenómenos en las zonas más vulnerables del país.

- En cuanto a las afectaciones ocasionadas por las inundaciones registradas en Ecuador entre 2012 y 2023, se evidencian patrones diferenciados según la región natural del país. En las provincias de la región Costa, los principales impactos se concentran en la afectación a personas, daños a viviendas y pérdidas en hectáreas de cultivos. En contraste, en la región Sierra las inundaciones han provocado principalmente daños a la infraestructura pública, destacándose los bienes públicos y los puentes de la red vial como los más afectados. Particular atención merece la provincia de Pichincha, que registra los mayores promedios de personas fallecidas y heridas por evento. Por su parte, en la región Amazónica se reportan mayores impactos sobre personas y puentes, siendo Sucumbíos la provincia con el promedio más alto de hectáreas de cultivos perdidas por evento. Estos resultados reflejan la necesidad de diseñar estrategias diferenciadas de gestión del riesgo, considerando las características geográficas y socioeconómicas de cada región.
- En relación con las afectaciones ocasionadas por los deslizamientos, se observa que en las provincias de la región Costa predominan los daños en bienes públicos, instituciones educativas y puentes, con mayor incidencia en El Oro y Manabí. Esta última también destaca por registrar los promedios más altos de hectáreas de cultivos afectadas por evento. En la región Sierra, las afectaciones se concentran principalmente en instituciones educativas, puentes y áreas de cultivo. La provincia de Chimborazo presenta los mayores promedios de personas fallecidas, evacuadas y damnificadas por evento, lo que la posiciona como una de las más vulnerables ante este tipo de fenómenos. Por su parte, en la región Amazónica, la mayoría de las provincias reportan afectaciones significativas en personas, viviendas y puentes, lo que evidencia una alta exposición de las poblaciones y su infraestructura básica ante eventos de deslizamiento.
- El índice de riesgo de inundaciones evidencia que los cantones con mayor vulnerabilidad se concentran principalmente en la región Costa, destacando especialmente los ubicados en las provincias de Esmeraldas, Manabí y Los Ríos. Estas zonas no solo registran una alta frecuencia de eventos de inundación, sino que también enfrentan condiciones socioeconómicas desfavorables, como el limitado acceso a servicios básicos y elevados niveles de pobreza. Esta combinación de factores

físicos y sociales incrementa significativamente la exposición y vulnerabilidad de sus poblaciones frente a este tipo de amenazas.

5.2 Recomendaciones

Una vez culminado el estudio, se recomiendan las siguientes acciones prioritarias y se delinear las líneas de investigación futura:

- Se recomienda adoptar una estrategia nacional de gestión del riesgo por inundaciones diferenciada por región natural, priorizando en la Costa la protección de personas, viviendas y cultivos; en la Sierra, el fortalecimiento de la infraestructura pública y la red vial; y en la Amazonía, la seguridad de la población y la continuidad de los puentes. La focalización territorial deberá atender con prioridad a los cantones de mayor severidad histórica, considerando especialmente a Pichincha (mortalidad y lesiones) y Sucumbíos (pérdidas agroproductivas), e incorporar criterios socioeconómicos para la asignación de recursos.
- Para futuras actualizaciones, se recomienda complementar el índice de riesgo de inundaciones con información sobre la calidad de la infraestructura, los materiales y el estado de las viviendas, así como la capacidad institucional de respuesta, a fin de lograr un análisis más detallado y preciso del riesgo de inundación.
- Desarrollar un índice homólogo para socavones y deslizamientos. Hasta ahora el índice se ha construido únicamente para inundaciones; contar con un indicador comparable permitirá identificar y priorizar los cantones con mayor vulnerabilidad frente a estas dos amenazas.

Bibliografía

- Ammirati, L., Mondillo, N., Rodas, R. A., Sellers, C. & Di Martire, D. (2020). Monitoring land surface deformation associated with gold artisanal mining in the Zaruma city (Ecuador). *Remote Sensing*, **12**(13), 2135. Citado 2 veces en las páginas 20 y 21.
- Azuero, E. S. U., Montealegre, V. J. G., Campoverde, J. M. Q. & Unda, S. B. (2021). Análisis del comportamiento económico de la exportación en el sector camaronero en el Ecuador, periodo 2015-2019. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, **4**(1), 112–119. Citado en la página 19.
- Birkmann, J. (2007). Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environmental Hazards*, **7**(1), 20–31. Citado en la página 78.
- Bucogen, G. G. B., Bohn, V. Y. & Piccolo, M. C. (2024). Analysis of flood risk in the lower hydrographic basin of the Río Negro (Argentina). *Geographical Research Letters*, **50**(2), 93 – 113. Cited by: 0; All Open Access, Gold Open Access. Citado en la página 20.
- Burgos Choez, B. D., Cartaya Ríos, S. J. & Mero del Valle, D. J. (2019). Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador. *Investigaciones geográficas*, **98**. Citado en la página 19.
- Carrión-Mero, P., Solórzano, J., Morante-Carballo, F., Chávez, M. , Montalván-Burbano, N. & Briones-Bitar, J. (2022). Technical closure of the Humberto Molina Astudillo Hospital and its implications for sustainability, Zaruma-Ecuador. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, **17**(2), 363–373. Citado en la página 20.
- Chambers, J. M. (2018). *Graphical methods for data analysis*. Chapman and Hall/CRC. Citado en la página 29.
- Ecuador en Vivo (2025). Van 18.685 damnificados y más de 115.000 afectados por lluvias en Ecuador. Consultado el 5 de junio de 2025. Citado en la página 16.
- Espinoza, J. (1996). El niño y sus implicaciones sobre el medio ambiente. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, **8**(1), 115–134. Citado en la página 18.

- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A. *et al.* (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, **2**(1), 1–21. Citado en la página 32.
- Hermosilla, R. G. (2011). The Guatemala city sinkhole collapses. *Carbonates and Evaporites*, **27**(2), 103–107. Citado en la página 21.
- Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H. & Ramírez, A. I. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y ciencias del agua*, **8**(3), 5–25. Citado en la página 20.
- Jolliffe, I. (2011). Principal component analysis. In *International encyclopedia of statistical science*, pages 1094–1096. Springer. Citado en la página 31.
- Khan, S., Kirschbaum, D. B., Stanley, T. A., Amatya, P. M. & Emberson, R. A. (2022). Global landslide forecasting system for hazard assessment and situational awareness. *Frontiers in Earth Science*, **10**, 878996. Citado 2 veces en las páginas 19 y 20.
- Kim, Y. & Nam, B. H. (2018). A comparative study of karst sinkhole hazard mapping using frequency ratio and artificial neural network for East Central Florida. In *Sinkhole Conference 2018: Advances in Karst Science*, pages 1–15. Citado en la página 21.
- Macías, L., Quiñonez-Macías, M., Toulkeridis, T. & Pastor, J. L. (2024). Characterization and geophysical evaluation of the recent 2023 Alausí landslide in the Northern Andes of Ecuador. *Landslides*, **21**, 529–540. Citado 2 veces en las páginas 19 y 21.
- Mena Benavides, M., Scheffczyk, K., Urrutia, M., Huerta, B. & Walz, Y. (2021). Evaluación del riesgo de inundación en Ecuador. *United Nations University-Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS)*. Citado en la página 30.
- Mendívez, W., García, R. & Sáenz, D. (2014). La pesca industrial y artesanal de camarón en Ecuador. *Quito: Instituto Nacional de Pesca*. Citado en la página 19.
- Oak Ridge National Laboratory (2024). A waterfall lost and a river found: mapping the erosión regresiva del Río Coca. Consultado el 10 de junio de 2025. Citado 3 veces en las páginas 20, 21 y 22.
- Parrales, Y. R., Roldan, M. P., Ríos, R. P. & Alvarado, D. D. (2020). Determinación de los factores que influyen en la inundación de las zonas agrícolas. *Journal of Science and Research*, **5**(CININGEC), 345–362. Citado en la página 19.

- Pilatasig, L., Torrijo, F. J., Ibadango, E., Troncoso, L., Alonso-Pandavenes, O., Mateus, A., Solano, S., Viteri, F. & Alulema, R. (2025). Casual-nuevo Alausí landslide (Ecuador, March 2023): A case study on the influence of the anthropogenic factors. *GeoHazards*, **6**(2), 28. Citado 2 veces en las páginas 19 y 21.
- Reyes-Olvera, A. L. & Gutiérrez-González, E. (2016). Modelación del riesgo de inundaciones en el estado de Tabasco en el periodo 1961-2007. *Tecnología y ciencias del agua*, **7**(2), 99–114. Citado 3 veces en las páginas 31, 32 y 77.
- Ríos, P. V., De La Torre, M. G., Montesinos, S. L. & Abad, A. R. (2021). Análisis de los factores incidentes de un remanso en el río Guayas empleando mediciones de campo y su posible efecto en las inundaciones de la ciudad de Guayaquil. *Revista Acta Oceanográfica del Pacífico*, **3**(2). Citado en la página 21.
- SENAMHI (2018). Informe técnico: Impacto del fenómeno El Niño costero en Perú. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Citado en la página 15.
- Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C. & Howard, H. H. (2022). *Thematic cartography and geovisualization*. CRC Press. Citado en la página 29.
- Taylor, M. A. & Enfield, D. B. (2019). El Niño and its impacts in South America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **100**(7), 1237–1252. Citado en la página 16.
- Vincenti, S. S., Puetate, A. R., Acevedo, R. L., Borbor-Córdova, M. J. & Stewart-Ibarra, A. M. (2016). Análisis de inundaciones costeras por precipitaciones intensas, cambio climático y fenómeno de El Niño. caso de estudio: Machala. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, **24**(2), 53–68. Citado en la página 21.