

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
ESCUELA DE FÍSICA



Trabajo de Graduación

“Evaluación de indicadores de exposición utilizados en la determinación de la severidad de impactos potenciales ante la ocurrencia de amenazas naturales en el Área Metropolitana de San Salvador”

Presentado por:

Josabeth Nohely Mata Vásquez

Para optar al grado de:

Licenciada en Geofísica

Docentes asesores:

M.Sc. Jacqueline Yamileth Rivera Ayala

M.Sc. Cesar Alvarado Batres

Ciudad Universitaria, noviembre de 2022, El Salvador

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR:

M.Sc. Roger Armando Arias Alvarado

VICERRECTOR ACADÉMICO:

Dr. Raúl Ernesto Azcunaga Lopez

SECRETARIO GENERAL:

Lic. Francisco Alarcón Sandoval

FISCAL GENERAL:

Lic. Rafael Humberto Peña Martín

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

DECANO:

M.Sc. Mauricio Hernán Lovo

VICEDECANO:

M.Sc. Zoila Virginia Guerrero

DIRECTOR INTERINO DE LA ESCUELA DE FÍSICA:

Lic. Guillermo Napoleón Morán

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
AGRADECIMIENTOS.....	X
RESUMEN.....	XI
1. Generalidades	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Antecedentes	3
2. Marco teórico	8
2.1. Amenaza.....	8
2.1.1. Amenaza natural	9
2.1.2. Tipos de amenazas naturales	9
2.1.2.1. Amenaza geológica	9
2.1.2.2. Amenaza hidrometeorológica.....	11
2.1.3. Impactos de las amenazas naturales	11
2.2. Exposición	13
2.2.1. Grado de exposición.....	14
2.2.2. Elementos en exposición	14
2.2.3. Tipos de exposición.....	15
2.2.3.1. Exposición física	15
2.2.3.2. Exposición humana.....	16
2.3. Vulnerabilidad	17
2.4. Riesgo	19
2.4.1. Identificación y evaluación del riesgo.....	20
2.5. Pronóstico.....	21
2.5.1. Enfoques de pronóstico	23
2.5.1.1. Pronóstico por amenaza	23

2.5.1.2. Pronóstico basado en impactos (IBF, Impact-based forecasting).....	24
3. Zona de estudio.....	29
4. Metodología	31
4.1. Trabajo de gabinete	31
4.1.1. Recolección de datos	31
4.1.2. Limitaciones.....	33
4.2. Procesamiento de datos.....	33
4.3. Metodología de aplicación del modelo.....	57
5. Análisis y aplicación del modelo de exposición	59
5.1. Aplicación del modelo de exposición.....	59
5.1.1. Caso 1. Depresión Tropical 17-E	59
5.1.2. Caso 2. Tormentas Tropicales Amanda y Cristobal.	65
5.1.3. Caso 3. Tormenta Tropical ETA.....	83
6. Conclusiones y recomendaciones	89
7. Referencias bibliográficas	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Impactos y métricas del riesgo de desastres. Fuente: Yamin et al., 2013.	12
Figura 2. Elementos en exposición. Fuente: Rivera, 2020.	13
Figura 3. Componentes de la vulnerabilidad. Fuente: Fritzsche et al., 2017.	18
Figura 4. El riesgo de impactos derivado de la interacción de la vulnerabilidad, peligro y exposición. Fuente: IPCC, 2014.	19
Figura 5. Elementos de los modelos probabilistas del riesgo. Fuente: Yamin et al., 2013.	21
Figura 6. Esquema resumen de la metodología para la generación de pronósticos por impacto. Fuente: Rivera, 2020.	25
Figura 7. Matriz de impactos. Fuente: MARN, 2019.	25
Figura 8. Ubicación del Área Metropolitana de San Salvador.	30
Figura 9. Esquema del modelo de exposición y vulnerabilidad propuesto. Fuente: Rivera, 2020.	34
Figura 10. Distribución del indicador de área urbana en los municipios del AMSS, según km ²	37
Figura 11. Distribución del indicador de área rural en los municipios del AMSS, según km ²	38
Figura 12. Distribución del indicador de área mixta en los municipios del AMSS, según km ²	39
Figura 13. Distribución del indicador de uso habitacional en los municipios del AMSS, según km ²	40
Figura 14. Distribución del indicador de uso educativo en los municipios del AMSS, según km ²	41
Figura 15. Distribución del indicador de centros educativos públicos en los municipios del AMSS, según centros educativos / km ²	41
Figura 16. Distribución del indicador de centros educativos privados en los municipios del AMSS, según centros educativos / km ²	42
Figura 17. Distribución del indicador de uso sanitario en los municipios del AMSS, según km ²	43
Figura 18. Distribución del indicador de uso comercial en los municipios del AMSS, según km ²	44
Figura 19. Distribución del indicador de uso industrial en los municipios del AMSS, según km ²	45
Figura 20. Distribución del indicador de zonas agropecuarias en los municipios del AMSS, según km ²	46
Figura 21. Distribución del indicador de red vial en los municipios del AMSS, según km.	47
Figura 22. Distribución del indicador de zonas urbanas precarias en los municipios del AMSS, según km ²	48
Figura 23. Distribución del indicador de densidad de zonas urbanas precarias en los municipios del AMSS, según hab./km ²	48
Figura 24. Distribución del indicador de áreas de entretenimiento en los municipios del AMSS, según km ²	49
Figura 25. Distribución del indicador de densidad poblacional en los municipios del AMSS, según km ²	50
Figura 26. Distribución del indicador de tasa de analfabetismo en los municipios del AMSS.	51

Figura 27. Distribución del indicador de población económicamente en los municipios del AMSS, según hab./km ²	52
Figura 28. Distribución del indicador de capacidades especiales en los municipios del AMSS, según hab./km ²	53
Figura 29. Modelo de exposición del Área Metropolitana de San Salvador, según porcentaje.	54
Figura 30. Mapas de distribución espacial de lluvia acumulada: a) Mapa de distribución de lluvia acumulada, del día 14 al 15 de octubre del 2019 y b) Mapa de distribución de lluvia acumulada, del 12 al 17 de octubre del 2019. Fuente: MARN, 2019.	60
Figura 31. Mapas del nivel y probabilidad de amenaza por deslizamientos, para el día 19 de octubre del 2019, a nivel nacional. Fuente: MARN, 2019.....	61
Figura 32. Análisis de amenaza por deslizamiento para el municipio de Santa Tecla, para el día 19 de octubre de 2019. Fuente: MARN, 2019.....	61
Figura 33. Clasificación del grado de severidad del impacto para el municipio de San Salvador.	63
Figura 34. Matriz de impacto: impacto severo con probabilidad media de ocurrencia, para el municipio de San Salvador.	63
Figura 35. Registro de impactos por deslizamientos, el día 14 de octubre de 2019, en el municipio de Santa Tecla.....	64
Figura 36. Mapas de distribución espacial de lluvia acumulada: a) Mapa de distribución de lluvia acumulada, del día 31 de mayo al 01 de junio del 2020 y b) Mapa de distribución de lluvia acumulada, del 29 de mayo al 07 de junio del 2020. Fuente: MARN, 2020.	65
Figura 37. Salida del modelo Global Forecast System (GFS) para el día sábado 30 y 31 de mayo del 2020, utilizando la variable de viento en 850 hpa. Fuente: MARN, 2021.	66
Figura 38. Ráfagas máximas y viento promedio registrado por las estaciones telemétricas del MARN, para el evento Amanda y Cristobal. Fuente: MARN, 2021.	66
Figura 39. Clasificación del grado de severidad del impacto para el municipio de San Salvador.	67
Figura 40. Matriz de impacto: impacto severo con probabilidad alta de ocurrencia, para el municipio de San Salvador.....	69
Figura 41. Registro de impactos por caída de árboles, el día 30 y 31 de mayo de 2020, en el municipio de San Salvador.....	70
Figura 42. Clasificación del grado de severidad del impacto para el municipio de Ilopango.	72
Figura 43. Matriz de impacto: impacto severo con probabilidad alta de ocurrencia, para el municipio de Ilopango.....	72
Figura 44. Registro de impactos por caída de árboles, el día 30 y 31 de mayo de 2020, en el municipio de Ilopango.....	73
Figura 45. Zonas de pronóstico cuantitativo de precipitación a nivel nacional. Fuente: MARN, 2019...75	75
Figura 46. Pronóstico cuantitativo de precipitación por zonas, a nivel nacional, para el día 31 de mayo del 2020. Fuente: CPM, 2020.	75
Figura 47. Clasificación del grado de severidad del impacto para el municipio de San Salvador.	77

Figura 48. Matriz de impacto: impacto severo con probabilidad muy alta de ocurrencia, para el municipio de San Salvador.....	77
Figura 49. Mapa de distribución espacial de lluvia acumulada en el período de 7:00 a.m. del 31 de mayo a 7:00 a.m. del 01 de junio de 2020. Fuente: MARN, 2020.....	77
Figura 50. Registro de impactos por inundaciones y desbordamientos de río, el día 31 de mayo de 2020, en el municipio de San Salvador.	78
Figura 51. Mapas del nivel y probabilidad de amenaza por deslizamientos, a nivel nacional, para el día 31 de mayo del 2020. Fuente: MARN, 2020.....	79
Figura 52. Análisis de amenaza para el municipio de San Salvador, correspondiente al día 30 de mayo del 2020. Fuente: MARN, 2020.	79
Figura 53. Clasificación del grado de severidad del impacto para el municipio de San Salvador.	81
Figura 54. Matriz de impacto: impacto severo con probabilidad media de ocurrencia, para el municipio de San Salvador.	81
Figura 55. Registro de impactos por deslizamientos, el día 31 de mayo de 2020, en el municipio de San Salvador.....	82
Figura 56. Severidad del impacto registrado versus severidad del impacto pronosticado mediante el uso del modelo de exposición, en el municipio de San Salvador.	83
Figura 57. Salida del modelo Global Forecast System (GFS) para el día 03 y 04 de noviembre del 2020, utilizando la variable de viento en 850 hpa.	84
Figura 58. Ráfagas máximas y viento promedio registrado por las estaciones del MARN.	84
Figura 59. Clasificación del grado de severidad del impacto para el municipio de San Salvador.	85
Figura 60. Matriz de impacto: impacto severo con probabilidad alta de ocurrencia, para el municipio de San Salvador.....	85
Figura 61. Registro de impactos por caída de árboles, el día 31 de mayo de 2020, en el municipio de San Salvador.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación del impacto de desastres según CEPAL y CRED.....	3
Tabla 2. El Salvador: Estadística de eventos evaluados por CEPAL, 1982-2005.	4
Tabla 3. Datos de exposición y sus características.	15
Tabla 4. Componentes típicos, indicadores e identificadores, utilizados para la asignación de información de exposición física. Fuente: Yamin et al., 2013.	16
Tabla 5. Indicadores utilizados para la determinación de la exposición humana, mediante la ocupación de edificaciones. Fuente: Yamin et al., 2013.....	17
Tabla 6. Terminología de acuerdo a rangos de probabilidad. Fuente: MARN, 2019.	27
Tabla 7. Palabras clave a emplear en los informes de impacto. Fuente: MARN, 2019.....	27
Tabla 8. Indicadores de exposición calculados, mediante modelo propuesto.	32
Tabla 9. Información utilizada para la aplicación del modelo de exposición.	32
Tabla 10. Indicadores de exposición no calculados debido a falta de información a detalle.	33
Tabla 11. Indicadores de exposición del Área Metropolitana de San Salvador, según unidad de medida.....	55
Tabla 12. Indicadores de exposición del Área Metropolitana de San Salvador, según porcentaje.....	55
Tabla 13. Indicadores de exposición del Área Metropolitana de San Salvador, según su clasificación y categorización.	56
Tabla 14. Tabla base para indicadores de exposición y vulnerabilidad calculados. Fuente: Rivera, 2020.....	57
Tabla 15. Sumatoria de indicadores e influencia de amenaza. Fuente: Rivera, 2020.	58
Tabla 16. Clasificación del grado de severidad del impacto de acuerdo con el porcentaje de elementos expuestos con potenciales impactos. Fuente: Rivera, 2020.	58
Tabla 17. Evaluación de indicadores para la estimación del nivel de severidad del impacto en el municipio de Santa Tecla.	62
Tabla 18. Registro de impactos asociados a deslizamientos, el día 19 de octubre del 2019, en el municipio de Santa Tecla.	64
Tabla 19. Evaluación de indicadores para la estimación del nivel de severidad del impacto en el municipio de San Salvador.	68
Tabla 20. Registro de impactos asociados a ráfagas de viento, en el municipio de San Salvador.....	69
Tabla 21. Evaluación de indicadores para la estimación del nivel de severidad del impacto en el municipio de Ilopango.	71

Tabla 22. Registro de impactos asociados a ráfagas de viento, en el municipio de Ilopango.	73
Tabla 23. Umbrales de amenaza de lluvia acumulada e intensidades, utilizada por el Centro de Pronóstico Hidrológico del MARN. Fuente: MARN, 2020.....	74
Tabla 24. Evaluación de indicadores para la estimación del nivel de severidad del impacto en el municipio de San Salvador.	76
Tabla 25. Registro de impactos asociados a inundaciones urbanas y desbordamiento de río, el 31 de mayo de 2020.	78
Tabla 26. Evaluación de indicadores para la estimación del nivel de severidad del impacto en el municipio de San Salvador.	80
Tabla 27. Registro de impactos asociados a deslizamientos en el periodo comprendido del 30 al 31 de mayo de 2020, en el municipio de San Salvador.	82
Tabla 28. Evaluación de indicadores para la estimación del nivel de severidad del impacto en el municipio de San Salvador.	86
Tabla 29. Registro de impactos asociados a ráfagas de viento en el periodo comprendido del 03 al 04 de noviembre de 2020, en el municipio de San Salvador.	87

AGRADECIMIENTOS

Agradecida con Dios por permitirme culminar una de mis metas propuestas, por su guía, protección y sus bendiciones manifestadas sobre mí, en cada paso de mi vida.

A mis padres, Misael Mata y Dilma Vásquez de Mata, por su amor, entrega, dedicación y consejos, siendo una fuente de inspiración y modelos a seguir. Muy agradecida, por apoyarme y brindarme la oportunidad de prepararme académicamente, así como en los diferentes aspectos que conlleva la vida.

A mis hermanos, Rodrigo Mata y Raquel Mata, por ser seres fundamentales para mí, con quienes comparto cada proceso de mi vida, creciendo juntos y apoyándonos mutuamente.

A mis asesores, M.Sc. Jacqueline Rivera y M.Sc. César Alvarado, por su apoyo, tiempo, disposición de enseñar y compartir sus conocimientos en el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mi segunda familia, pastor José de La Paz Palacios, Walter Sorto y familia Bernal por su confianza, fraternidad y abrirme sus puertas para habitar en un lugar seguro (mi segundo hogar) para desarrollar mi formación universitaria.

A mis amigos y compañeros de carrera, por compartir experiencias únicas, con mención especial a Osmin Barrera, por ser mi amigo y compañero, con quien he compartido cada etapa de mi proceso de formación profesional.

A mis compañeros de trabajo, por su apoyo, compañerismo, amistad y enseñanzas adquiridas, en el ámbito laboral.

Josabeth Nohely Mata Vásquez

RESUMEN

El Salvador se ve afectado por diferentes amenazas de origen natural; tales como huracanes, tormentas tropicales, terremotos, deslizamientos, erupciones volcánicas, sequías, entre otros; estos fenómenos presentan alto potencial de impacto sobre el país, provocando pérdidas de vidas, daños en infraestructura, viviendas, transporte, agricultura, medios de vida, etc. El Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) se considera un sector con mayor grado de exposición, con respecto al resto del país, debido a que se considera un centro direccional en materia política, financiera, económica y cultural, concentrando mayor cantidad de elementos en exposición ante la ocurrencia de amenazas naturales.

En esta investigación se exponen los resultados obtenidos a partir de la aplicación del modelo de exposición propuesto por la Dirección del Observatorio de Amenazas (DOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), donde se construyeron y evaluaron indicadores de exposición por municipio en el Área Metropolitana de San Salvador, a partir de bases de datos disponibles, con la finalidad de servir como guía en la determinación de la severidad de impactos potenciales ante amenazas naturales, con el propósito de integrarlos en los procesos operacionales de generación de pronósticos que toman en cuenta impactos. Esto constituye acciones efectivas para la toma de decisiones y su aplicación en sistemas de alerta temprana, que aporten en relación a la gestión del riesgo y atención de emergencias.

1 Generalidades

1.1 Introducción

De acuerdo al Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades (INERV, 2017), El Salvador es uno de los países del mundo más frecuentemente afectado por fenómenos de origen natural. Según la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL, 2011), el 88.7 % del territorio se considera zona de riesgo y sobre esa superficie se asienta el 95.4 % de la población salvadoreña.

A la constante incidencia de amenazas naturales en El Salvador, se le suma la falta de planificación territorial y vulnerabilidad existente. A consecuencia de ello, resultan múltiples impactos en diferentes ámbitos tanto social, económico y ambiental.

Para contribuir a la prevención de desastres, la Dirección del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales (DOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), implementa un enfoque de pronóstico basado en impactos por medio del proyecto Naciones Preparadas frente al Tiempo y el Clima (Weather Ready Nations, WRN), que impulsa la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés). El objetivo principal de este proyecto consiste en mejorar el uso de la información de las amenazas naturales, con el fin de identificar los potenciales efectos que estas puedan generar. Para su desarrollo, son utilizadas metodologías y protocolos que permiten comunicar a la población y a los entes encargados de tomas de decisiones, las propuestas y acciones que pueden ejecutar ante los efectos de una amenaza natural.

A partir de este enfoque, la DOA propone un modelo de exposición, que considera elementos expuestos y sus características a nivel municipal, que permitan generar criterios asociados a los efectos de las amenazas naturales y establecer adecuadamente la estimación de la severidad de los impactos potenciales. Dicha propuesta, es una iniciativa reciente que necesita ser verificada.

En esta investigación, se calcularon los indicadores que componen el modelo propuesto, para los municipios del Área Metropolitana de San Salvador, evaluándolos mediante eventos hidrometeorológicos pasados y sus impactos asociados.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Construir y evaluar indicadores de exposición para la determinación de la severidad de impactos potenciales, dentro del enfoque de pronósticos basados en impacto implementado en la Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales (DOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), utilizando como zona de estudio el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS).

1.2.2 Objetivos específicos

- Integrar información de elementos expuestos por municipio, que permitan generar un modelo de exposición en el Área Metropolitana de San Salvador mediante bases de datos disponibles.
- Calcular y construir gráficamente indicadores de exposición propuestos por la DOA, para los municipios del AMSS, conformando una base de datos y recursos geográficos.
- Evaluar indicadores de exposición, a través de casos de estudio, con base a información de eventos hidrometeorológicos ocurridos en El Salvador.
- Presentar el desempeño del modelo de exposición, dentro de la metodología de generación de pronósticos basados en impactos.

1.3 Antecedentes

El Salvador, históricamente ha presentado múltiples impactos asociados a la incidencia de amenazas naturales, debido a la alta exposición y vulnerabilidad que presentan los elementos presentes. Como afirma Yamin et al., (2013), en sectores con mayor exposición, el efecto de las amenazas naturales y siconaturales se intensifica sobre la población más pobre, esto genera un círculo vicioso de impactos frecuentes sobre sus bienes y medios de sustento, lo que a su vez reduce cada vez más su resiliencia ante eventos futuros y con ello sus posibilidades de progreso y desarrollo.

Según la UNISDR (2011), el riesgo que se deriva de las amenazas naturales y siconaturales aumentó en forma significativa entre 1990 y 2011; en especial en los países de bajos y medios ingresos y con economías en rápido crecimiento. Esto debido a que, el crecimiento económico contribuye a generar condiciones de riesgo, relacionados al incremento de exposición de la población, infraestructura y diferentes actividades económicas que se encuentren propensas a amenazas naturales y los impactos que puedan ocasionar.

Las pérdidas por impactos relacionados a la ocurrencia de amenazas naturales en El Salvador, conforme a datos históricos de estudios nacionales e internacionales como evaluaciones realizadas por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), reflejan el alto porcentaje de pérdidas al que se enfrenta el país ante estos eventos, y el alto grado de vulnerabilidad económica y social (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación del impacto de desastres según CEPAL y CRED.

	Muertos	Población afectada	Daños (CRED)	Impacto (CEPAL) (millones de dólares)
Total	6,934	2,867,172	15,196	13,806
Total eventos climáticos	4,313	1,089,791	13,232	13,060
Climáticos con respecto a totales	62.20%	38.01%	87.07%	94.60%

Fuente: Elaborado por la Unidad de Desastres de la CEPAL, a partir de la Base de datos de Evaluaciones Económicas y sociales realizadas en El Salvador y datos de CRED_EM-DAT.

En la Tabla 2, se detallan estadísticamente las evaluaciones generadas por CEPAL, después de los impactos causados por amenazas naturales en El Salvador, correspondientes al periodo

de 1982-2005, considerando con mayor énfasis los grandes eventos ocurridos, tales como el huracán Mitch, terremotos de 1986 y 2001, entre otros eventos importantes.

Tabla 2. El Salvador: Estadística de eventos evaluados por CEPAL, 1982-2005.

	Población afectada		Total (millones de dólares, 2007)				Relación impacto total a PIB precedente	Daños respecto a FBK precedente
	Fallecidos	Directa	Total	Daños	Pérdidas	Efecto Externo		
Total eventos evaluados	3385	3,648,343	15,763	10,743	5,020	3,357	32.30%	160.50%
Promedio por evento	564	608,057	2,627	1,791	837	559	16.10%	80.20%
Promedio por año en el período	147	158,624	685	467	218	146	4.20%	20.90%

Fuente: Evaluaciones de la CEPAL (1982-2005).

Desde esta perspectiva, todos los países están expuestos, en mayor o menor medida, a eventos naturales extremos. Sin embargo, no siempre estas amenazas provocan un desastre, estos tienen lugar, cuando existen múltiples condiciones de vulnerabilidad (CEPAL, 2014).

A partir de la problemática que generan las diferentes amenazas naturales a nivel global, en el año 2011, el Servicio Meteorológico Nacional (NWS, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, dio inicio a una visión estratégica para construir naciones preparadas para el clima, siendo receptivos y resistentes a eventos extremos hidrometeorológicos proporcionando herramientas dentro de los pronósticos de amenaza para el apoyo de tomas de decisiones oportunas para salvar vidas, propiedades y medios de vida, siendo la misión principal de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) (NWS, 2011).

Con este propósito, NOAA crea el proyecto Weather Ready Nations (WRN, Naciones preparadas frente al tiempo y el clima) donde las comunidades estén preparadas y respondan adecuadamente a estos eventos. La prioridad estratégica de Naciones Preparadas frente al tiempo y el clima, es desarrollar la resiliencia en las comunidades ante la creciente vulnerabilidad de los elementos expuestos ante las amenazas climáticas, hídricas y ambientales extremas (Hilderbrand, 2014).

El programa Internacional de Naciones Preparadas frente el Tiempo y el Clima (WRN, por sus siglas en inglés) se centra en fortalecer la capacidad en los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN, por sus siglas en inglés) y en las Agencias Nacionales de Gestión de Desastres (NDMA, por sus siglas en inglés) de los países. Específicamente, el

objetivo es ayudar a mejorar el uso de la información meteorológica y climática para salvar vidas, así como reducir el impacto humano y económico de los riesgos hidrometeorológicos (Campbell et al., 2018).

Muchos países están avanzando hacia un enfoque basado en el impacto, los cuales permiten traducir amenazas meteorológicas e hidrológicas en impactos específicos según sector, ubicación y el desarrollo de respuestas para mitigar esos impactos, los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales y Agencias Nacionales de Gestión de Desastres de países como Barbados, Sudáfrica, El Salvador, Costa Rica, Guatemala e Indonesia emplean actualmente un enfoque de Naciones Preparadas para el Clima, construyendo países más resilientes ante amenazas naturales (NWS, 2011).

De acuerdo con Campbell et al., (2018), en el proyecto Weather Ready Nations, se han propuesto cuatro ejes principales para la generación de pronósticos basados en impactos:

1. **Conocimiento del riesgo:** Recolectar sistemáticamente y realizar evaluaciones de riesgos.
2. **Monitoreo y Alerta:** Desarrollar servicios de monitoreo de amenazas y alerta temprana.
3. **Diseminación y comunicación:** Información de riesgo y alertas tempranas.
4. **Capacidad de respuesta:** Desarrollar capacidades de respuestas nacionales y comunitarias.

En la Dirección General del Observatorio de Amenazas (DOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el proyecto Weather Ready Nations, es el marco de acción de la implementación de pronósticos basados en impactos, permitiendo generar avisos a la población ante la probabilidad de impactos potenciales según la amenaza natural prevista.

El propósito de los pronósticos basados en impactos es traducir la información de los diferentes parámetros de amenaza (cantidad de precipitación, nivel de ríos, volúmenes de deslizamientos, altura de oleaje, etc.) y características físicas de las amenazas naturales (vientos fuertes, lluvia torrencial, crecida repentina, flujo de escombros, índice de explosividad eruptiva, etc.), para poder identificar los potenciales daños o efectos que una o varias amenazas conjuntas pueden generar en un determinado momento y sitio específico (Rivera, 2020).

Según Rivera (2020), para que los pronósticos de amenaza puedan traducirse adecuadamente es prioritario tener en cuenta el conocimiento de la exposición y las características de los elementos expuestos, de manera que funcionen como guía para la determinación de la severidad de los impactos potenciales.

El Modelo Global Sísmico (GEM, por sus siglas en inglés), creó la primera versión de la “Base de Datos de Exposición Global” (GED, por sus siglas en inglés), la cual contiene información de población, área construida y costo de reconstrucción de edificios residenciales y no residenciales con una resolución de 1 km. La estructura de la base de datos está diseñada para contener información de edificaciones y personas desde el nivel del país hasta edificaciones individuales (GEM, s.f.).

El proyecto continúa alimentando e implementando datos, para convertirse en un recurso multipropósitos en todo el mundo. La GED surgió en el contexto de análisis por riesgo sísmico, conteniendo datos en 4 escalas geográficas diferentes:

1. **A nivel de país**, el GED contiene información estadística sobre el número total y la distribución de viviendas y edificios en un país, dividido por tipos. Se hace una distinción entre los datos para áreas rurales y urbanas, y los datos sobre edificios residenciales u otros tipos de edificios (público, uso comercial, etc.) que pueden agruparse como "no residenciales".
2. **A nivel de sub-país** (provincia / ciudad), el GED contiene información estadística sobre el número total y la distribución de fracciones de viviendas y edificios en una región o provincia. Distinguiendo también, entre los datos para zonas rurales y urbanas, y los datos sobre edificios residenciales u otros "no residenciales" (público, uso comercial, etc.).
3. **A nivel local**, el GED divide el mundo en una cuadrícula, con bloques de aproximadamente 1x1 km. La base de datos contiene información estadística agregada sobre cada celda de la cuadrícula, en términos de edificios, distribución de edificios.
4. Información detallada sobre edificios individuales cuando esté disponible.

De los tipos disponibles, la GED proporciona información sobre el valor de los edificios por metro cuadrado. La GED incluye datos de encuestas de hogares, estudios terrestres, SIG y de teledetección (imágenes de satélite) para obtener información sobre:

- **población:** total, número de personas que viven en áreas rurales y urbanas, y comportamiento (durante el día y la noche).
- **tipos de edificios y valor del edificio:** basado en información de techos, paredes y pisos de encuestas de hogares.
- **densidad de edificios y tipos de edificios:** imágenes de satélite, mapas, estudios del terreno.

Si bien han existido esfuerzos en la construcción de modelos de exposición en El Salvador, en muchos de los casos la información final ha sido creada para propósitos específicos y con un alcance enfocado a una amenaza, como el caso del modelo de GEM aplicado para el riesgo sísmico.

Para el enfoque de pronóstico basado en impacto es necesario crear indicadores de exposición o modelos de exposición a nivel nacional, que permitan una evaluación de manera rápida, pero también eficiente. Lo anterior, debido a que es un enfoque multi-amenazas, por ello se vuelve un entorno complejo. En tal sentido, la DOA toma la iniciativa de generar un modelo de exposición que involucre elementos prioritarios que se ven afectados ante la ocurrencia de multi-amenazas asociadas a fenómenos naturales. Con el objetivo de contar con criterios para la identificación de sectores que presenten mayor exposición en el país y por lo tanto de posibles zonas de mayor impacto.

Las bases de datos de exposición constituyen, por tanto, una parte fundamental dentro los modelos de riesgo. Además de la localización geográfica y de las características de cada elemento expuesto, también es necesario disponer de información relacionada con su valoración económica, su eventual ocupación humana y sus características de interacción socioeconómica. Por esta complejidad, es un tema de retos grandes en cuanto a disponibilidad de información y su resolución espacial y temporal; así como, su aplicación en enfoques multi-amenazas.

2 Marco teórico

En este capítulo, se expone la base teórica relacionada a la temática y desarrollo de la investigación, definiendo los componentes principales de la base para la gestión del riesgo.

2.1 Amenaza

Según UNISDR (2009), una amenaza se define como un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

Otros autores definen una amenaza como un factor externo representado por la posibilidad que ocurra un fenómeno o un evento adverso, en un momento o lugar específico, con una magnitud determinada, que podría ocasionar daños a las personas, a la propiedad; la pérdida de medios de vida; trastornos sociales, económicos y ambientales (Renda et al., 2017).

Como señala Yamin et al., (2013), las amenazas se caracterizan mediante un conjunto amplio de escenarios, cada uno de ellos con una frecuencia anual media de ocurrencia, llamados eventos estocásticos, y cada evento se representa a su vez mediante la distribución geográfica de parámetros de intensidad que permitan establecer una relación con el daño potencial sobre los elementos expuestos. Además, afirma que la caracterización de las amenazas debidas a eventos de la naturaleza constituye una de las actividades relevantes para la evaluación del riesgo.

Cardona (1993), considera importante diferenciar la amenaza del evento que la caracteriza, puesto que la amenaza significa la potencialidad de la ocurrencia de un evento con cierto grado de severidad, mientras que el evento en sí mismo representa al fenómeno en términos de sus características, su dimensión y ubicación geográfica.

2.1.1 Amenaza natural

De acuerdo a la UNISDR (2009), una amenaza natural es un proceso o fenómeno natural que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, entre otro tipo de impactos. Y, sostiene que las amenazas naturales se pueden caracterizar por su magnitud o intensidad, duración y el área que abarcan. Ejemplificando, fenómenos naturales como los terremotos, siendo de corta duración, por lo general afectan regiones relativamente pequeñas, mientras que el desarrollo y el desvanecimiento de las sequías son lentos y generalmente afectan regiones más grandes.

Kattan et al., (2017), señala que las amenazas naturales pueden ser únicas, secuenciales o combinadas en su origen y efectos. Por lo que, indica que cada amenaza se caracteriza por su localización, intensidad, frecuencia y probabilidad de ocurrencia. A la vez, destaca que una amenaza natural se convierte en riesgo cuando existen elementos expuestos a una amenaza determinada y el nivel de riesgo depende, no solo de la intensidad o severidad del evento, sino también de la capacidad de los activos expuestos para resistirlo.

Por otra parte, es común en la literatura técnica utilizar el concepto de período de retorno o intervalo de recurrencia de un evento, que corresponde al tiempo promedio entre eventos con características similares en una región (Cardona, 1993). Siendo utilizado, para múltiples análisis de amenazas y su nivel de riesgo en las regiones de estudio.

2.1.2 Tipos de amenazas naturales

Existen diferentes tipos de amenazas naturales, las más representativas son las siguientes:

2.1.2.1 Amenaza geológica

Una amenaza geológica es un proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (Yamin et al., 2013).

Las amenazas geológicas incluyen procesos terrestres internos, tales como terremotos, actividades y emisiones volcánicas, así como procesos geofísicos afines como el movimiento de masas, aludes, desprendimiento de rocas, derrumbes en la superficie y corrientes de barro

o escombros. Dentro de las amenazas geológicas se encuentran: las amenazas sísmicas, vulcanológicas, amenazas por deslizamiento, etc.

2.1.2.1.1 Amenaza sísmica

Como expresa Shenk (1989), la amenaza sísmica se define como la probabilidad de excedencia de un determinado nivel de movimiento del terreno, como resultado de la acción de terremotos en el área de influencia, durante un periodo de tiempo especificado.

El nivel de amenaza sísmica depende de las características de la región de análisis: la sismicidad del área de influencia, la atenuación sísmica regional y el efecto local del suelo en el sitio. La intensidad y duración del movimiento en un sitio determinado depende tanto del tamaño y localización del sismo, como de las características geológicas y topográficas particulares del lugar (efecto de sitio) (Kattan et al., 2017).

Yamin et al., (2013), expresa que una amenaza sísmica se evalúa a través de los parámetros de movimiento del terreno producido por el paso de las ondas, como por ejemplo la aceleración, la velocidad o el desplazamiento máximo de las partículas del terreno en cada ubicación específica.

2.1.2.1.2 Amenaza por deslizamiento

Los deslizamientos son movimientos de rocas, suelos, materiales artificiales o una combinación de los mismos, que se producen a lo largo de una superficie a favor de la pendiente. Los factores que causan los deslizamientos están asociados a condiciones climáticas, sísmicas y volcánicas particulares que influyen en la estabilidad de las laderas. (Kattan et al., 2017).

La amenaza por deslizamiento se caracteriza usualmente mediante un factor de susceptibilidad (por ejemplo, el factor de inestabilidad o inseguridad de las laderas o de susceptibilidad al deslizamiento). En forma alternativa puede caracterizarse mediante la velocidad de materialización de la ruptura de la ladera, el desplazamiento del movimiento de las masas en la ladera o, más simple, la extensión del área que será afectada por el movimiento (Yamin et al., 2013).

2.1.2.2 Amenaza hidrometeorológica

La UNISDR (2009), se refiere a una amenaza hidrometeorológica como aquel proceso o fenómeno de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales. Y destaca, los tipos de amenazas hidrometeorológicas, tales como ciclones tropicales (también conocidos como tifones y huracanes), tempestades, granizadas, tornados, tormentas de nieve, fuertes nevadas, avalanchas, marejadas, inundaciones (entre éstas las inundaciones repentinas), sequías, olas de calor y de frío.

Yamin et al., (2013), da a conocer que la amenaza de inundación se evalúa normalmente a través de la profundidad, velocidad y duración de la inundación. Así como, expresa que la amenaza por fenómenos hidrometeorológicos (por ejemplo, depresiones, tormentas o vendavales) puede evaluarse por parámetros directos, como la velocidad del viento, o por parámetros asociados a sus eventos secundarios derivados, por ejemplo, la profundidad, duración o velocidad del flujo asociado en las zonas inundables por efectos de la tormenta, etc.

2.1.3 Impactos de las amenazas naturales

Los impactos son todos aquellos efectos sobre los sistemas naturales y humanos de amenazas naturales, como episodios meteorológicos y climáticos extremos, así como del cambio climático (IPCC, 2014). Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud, ecosistemas, economías, sociedades, culturas, servicios e infraestructuras debido a la interacción de los cambios climáticos o fenómenos climáticos peligrosos que ocurren en un lapso de tiempo específico y a la vulnerabilidad de las sociedades o los sistemas expuestos a ellos (UNISDR, 2009). Por lo que, un impacto deberá ser entendido como todo aquel efecto adverso (daño) generado en un elemento expuesto en la zona amenazada.

De acuerdo a Yamin et al., (2013), el impacto de los eventos que representan amenazas naturales se centra en cuatro componentes principales, los cuales son: la infraestructura física, que incluye construcciones, instalaciones, equipos y contenidos; lo social, que incluye el efecto

de los eventos en las personas y las actividades sociales, lo ambiental, que involucra el impacto en los servicios y productos ambientales de los ecosistemas, y las respectivas consecuencias económicas. En la Figura 1, se desglosan los posibles impactos asociados a eventos o fenómenos de origen natural con capacidad destructiva y las métricas utilizadas para caracterizar o dimensionar el riesgo.



Figura 1. Impactos y métricas del riesgo de desastres. Fuente: Yamin et al., 2013.

Tal como describe Yamin et al., (2013), los impactos de un evento natural se clasifican en: directos e indirectos, siendo los impactos directos aquellos que son causados por la acción directa e inmediata del evento adverso sobre los elementos expuestos, las personas o el ambiente, y los impactos indirectos aquellos que se derivan de los efectos directos y se materializan a mediano o largo plazo. Enfatizando, que estos impactos traen como consecuencias pérdidas económicas, las cuales a su vez también se pueden clasificar en pérdidas económicas directas e indirectas. Por lo tanto, cada una de estas características pueden ser utilizadas para determinar el nivel de riesgo.

2.2 Exposición

La exposición se refiere a la presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura; o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente (UNISDR, 2009).

Para determinar la exposición se requieren características específicas del elemento expuesto, tales como la localización geográfica, uso, ocupación, interacción socioeconómica, etc., siendo un componente fundamental para el análisis del riesgo (Yamin et al., 2013). Rivera (2020), enfatiza la importancia de clasificar la exposición en dinámica y estática, ya que la materialización de una amenaza en un lugar y tiempo determinado, afectará de diferente manera según el número de elementos que se encuentren expuestos (Figura 2).



Figura 2. Elementos en exposición: a) Elementos estáticos: edificaciones, etc. b) Elementos dinámicos: población, transporte colectivo, etc. Fuente: Rivera, 2020.

Nota: En la imagen izquierda se refleja Verdant Victoria Peak dominada con torres de gran altura en Hong Kong densamente poblado. Imagen de la derecha Oxford Circus en Londres con alto tráfico de personas, automóviles y actividades socioeconómicas.

La OMM (2015), sostiene que la exposición depende del tiempo (t) y del espacio (x), por lo tanto, la exposición es necesaria, pero no suficiente, para determinar un riesgo. Y expone, que es posible estar expuesto a un riesgo, pero no ser vulnerable al mismo, por ejemplo: pobladores en una llanura de inundación, que tienen suficientes medios para modificar la estructura y el comportamiento de los edificios son capaces de atenuar posibles pérdidas.

2.2.1 Grado de exposición

Como describe la UNISDR (2009), el grado de exposición incluye la cantidad de población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales. Sosteniendo que, el grado de exposición puede combinarse con la vulnerabilidad específica de los elementos expuestos a una amenaza en particular con el fin de calcular los riesgos cuantitativos relacionados con esa amenaza en la zona bajo estudio.

2.2.2 Elementos en exposición

Cuando se habla de elementos en exposición, se refiere a aquellos componentes, tales como: personas y activos, tanto físicos como ambientales, que coinciden espacial y temporalmente con amenazas naturales (Barandiarán et al., 2019). Los elementos en exposición, son generados día tras día, por medio del desarrollo humano y económico, generando infraestructuras de industria, vivienda, educación, salud, turismo, agricultura, entre otras, para solventar las necesidades del crecimiento poblacional, generando mayor grado de exposición (Tabla 3).

Debido a ello, es importante contar con una identificación clara de los elementos expuestos en el área de estudio (por ejemplo, población, infraestructura, edificaciones, entre otros), ya que, una caracterización adecuada de cada uno de los elementos permite determinar su vulnerabilidad física frente a dicha amenaza, y una caracterización funcional del componente y su interacción socioeconómica con el sistema al cual pertenece, para efectos de evaluar su vulnerabilidad social, ambiental y económica (Rivera, 2020).

Tabla 3. Datos de exposición y sus características.

ELEMENTOS EN EXPOSICIÓN	
Infraestructura	Caminos (primarios, secundarios, rurales, urbanos, etc.)
	Edificaciones (informales, urbanos, rurales, salud,
	Características físicas, otros.
Vida humana	Niños, jóvenes, adultos y ancianos
	Características demográficas
	Características socioeconómicas, otros.
Medios de vida	Industria, comercio, etc.
	Agricultura, pesca, ganadería, etc.

2.2.3 Tipos de exposición

Existen diferentes tipos de exposición, entre las cuales se encuentra la exposición física y humana, siendo de las más representativas, ante la ocurrencia de amenazas naturales; definiéndose a continuación:

2.2.3.1 Exposición física

La exposición física, está determinada por la rápida urbanización, así como el crecimiento de las grandes ciudades en países en desarrollo, acompañados de la expansión de comunidades urbanas muy vulnerables que viven en asentamientos informales, muchos de los cuales se hallan en terrenos expuestos a fenómenos de origen natural (IPCC, 2014). De acuerdo con Yamin et al., (2013), principalmente en las zonas urbanas, se concentra una gran cantidad de elementos expuestos; debido a que, en estos sectores se albergan una gran cantidad de personas y se desarrollan múltiples actividades económicas, contando con un amplio grupo de edificaciones e infraestructura de uso industrial, comercio, turismo, entre otros.

Yamin et al., (2013), manifiesta que las construcciones físicas, conforman por lo general la mayor parte del valor económico expuesto en las ciudades, así como sus características como por ejemplo la geometría, el tipo de materiales, el sistema estructural y los detalles constructivos, los cuales pueden obtenerse a partir de diferentes fuentes, tales como bases de información catastral o los censos de población y vivienda. Expresando que, con base en esta información básica se caracteriza, en general, el tipo representativo de cada construcción y se asigna de esta manera la función de vulnerabilidad física de cada elemento o componente de

un sistema. En la Tabla 4, se muestra un resumen de los elementos y componentes de exposición física, utilizados en modelos de exposición de edificaciones.

Tabla 4. Componentes típicos, indicadores e identificadores, utilizados para la asignación de información de exposición física. Fuente: Yamin et al., 2013.

SECTOR	COMPONENTES	INDICADORES UTILIZADOS	IDENTIFICADORES
Edificaciones	Residenciales	Población total, población laboral, etc.	Localización geográfica. Características físicas. Características de los contenidos. Características de funcionamiento. Características socioeconómicas.
	Comerciales	Indicadores de actividad comercial, etc.	
	Industriales	Indicadores de actividad industrial, N° de empleados del sector	
	Educación	Número de estudiantes, N° de empleados, etc.	
	Salud	Número y distribución de hospitales y clínicas, etc.	
	Gubernamentales	Número de empleados públicos, etc.	
Infraestructura urbana	Red Vial	Información vial general, estadísticas de transporte, etc.	
	Puentes vehiculares y peatonales	Información de planeación o desarrollo, etc.	
	Sistemas eléctricos	Cubrimiento del servicio, N° de usuarios, densidad poblacional	
	Sistemas de alcantarillados	Cubrimiento del servicio, N° de usuarios, densidad poblacional	
	Sistema de acueductos	Cubrimiento del servicio, N° de usuarios, densidad poblacional	
	Sistemas de comunicación	Cubrimiento del servicio, N° de usuarios, densidad poblacional	
	Puertos y aeropuertos	Autoridades aeronáuticas, portuarias, etc.	

2.2.3.2 Exposición humana

Como lo hace notar Yamin et al., (2013), la exposición humana hace referencia a la población que se encuentra en riesgo por efecto del daño físico que se puede presentar en las construcciones, al verse sometidas estas a un evento natural. De acuerdo con esto, la exposición humana se asocia a la ocupación máxima posible de las construcciones que hacen parte de la base de exposición, estimándose a través de factores como el uso y la clasificación socioeconómica de cada una de las construcciones.

La exposición humana varía con la hora del día y el día de la semana, y, por tanto, también el impacto del evento adverso sobre la población. Considerando un cierto análisis por escenario, la ocupación puede estimarse para el día o la noche, o incluso para algún día específico de la semana, como un porcentaje con respecto a la ocupación máxima (Yamin et al., 2013). Siendo, los índices de ocupación un elemento de importancia dentro de las caracterizaciones demográficas.

Yamin et al., (2013), además expone un ejemplo: para un análisis en términos de pérdidas humanas directas como consecuencia de un terremoto en una zona de una ciudad en que se

combinen diferentes tipos de edificaciones (residenciales y comerciales, por ejemplo), el impacto del evento variará en forma significativa dependiendo de la hora del día en que este ocurra. La Tabla 5, presenta los indicadores mayormente utilizados para definir la exposición humana en base a sus características y la ocupación de las edificaciones.

Tabla 5. Indicadores utilizados para la determinación de la exposición humana, mediante la ocupación de edificaciones. Fuente: Yamin et al., 2013.

USO DE EDIFICACIONES	INDICADORES UTILIZADOS
Residenciales	Densidad poblacional
Comercial	Características demográficas
Industrial	Características socioeconómicas
Salud	Ocupación máxima
Educación	Ocupación por día
Gubernamentales	Ocupación por noche
Red Vial	Entre otros.
Entre otros	

2.3 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el factor interno de una comunidad o sistema, el cual comprende las características de la sociedad acorde a su contexto que la hacen susceptibles de sufrir un daño o pérdida grave en caso que se concrete una amenaza (Renda et al., 2017). En términos generales, la vulnerabilidad puede definirse como la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas (Cardona, 1993). Fritzsche et al., (2017), distingue cuatro componentes clave que determinan en qué medida un sistema es vulnerable, estos elementos son: la exposición, la predisposición, el impacto potencial y la capacidad de adaptación de los elementos (Figura 3). Y, expresan que la exposición y la predisposición de un sistema o elemento ante una amenaza, determinan el impacto potencial. Sin embargo, agregan que la vulnerabilidad a este impacto depende también de la capacidad de adaptación del sistema o elemento.

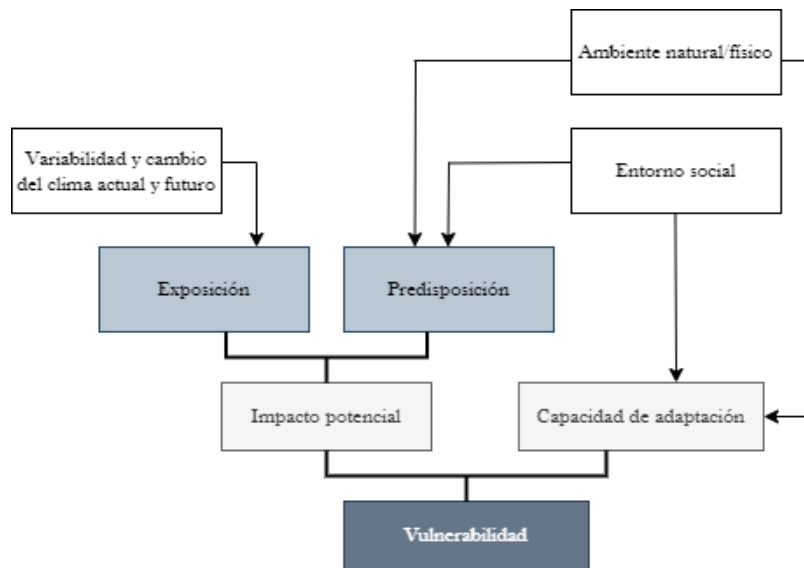


Figura 3. Componentes de la vulnerabilidad. Fuente: Fritzsche et al., 2017.

Seunghoo & Yoon (2018), indican que el nivel de vulnerabilidad, puede ser también determinado por las características sociales y físicas de una comunidad, donde los patrones demográficos y el estado económico son factores relacionados con la vulnerabilidad social, y los rasgos geográficos e intrínsecamente vulnerables hacen que la vulnerabilidad física varíe en las diferentes regiones geográficas. Por lo que, proponen cuatro clasificaciones de indicadores para representar aspectos de vulnerabilidad en comunidades o sistemas:

- a) **Social:** se incluye información de educación de la población, clasificada en edades y porcentaje de estudiantes extranjeros.
- b) **Económico:** incluyendo manufactura e impuestos a la propiedad.
- c) **Medioambiental:** incluye información de amenaza por eventos hidrometeorológicos, espacios abiertos y porcentajes de inclinación del terreno.
- d) **Entorno de las edificaciones:** incluyendo características de edad de edificaciones y densidad de viviendas por kilómetro cuadrado.

Según Renda et al., (2017), la vulnerabilidad de los asentamientos humanos ante los fenómenos naturales, por ejemplo, está ligada íntimamente a los procesos sociales que allí se desarrollan, es decir que no sólo depende de la susceptibilidad física del contexto material sino de la fragilidad social y la falta de resiliencia o capacidad de recuperación de los elementos expuestos ante amenazas de diferente índole.

Cardona (1993) enfatiza que, dentro de un análisis de vulnerabilidad se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de las interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso. Por lo que, los elementos bajo riesgo son el contexto social y material representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden ser afectados por la ocurrencia de un evento, es decir, las actividades humanas, los sistemas realizados por el hombre tales como edificaciones, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, utilidades, servicios y la gente que los utiliza.

De acuerdo con Yamin et al., (2013), el análisis de vulnerabilidad en sus diferentes ámbitos: físico, social, ambiental, económico, cultural, entre otros, es clave para caracterizar y comprender las condiciones específicas en que se encuentran los puntos críticos de riesgos.

2.4 Riesgo

El riesgo es la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas (UNISDR, 2009). Además, el riesgo es una función de la amenaza, la exposición de la población y sus bienes, y de la situación de vulnerabilidad a la que se exponen los elementos (UNISDR, 2017).

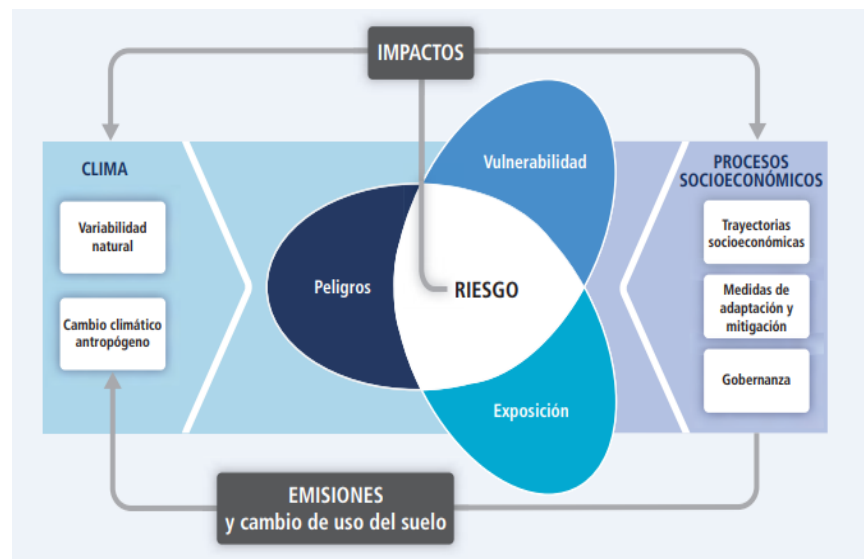


Figura 4. El riesgo de impactos derivado de la interacción de la vulnerabilidad, peligro y exposición. Fuente: IPCC, 2014.

Debido a la interacción de las variables de amenaza, exposición y vulnerabilidad (Figura 4), la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2015), indica que el riesgo puede expresarse matemáticamente, como se muestra en la ecuación 1:

$$Riesgo\ de\ impacto\ (x, t) \equiv | amenaza\ (x, t) | \cup | vulnerabilidad\ (x, t) | \cup | exposición\ (x, t) | \quad (1)$$

Donde \cup representa la unión del nivel de incertidumbre de la predicción hidrometeorológica (amenaza), el grado de vulnerabilidad, y el nivel de exposición. El nivel de incertidumbre de la predicción hidrometeorológica se refiere a los límites de predictibilidad impuestos por el estado de la ciencia y la aleatoriedad inherente al sistema meteorológico.

2.4.1 Identificación y evaluación del riesgo

Como señala Yamin et al., (2013), la evaluación del riesgo consiste en la estimación del impacto probable de una cierta amenaza sobre los elementos expuestos (por ejemplo, edificaciones, infraestructura, población, medio ambiente). Considerando que la identificación y evaluación del riesgo, permite sentar las bases para el desarrollo de los componentes o políticas, que incluyan acciones de vigilancia y observación de los fenómenos peligrosos, la realización de estudios, escenarios, mapas y modelos de amenaza, los sistemas de información sobre la exposición, la evaluación de la vulnerabilidad de los componentes expuestos, la calificación y la visualización del riesgo, entre otros. Evaluando cada uno de estos factores en función de la probabilidad de ocurrencia de un evento y con una intensidad determinada y cuantificarse a través de diferentes indicadores de su impacto físico, económico, social y ambiental.

Dicha identificación de riesgos, están basados según modelos numéricos, con los cuales se estudian las diferentes amenazas naturales y a la vez, mediante la experticia del técnico-científico, por medio de criterios como la magnitud de la amenaza esperada, que probabilidad de impactos conlleva la amenaza, potencialidad de los impactos, la vulnerabilidad y la exposición de elementos que contribuyen en el riesgo (Yamin et al., 2013). Desde esta perspectiva, se plantea que hay diferentes elementos que componen el estudio del riesgo, dividiéndolos en tres módulos los cuales son: módulos de amenazas, módulos de exposición y módulos de vulnerabilidad, lo que conlleva a la generación de modelos probabilistas del riesgo, permitiendo analizar y estimar el impacto probable en el futuro de una amenaza en elementos expuestos (Figura 5).

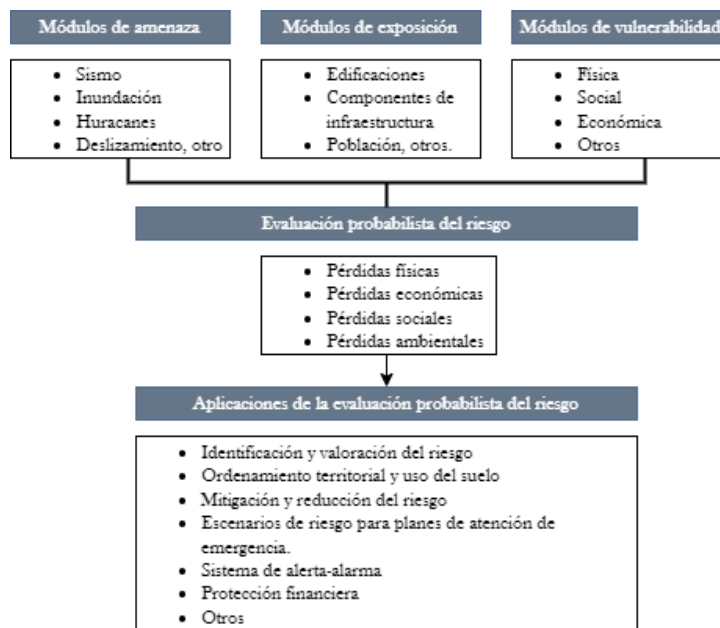


Figura 5. Elementos de los modelos probabilistas del riesgo. Fuente: Yamin et al., 2013.

En la figura 5, se presenta que el riesgo puede expresarse en términos de pérdidas potenciales o esperadas, y ser comparado para diferentes condiciones de amenaza, de elementos expuestos y de condiciones de vulnerabilidad, lo cual proporciona información valiosa para evaluar, por ejemplo, el impacto de los eventos y de las opciones de reducción estructural de la vulnerabilidad (Yamin et al., 2013).

2.5 Pronóstico

Un pronóstico se define como una estimación cualitativa o cuantitativa de uno o más factores o variables que conforman un evento futuro, con base en información actual y/o del pasado (Villarreal, 2016). El objetivo básico de un pronóstico es reducir el rango de incertidumbre para la toma de decisiones que afectan el futuro de una situación específica y las partes involucradas (Gestiopolis, 2002).

La OMM (2015), define un pronóstico como la estimación de la magnitud y periodo probable de ocurrencia de un fenómeno futuro. A partir de esta definición simple, se pueden obtener diferentes tipos de conceptos dependiendo del tipo de fenómeno al que se haga referencia; presentándose la conceptualización de los diferentes tipos de pronósticos asociados a amenazas naturales:

- **Pronóstico hidrológico:** es la estimación de la magnitud y de la hora de aparición de fenómenos hidrológicos futuros para un período y un lugar determinados. En estos se realiza una previsión del nivel, caudal, tiempo de ocurrencia y duración del evento, especialmente de su caudal máximo en un punto determinado, producida por la precipitación en una cuenca.
- **Pronóstico meteorológico:** es el resultado de un intento de obtener (a partir de un estado particular del sistema climático) una estimación de la evolución real del clima en el futuro, por ejemplo, a escalas de tiempo estacionales, interanuales o decenales. Como la evolución futura del sistema climático puede ser muy sensible a las condiciones iniciales, estas predicciones suelen tener carácter probabilístico.
- **Pronóstico de calidad de aire:** es el que determina como se prevé que se encuentren los niveles de gases y de partículas en la zona donde se realiza el pronóstico.
- **Pronósticos marítimos:** están enfocados generalmente para servicio a los usuarios que desarrollan actividades económicas o habitan en las zonas costeras de un país. También se utiliza para la determinación de circulaciones oceánicas que favorecen algunos eventos meteorológicos.

Existen muchos más pronósticos para cada tipo de fenómeno, donde la definición de pronóstico considera aspectos propios de estos. Según Cortés (2017), en la elaboración de pronósticos se pueden considerar y aplicar tiempos de previsión, y estos pueden ser:

- **Pronóstico inmediato (nowcasting)** es el de menor plazo, en el cual se muestran las condiciones actuales de algún sistema en interés.
- **Pronóstico a corto plazo** cubre un lapso de hasta cinco días. Para este tipo de previsión, se observa el desarrollo de sistemas que afectan generalmente una mayor extensión.
- **Pronóstico a mediano plazo**, se refiere a una predicción con periodo de 7 a 15 días, donde el error comienza a incrementarse, por lo que tiende a ser menos confiable. Este pronóstico muestra sólo una tendencia o probabilidad de cómo podrían estar las condiciones en ese periodo.
- **Pronóstico a largo plazo o predicción climática** (que no debe confundirse con el pronóstico del tiempo) simula las condiciones promedio que podrían darse durante cierto mes, en una estación del año o incluso, hasta una perspectiva anual, mostrándose

generalmente los resultados del pronóstico en gráficos con valores de anomalías en las variables.

2.5.1 Enfoques de pronóstico

Los pronósticos pueden clasificarse según su enfoque, el punto focal de esta investigación son los pronósticos con enfoque en amenazas naturales y pronósticos con enfoque en impactos potenciales asociados a las amenazas naturales. Ambos enfoques de pronóstico son definidos a continuación:

2.5.1.1 Pronóstico por amenaza

Un pronóstico por amenaza se enfoca en el análisis, identificación, estudios y evaluación de las amenazas para determinar su potencialidad, origen, características, comportamiento y posibilidad de que se transforme en un evento destructor (Renda et al., 2017).

Empleando las palabras de Cardona (1993), evaluar una amenaza es pronosticar la ocurrencia de un fenómeno con base en: el estudio de su mecanismo generador, el monitoreo del sistema perturbador y/o el registro de eventos en el tiempo. Un pronóstico puede ser a corto plazo, generalmente basado en la búsqueda e interpretación de señales o eventos premonitorios; a mediano plazo, basado en la información probabilística de parámetros indicadores, y a largo plazo, basado en la determinación del evento máximo probable en un período de tiempo que pueda relacionarse con la planificación del área potencialmente afectable (Cardona, 1993).

Como expone Renda et al., (2017), el análisis de la amenaza comprende una serie de criterios mínimos:

- la zona origen: el elemento desencadenante del proceso;
- la zona afectada: el área susceptible de sufrir los efectos;
- la causa o causas: cuales son las acciones que provocan el problema;
- las consecuencias: que efectos resultan del problema. Se establecerán y seleccionarán aquellos atributos de valorización que permitan jerarquizar y ponderar los efectos que generan las distintas situaciones de riesgo. Se evaluará: la magnitud, el grado de reversibilidad, intensidad, duración/ permanencia del efecto, la probabilidad de ocurrencia, entre otras variables.

2.5.1.2 Pronóstico basado en impactos (IBF, Impact-based forecasting)

De acuerdo con MARN (2019), los pronósticos basados en impactos traducen la amenaza en impactos específicos por sector y ubicación, y el desarrollo de respuestas sectoriales para mitigar estos impactos. Enfatizando que hará la amenaza en lugar de describir cuál será la amenaza y sus características, con el fin de establecer etapas de vigilancia, procedimientos de actuación y de comunicación a las autoridades correspondientes y a la población en general, ante la ocurrencia de estos fenómenos.

La generación de un pronóstico basado en impactos, implica la consideración tanto de las variables de amenaza, características del sitio, elementos en exposición y nivel de vulnerabilidad de los elementos (MARN, 2019). Y, para su desarrollo, generan un flujo de trabajo como el siguiente:

- Elaboración de marco conceptual para el conocimiento de los diferentes conceptos relacionados al riesgo, para la generación de pronósticos basados en impactos.
- Generación de matrices por municipio (mediante datos de exposición, vulnerabilidad y características prioritarias).
- Uso de líneas base, con la información de los diferentes umbrales que indiquen niveles de amenaza que pueden generar, niveles de impacto y probabilidad de ocurrencia.
- Métodos y procesos de validación (oportunidad de mejora).
- Planes de acción (protocolos, procedimientos y herramientas).

Como destaca Rivera (2020), el proceso para la generación de pronósticos basados en impactos es fluido, iniciando con la determinación del tipo de fenómeno que se espera que ocurra (su probabilidad, intensidad de la amenaza, dónde y cuándo la amenaza ocurrirá). Luego identificar sus efectos, por ejemplo, en el caso de tormentas, estos pueden ser: vientos fuertes, granizo, actividad eléctrica, etc. Posteriormente valorar que ocasionarán esos efectos potenciales de la amenaza en los elementos en exposición (vivienda, caminos, medios de vidas, vidas humanas, etc.), para obtener como producto final un pronóstico claro, para la toma de decisiones.

La metodología que implementa la Dirección General del Observatorio de Amenazas (DOA) del MARN, para la generación de pronósticos basados en impactos, se resume en el siguiente diagrama de flujo (Figura 6):

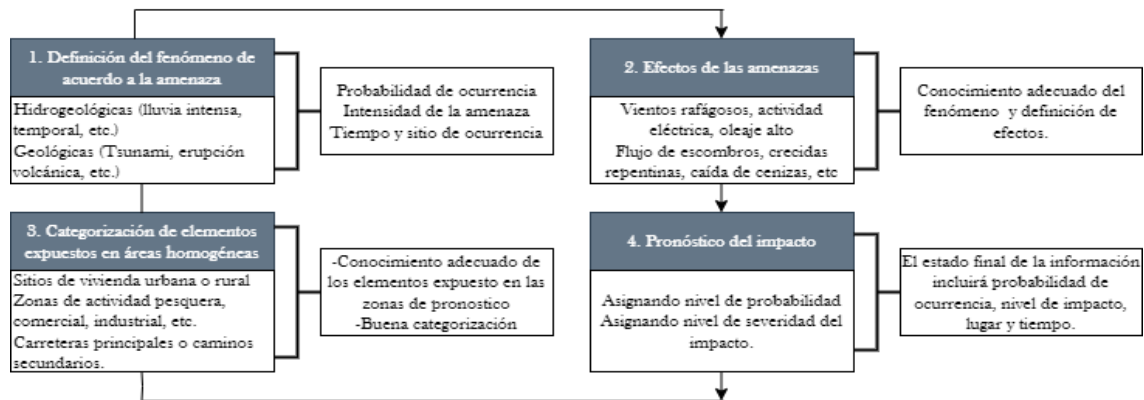


Figura 6. Esquema resumen de la metodología para la generación de pronósticos por impacto. Fuente: Rivera, 2020.

Dentro de la metodología de pronósticos por impactos que utiliza la DOA, se implementa el análisis por municipio, clasificando a cada uno con diferentes grados de severidad de impacto potencial y su probabilidad de ocurrencia, según el análisis previo de la amenaza y de la exposición.

Para esta clasificación, es utilizada una herramienta principal dentro del sistema de alerta basado en el pronóstico de impactos potenciales, llamada **matriz de impacto**. Esta matriz relaciona el impacto esperado de una amenaza hidrometeorológica con su probabilidad de ocurrencia, a través de un esquema de color simple de "semáforo" (Figura 7).

Muy alta (80% - 100%)	4	8	12	16
Alta (60% - 80%)	3	7	11	15
Media (30% - 60%)	2	6	10	14
Baja (10% - 30%)	1	5	9	13
	Bajo	Medio	Significativo	Severo

Figura 7. Matriz de impactos. Fuente: MARN, 2019.

Las posiciones de la matriz, son leídas de abajo hacia arriba, en cada columna, esto permite mostrar el incremento en la probabilidad que el impacto pronosticado ocurra (del 10% al 100%). En lo que respecta a la posición en las filas, de izquierda a derecha, se categoriza el aumento de la intensidad del impacto (MARN, 2019).

La categorización del impacto, según los protocolos generados por la DOA, para asignar una categoría de impacto determinada, se clasifican en: impactos bajos, medios, significativos y severos, y sus consideraciones son descritas a continuación:

- **Bajo:** estos son incidentes leves, a los cuales la comunidad afectada es capaz de ejecutar acciones para superar los impactos. Sin implicaciones de pérdidas, su duración es muy corta en el tiempo, por lo que no afectan las actividades cotidianas de la población. Frecuentemente, este tipo de impactos no es tomado o levantado en un informe de daños ya que se considera un hecho típico; que, si bien es una consecuencia de la ocurrencia de una amenaza, no produce cambios significativos en las actividades ordinarias de la población, y ésta misma es capaz de afrontarlo con facilidad.
- **Medio:** estos incidentes generan pequeños daños puntuales, que impliquen esfuerzos mínimos y por periodos cortos, en tanto que las agencias de atención a la emergencia deberán poner en acción pequeñas actividades, como cierres temporales de calle, pero estos no implican periodos mayores a 24 horas.
- **Significativo:** en esta clase entran todos aquellos incidentes que generan daños tales que son necesarios esfuerzos organizados de preparación para la atención de la emergencia. Estos generan impactos de larga duración o de alto grado de daño. En tanto que implique la suspensión de actividades por largos periodos de tiempo. Este nivel de impacto puede representar un peligro a la vida, medios de vida, infraestructura y aislamiento de comunidades.
- **Severo:** esta clasificación incluye aquellos eventos donde se registran pérdidas totales o de daños prolongados, y son requeridas acciones de las instituciones de respuesta ante emergencias. Esta condición representa un peligro inminente a la vida, daños generalizados a la propiedad y medios de vida y las comunidades permanecerán aisladas por periodos prolongados de tiempo.

Con relación a la descripción de los rangos de probabilidades de la matriz de impacto (Tabla 6), se emplea la siguiente terminología en el informe de impacto:

Tabla 6. Terminología de acuerdo a rangos de probabilidad. Fuente: MARN, 2019.

Probabilidad (%)	Texto a emplear
10 % - 30 %	Existe probabilidad baja (entre el 10 % y el 30 %)
30 % - 60 %	Existe probabilidad media (entre el 30 % y el 60 %)
60 % - 80 %	Existe probabilidad alta (entre el 60 % y el 80 %)
80 % - 100 %	Existe probabilidad muy alta (entre el 80 % y el 100 %)

El número en la matriz de impacto, ha sido asignado considerando cada una de las categorías específicas y su correspondiente incremento en la probabilidad de ocurrencia. Así mismo, y de acuerdo con la severidad del impacto, la DOA emite la información a partir de palabras claves en el informe de impacto respectivo, tal como se muestra en la Tabla 7, con el objetivo de orientar para la toma adecuada de decisiones a las autoridades correspondientes y a la población.

Tabla 7. Palabras clave a emplear en los informes de impacto. Fuente: MARN, 2019.

Número según matriz	Palabras clave
1	Vigilancia
2	Vigilancia
3	Vigilancia
4	Vigilancia
5	Vigilancia
6	Vigilancia
7	Atención
8	Atención
9	Atención
10	Atención
11	Preparación
12	Preparación
13	Preparación
14	Preparación
15	Preparación
16	Tomar acción

Beneficios de un servicio de aviso del impacto

Según la OMM (2015), la elaboración de avisos del impacto y la creación de sistemas que los transmiten se basa en una estrecha coordinación entre los SMHN y diferentes organizaciones, en particular los organismos para la reducción de desastres y protección civil; por lo que, los beneficios de estas asociaciones son múltiples y garantizan que el intercambio de conocimientos y pericia permita que los avisos del impacto respondan a las necesidades de los destinatarios.

Concretamente, el establecimiento de un marco relativo a los impactos conduce a lo siguiente (OMM, 2015):

- Mejor planificación para diferentes situaciones hipotéticas sobre la base de diferentes umbrales y de que se produzcan impactos o combinaciones de impactos;
- Mejores planes de contingencia (hipótesis más optimistas, razonablemente más pesimistas y más probables);
- Información sobre el nivel de confianza en la predicción que proporcionaría información adicional para facilitar la adopción de decisiones (una evaluación de los riesgos mejor fundamentada);
- Información para facilitar mayores beneficios sociales;
- La base para analizar el impacto de los múltiples peligros naturales después del acaecimiento de un fenómeno para facilitar las labores de planificación, respuesta y atenuación relativa al impacto;
- Un proceso integral y coordinado para dirigir la respuesta y preparación ante casos de desastre.

Las predicciones y los avisos de los impactos transmiten un mensaje muy ventajoso para ayudar a quienes estén en situación de riesgo a adoptar las medidas pertinentes para atenuar los efectos perniciosos de los peligros hidrometeorológicos en su conjunto.

3 Zona de estudio

Con base a OPAMSS (2017), el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) es una gestión municipal, que surge en el año de 1987, a partir de la iniciativa de 11 alcaldes municipales, siendo Antiguo Cuscatlán, Apopa, Ayutuxtepeque, Cuscatancingo, Ilopango, Mejicanos, Nejapa, San Marcos, Soyapango, Delgado y la Capital San Salvador, con el objetivo de desarrollar gestiones conjuntas para la reconstrucción de las ciudades y municipios destruidos por el terremoto del 10 de octubre de 1986, para canalizar apoyos para la reconstrucción de las ciudades.

En este contexto se agruparon 11 municipios conformando la primera mancomunidad de municipios a nivel nacional; que inicialmente se denominó Consejo de Alcaldes de la Zona Metropolitana de San Salvador (COAMSS).

Actualmente el AMSS está conformado por 14 municipios, 12 del departamento de San Salvador (Apopa, Ayutuxtepeque, Cuscatancingo, Delgado, Ilopango, Mejicanos, Nejapa, San Marcos, San Martín, Tonacatepeque, Soyapango y la ciudad capital de San Salvador) y 2 del departamento de La Libertad (Antiguo Cuscatlán y Santa Tecla), siendo Tonacatepeque el último en incorporarse en el año de 1996.

Para definir el Área Metropolitana de San Salvador se utilizaron tres criterios principales: la delimitación de áreas contiguas con una elevada proporción de fuerza laboral empleada en actividades no agrícolas; la demarcación de las áreas urbanizadas contiguas, y los estudios de los servicios urbanos compartidos. Al aplicar los criterios quedaron diez municipios incluidos dentro del Área Metropolitana, y se propusieron cuatro agrupaciones adicionales de municipios adyacentes para formar la Región Metropolitana (OPAMSS, 2017).

El Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), se extiende en una superficie que cubre 610 km², con cerca de 1.5 millones de habitantes, que representan el 27% de la población total del país. Está delimitado por tres elementos físicos importantes, como el Volcán de San Salvador al Nor-poniente, el Lago de Ilopango al Sur-oriente y la Cordillera del Bálsamo en su costado Sur (Figura 8). El AMSS representa cerca del 3% del territorio nacional en términos de área, y representa un 5% de los 262 municipios del país.

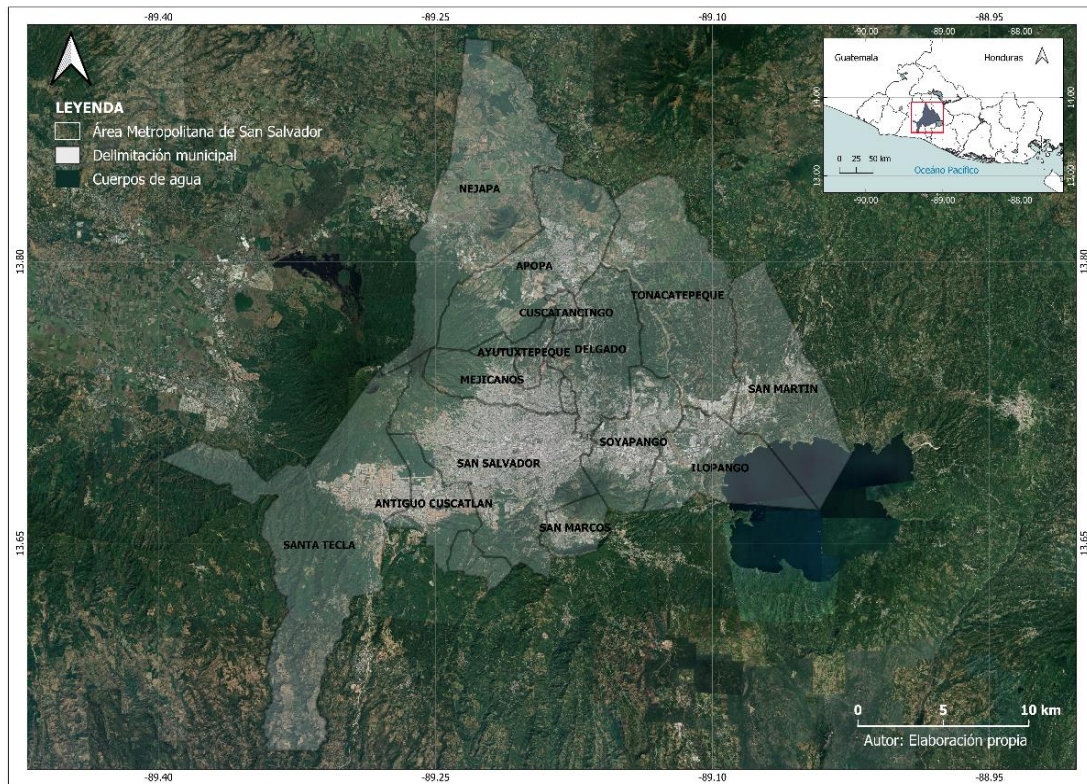


Figura 8. Ubicación del Área Metropolitana de San Salvador.

En el marco de esta agrupación de municipios, la coordinación entre las diferentes municipalidades es de fundamental importancia, ya que el AMSS constituye el principal centro urbano direccional político, financiero y productivo del país, y se ha convertido en una entidad urbana unificada.

4 Metodología

En este apartado, se plantea la metodología utilizada para la recolección de bases de datos, así como el procesamiento respectivo de la información obtenida.

4.1 Trabajo de gabinete

En esta fase, se delimitó la zona de estudio y se construyó la base teórica de la investigación, por medio de la revisión bibliográfica, permitiendo fundamentar una metodología concreta para el desarrollo del trabajo de investigación.

Así mismo, se identificaron las instituciones encargadas de administrar bases de datos, relacionadas a la información prioritaria para la generación de los indicadores de exposición propuestos por la DOA, tales como estadísticas, shapefiles, mapeo de usos de suelos, censos, información de eventos hidrometeorológicos, registros de impactos asociados a amenazas naturales, mapas de amenaza, pronósticos por amenaza, mapas de pronóstico por impactos, mapas de precipitación acumulada, entre otros.

4.1.1 Recolección de datos

El proceso para la recolección de información y bases de datos, fue realizado por medio de la elaboración de solicitudes a las instituciones correspondientes, así como el uso de la información de acceso público disponible en sitios web. Las instituciones a las cuales se les solicitó y consultó información fueron las siguientes:

- Consejo de Alcaldes y Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (COAMSS-OPAMSS),
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN),
- Ministerio de Educación (MINED),
- Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC),
- Dirección General de Protección Civil (DGPC) y
- Fondo de Conservación Vial (FOVIAL).

En las Tablas 8 y 9, se muestra un resumen de la información y datos recolectados, con su fuente respectiva, para el cálculo de los indicadores y la aplicación mediante casos de estudio.

Tabla 8. Indicadores de exposición calculados, mediante modelo propuesto.

Grupo	Indicador	Unidad de medida	Fuente
Clasificación de la zona	Área urbana	km ²	DIGESTYC, 2007.
	Área rural	km ²	DIGESTYC, 2007.
	Área mixta	km ²	DIGESTYC, 2007.
Dinámica de los elementos	Uso habitacional	km ²	COAMSS-OPAMSS, 2016.
	Uso educativo	km ²	COAMSS-OPAMSS, 2016.
	Centros educativos públicos	C.E./km ²	MINED, 2018
	Centros educativos privados	C.E./km ²	MINED, 2018
	Uso sanitario-salud	km ²	COAMSS-OPAMSS, 2016.
	Uso comercial	km ²	COAMSS-OPAMSS, 2016.
	Uso industrial	km ²	COAMSS-OPAMSS, 2016.
	Zonas agropecuarias	km ²	COAMSS-OPAMSS, 2016.
	Red vial	km	FOVIAL, 2019.
	Zonas urbanas precarias	km ²	COAMSS-OPAMSS, 2016.
	Población en asentamientos urbanos precarios	hab./km ²	DIGESTYC, 2019.
	Áreas de entretenimiento	km ²	COAMSS-OPAMSS, 2016.
	Analfabetismo	tasa	DIGESTYC, 2007.
	Población económicamente activa	hab./km ²	DIGESTYC, 2007.
	Capacidades especiales	hab./km ²	DIGESTYC, 2007.

Tabla 9. Información utilizada para la aplicación del modelo de exposición.

Información	Fuente
Informes especiales asociados a eventos hidrometeorológicos	MARN, 2020
Mapas de amenaza	MARN, 2020
Mapas de pronósticos por impactos	MARN, 2020
Mapas de precipitación acumulada	MARN, 2020
Impactos asociados a amenazas naturales	DGPC, 2020

4.1.2 Limitaciones

Es importante destacar algunas dificultades y limitaciones que se presentaron en el proceso de recolección de información; por ejemplo, bases de datos no aptas para ser compartidas por las instituciones encargadas, siendo de acceso restringido y de difícil gestión. Dentro de esta problemática, se sumaron las circunstancias por pandemia COVID-19, haciendo que las solicitudes no fuesen correspondidas de forma efectiva, en términos de tiempo.

Otro factor dentro de las limitaciones es la actualización en las bases de datos, las cuales son necesarias para el cálculo de indicadores, que permitan reflejar el comportamiento real por medio de datos actualizados.

Debido a la falta de información y al acceso restringido de la misma, no se pudo obtener bases de datos de ciertos indicadores que proponía calcular la DOA, dentro del modelo de exposición, algunos de los indicadores a los que no se tuvo acceso para el cálculo respectivo a nivel municipal, se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Indicadores de exposición no calculados debido a la falta de información a detalle.

Indicadores
Viviendas formales e informales
Altura de edificaciones
Establecimientos de salud públicos y privados
Red de distribución eléctrica
Red vial pavimentada y no pavimentada
Cobertura arbórea, etc.

Por lo tanto, la ausencia, restricción y la desactualización de las bases de datos dificulta la integración de información útil dentro de un modelo de exposición.

4.2 Procesamiento de datos

El procesamiento de las bases de datos, se realizó a partir de los elementos y categorización que presenta el modelo de exposición propuesto por la DOA (Figura 9), donde se realizaron los cálculos de cada uno de los indicadores, en dos grupos: la clasificación de la zona y la condición de movilidad del elemento.

Dentro de estos grupos se considera lo siguiente:

- a) **Clasificación de la zona**, el cálculo de área ocupada por clase para la unidad evaluada. En esta clasificación se consideran tres tipos de zonas: rural, urbana y mixta.
- b) **Dinámica de los elementos**, este grupo divide los elementos en:
- i) **Estáticos**: todos aquellos que permanecen fijos en grandes periodos de tiempo, subdividiéndolos en infraestructura (edificaciones y red vial) y medios de vida (zonas agrícolas y áreas naturales protegidas)
 - ii) **Dinámicos**: aquellos elementos en los que existen cambios en un lapso de tiempo más corto, tales como, las características generales de la población (cantidad de habitantes por área) y clasificaciones específicas de estos, como lo son: la población económicamente activa, tasas de analfabetismo, capacidades especiales, entre otras.



Figura 9. Esquema del modelo de exposición y vulnerabilidad propuesto. Fuente: Rivera, 2020.

El modelo propuesto, considera elementos que pueden ser medidos por porcentaje de área ocupada (km^2), longitud en el área (km) o densidades. Permitiendo así generar indicadores normalizados por área municipal que representen pesos por grado de exposición y ciertas características de los elementos presentes en cada uno de los municipios.

Los criterios considerados por la DOA, para seleccionar los elementos del modelo de exposición, son los siguientes:

- **Disponibilidad de la información:** considerando información disponible para cada uno de los municipios del país.
- **Facilidad de medición:** contando con información que permita calcular áreas ocupadas, longitudes o densidades del elemento por área municipal.
- **Capacidad de caracterización o categorización:** dado que no se cuenta con curvas de vulnerabilidad específicas para los elementos disponibles, se proponen criterios basados en características o categorías.

Con base al modelo propuesto, se plantea que, se le puede ser aplicado factores de especial atención en aquellos puntos donde el grado de exposición aumente o incremente el criterio de vulnerabilidad, correspondiendo a sitios donde hayan sido identificados recurrencia de impactos, tales como zonas de derrumbes, desbordamientos de ríos, etc.

Considerando lo expuesto anteriormente; y por medio de las bases de datos obtenidas, fueron calculados los indicadores de exposición a nivel municipal en el Área Metropolitana de San Salvador, mediante herramientas de cálculo y sistemas de información geográfica (SIG). La clasificación de los datos, para la representación en mapas de distribución de los indicadores, se realizó mediante el algoritmo estadístico conocido como **natural break** (Jenks), para establecer una clasificación calificativa de los niveles de exposición, categorizándolos como muy bajo, bajo, medio, significativo y severo, asociado a la matriz de impactos.

Por medio del procesamiento de la información, se presenta el cálculo del compendio de indicadores que comprende el modelo propuesto, así como la representación de los mismos, mediante mapas de distribución. A continuación, se muestran los mapas obtenidos:

a) Clasificación de la zona: urbana, rural y mixta.

La clasificación de las zonas, permiten determinar las características de cada sector, a partir de las actividades que se desarrollan en dichas áreas. La unidad de medida utilizada para el cálculo de estos indicadores, es km^2 .

i) Indicador área urbana

Las áreas o zonas urbanas se definen como aquellos sectores donde se presenta mayor densidad poblacional, mayor desarrollo económico, tecnológico, y donde se desarrollan actividades económicas del sector secundario y terciario (tales como industria y prestación de servicios, etc) (Concepto, 2021).

Los municipios del Área Metropolitana de San Salvador que ocupan mayor área urbana según el cálculo del indicador por km^2 , son San Salvador, Soyapango y Santa Tecla, siendo San Salvador el municipio que ocupa el mayor uso de suelo urbano, con un área de 45.8 km^2 , clasificándolo según el nivel de exposición como severo, seguido de Soyapango con un área de 16.12 km^2 y Santa Tecla con un área de 11.55 km^2 , clasificándose con un nivel de exposición significativo. Nejapa, Ayutuxtepeque y Cuscatancingo, representan el menor uso de suelo urbano en el AMSS, con áreas de 0.36 a 1.74 km^2 , los cuales se clasifican con un nivel de exposición muy bajo, según indicador (Figura 10).

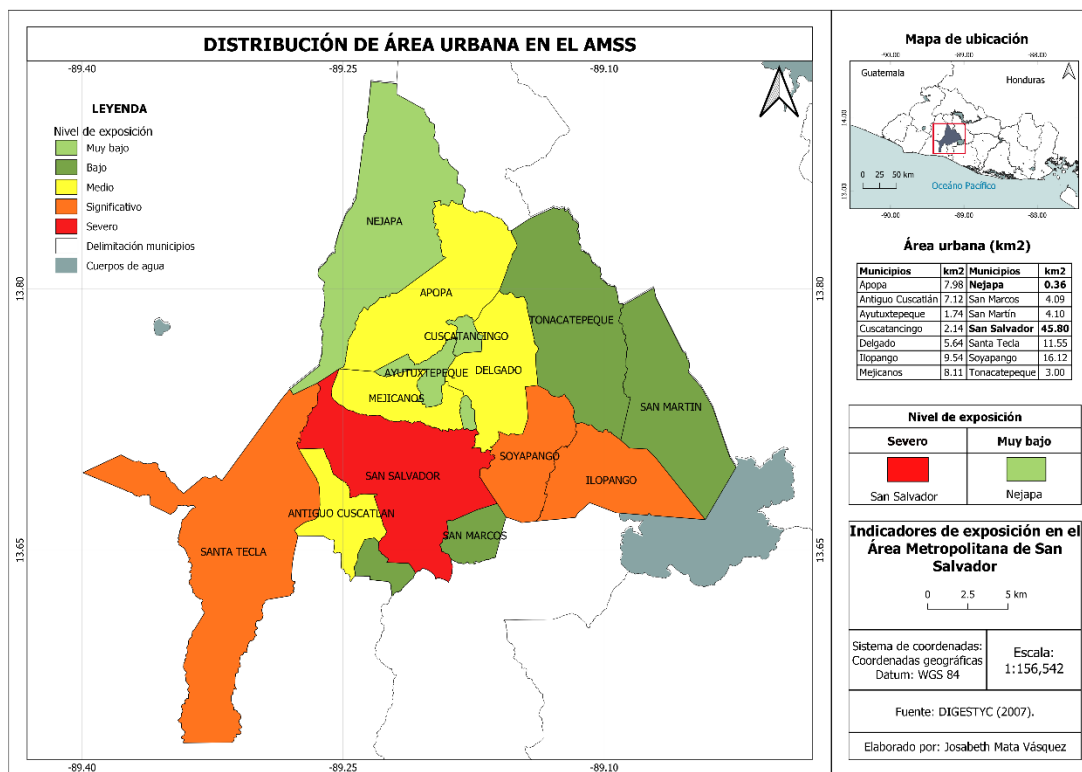


Figura 10. Distribución del indicador de área urbana en los municipios del AMSS, según km².

ii) Indicador área rural

Las áreas rurales se caracterizan por tener una densidad poblacional baja y sectores donde predominan las actividades económicas del sector primario como las actividades agropecuarias, es decir la agricultura, la ganadería, etc. (Concepto, 2021).

El mapa de distribución, según km² de área rural (Figura 11), muestra que Santa Tecla es el municipio que ocupa mayor uso de suelo rural, con un área de 104.7 km², clasificándolo según el nivel de exposición como severo, seguido de Nejapa con un área de 82.84 km² y Tonacatepeque con un área de 64.52 km², clasificándolos según nivel de exposición como significativos. Los municipios que contienen menor uso de suelo rural, son Cuscatancingo con un área de 3.21 km², Ayutuxtepeque con un área de 6.58 km² y San Marcos con un área de 10.52 km², clasificándolos según nivel de exposición como muy bajo. Esto refleja que los municipios con mayor superficie representan mayor área rural debido a su extensión territorial.

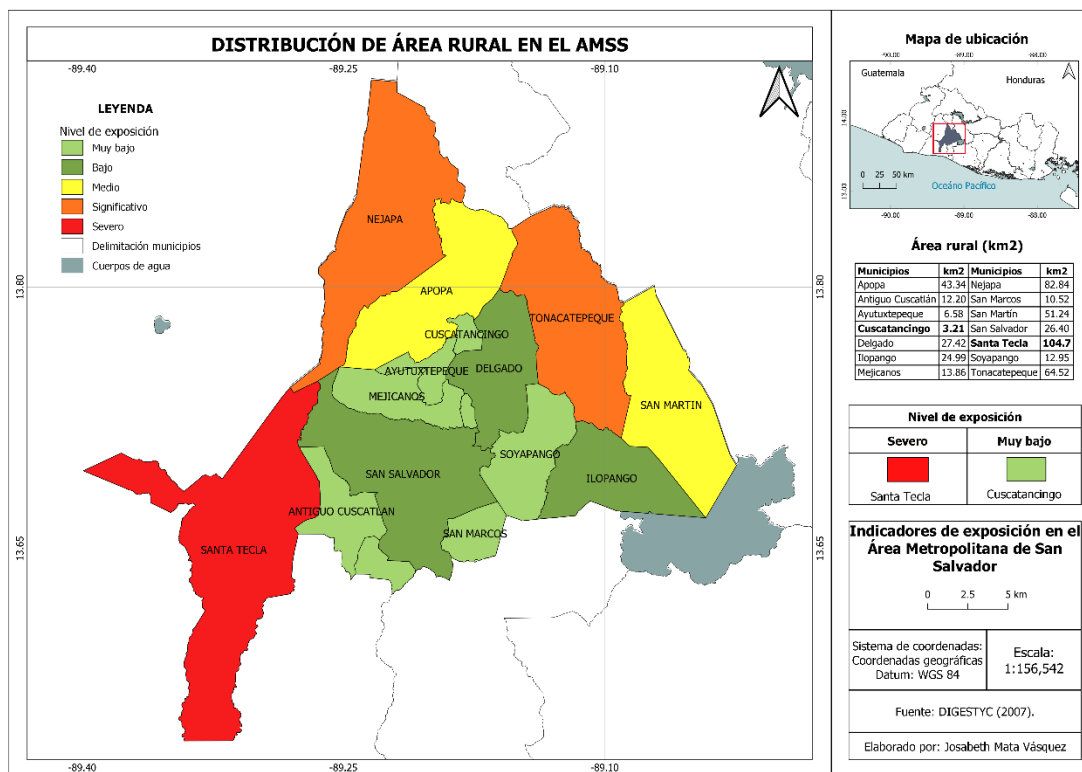


Figura 11. Distribución del indicador de área rural en los municipios del AMSS, según km².

iii) Indicador área mixta

Las áreas mixtas reflejan una combinación de actividades tanto del sector urbano como rural, tales como uso habitacional, comercial, industrial, de salud, educación, actividades agropecuarias, entre otras (Concepto, 2021).

Como se muestra en la Figura 12, el municipio que mayor uso de área mixta ocupa en el AMSS es el municipio de Soyapango, con un área de 0.65 km², clasificándolo según nivel de exposición como severo, seguido de Apopa, San Salvador y San Martín con un área de 0.50 km² respectivamente, los cuales se clasifican según nivel de exposición como significativo. El menor uso de suelos combinados los presenta Tonacatepeque y Cuscatancingo, con un área de 0.03 a 0.05 km², clasificándose según nivel de exposición como muy bajo.

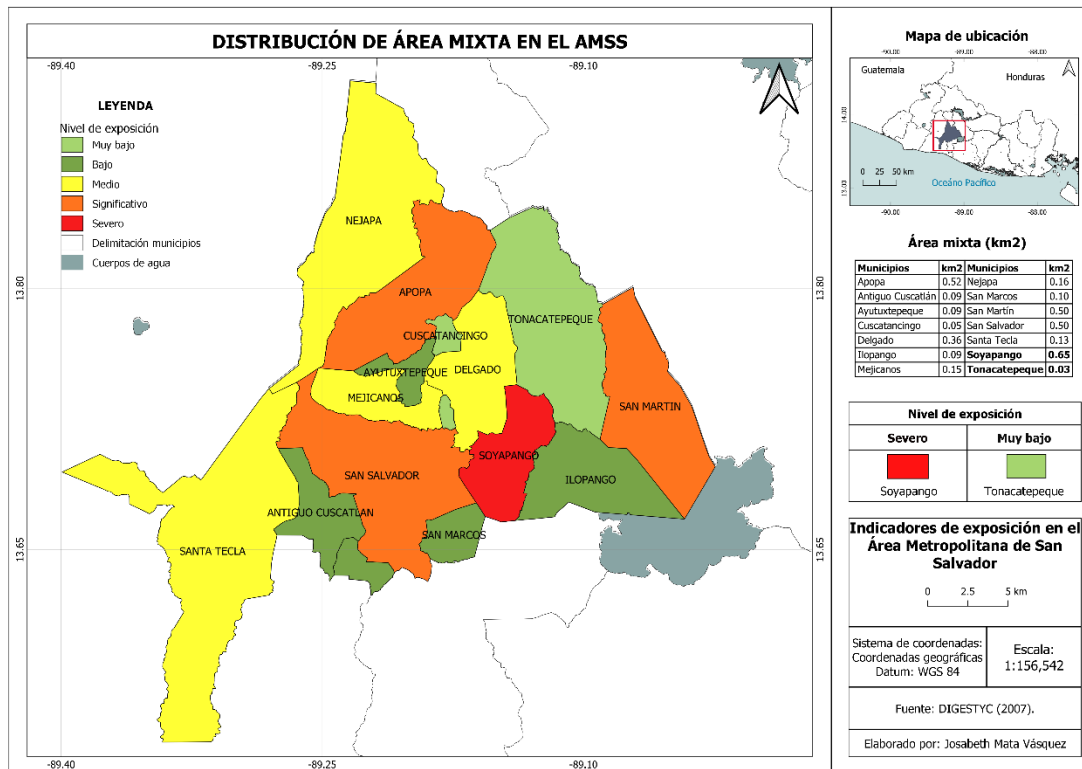


Figura 12. Distribución del indicador de área mixta en los municipios del AMSS, según km².

b) Dinámica de los elementos: estáticos y dinámicos.

Este grupo engloba información de edificaciones, red vial, medios de vida, así como, características generales y específicas de la población, permitiendo establecer indicadores útiles para el conocimiento de todos aquellos elementos con permanencia fija o dinámica.

i) Elementos estáticos: infraestructura y medios de vida.

• **Indicador uso habitacional**

Este indicador comprende aquellas áreas donde existen todo tipo de edificaciones e infraestructura para uso habitacional, calculado en km² (Figura 13). Los municipios que representan mayor área con fines de uso habitacional son San Salvador con un área de 20.3 km², clasificándolo según nivel de exposición como severo, seguido de Soyapango con un área de 10.2 km² y Delgado con un área de 7.90 km², clasificándolos como significativos. Nejapa, San Marcos y Tonacatepeque representan menor uso habitacional, con un área de 2.76 km² a 3.50 km², clasificándolos según nivel de exposición como muy bajo a bajo.

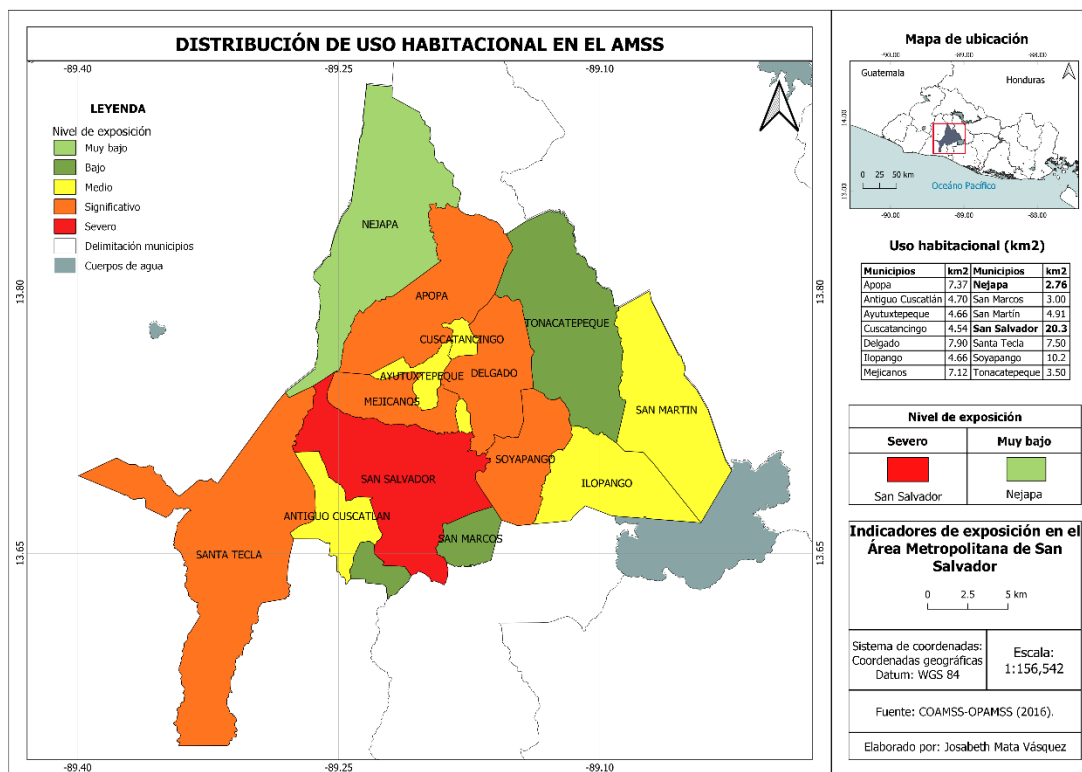


Figura 13. Distribución del indicador de uso habitacional en los municipios del AMSS, según km².

- **Indicador uso educativo**

El indicador de uso educativo, consiste en el cálculo del área total destinada para el desarrollo de actividades educativas, así como su infraestructura, tales como centros escolares, colegios, universidades, etc., calculado en km².

El mapa de distribución (Figura 14), indica que los municipios con mayor índice de uso educativo son San Salvador y Cuscatancingo con un área de 1.90 km², clasificándolos según nivel de exposición como severo, seguido de Santa Tecla con un área de 0.70 km² (según nivel de exposición significativo), siendo Ayutuxtepeque el municipio del AMSS con menor área con fin de uso educativo, con 0.01 km², clasificándolo como bajo, según el nivel de exposición. Así mismo, se presenta la distribución del cálculo de la densidad de centros educativos públicos y privados, donde en la Figura 15, se muestra que el municipio que mayor densidad de centros educativos públicos presenta es Cuscatancingo con un 3.15 de centros educativos públicos/km², clasificándolo según el nivel de exposición como severo, y el municipio que

presenta menor densidad es Nejapa con 0.25 centros educativos públicos/km², clasificándolo como bajo según nivel de exposición.

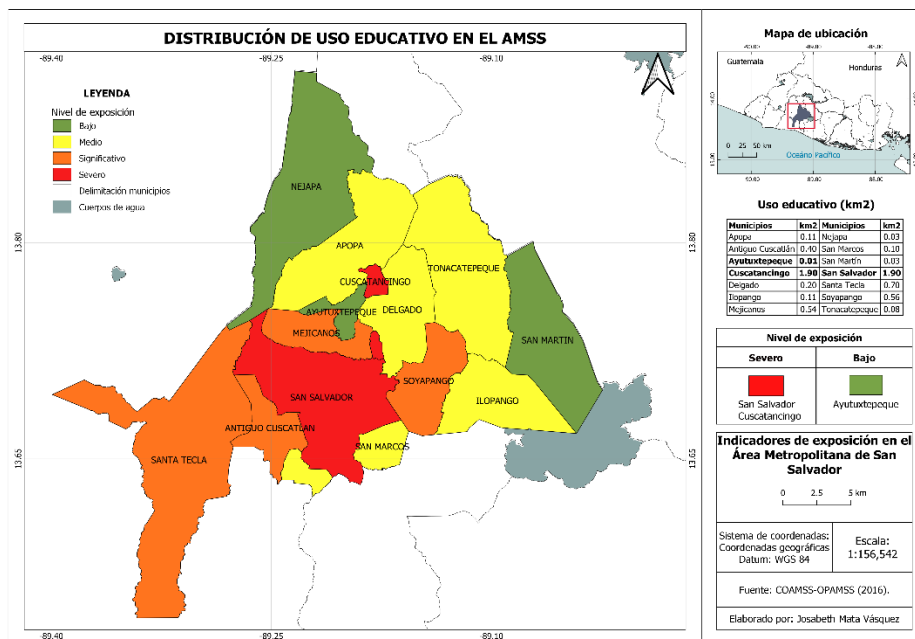


Figura 14. Distribución del indicador de uso educativo en los municipios del AMSS, según km².

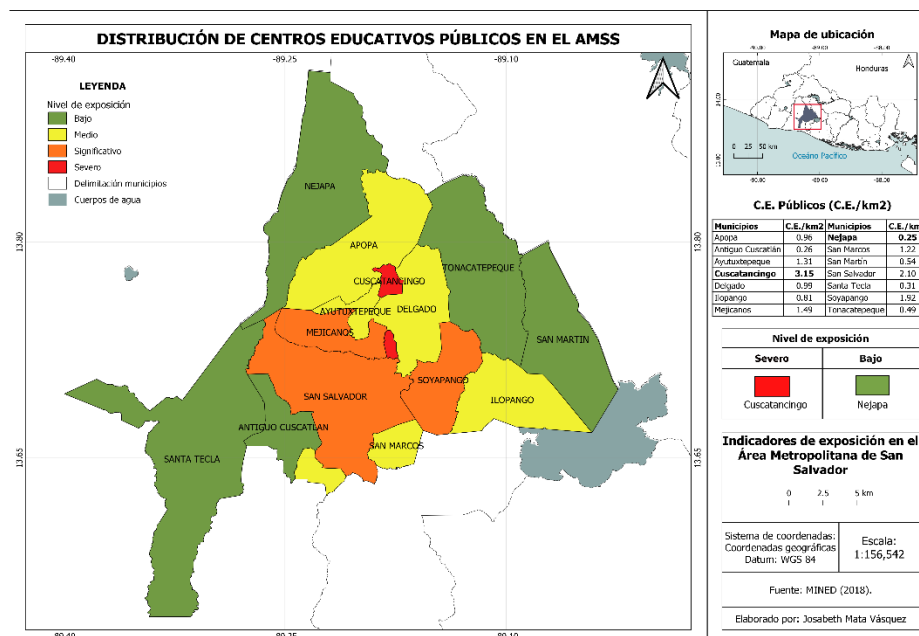


Figura 15. Distribución del indicador de centros educativos públicos en los municipios del AMSS, según centros educativos / km².

En la Figura 16, se muestra el cálculo de la densidad de centros educativos privados, donde Soyapango y San Salvador, presentan mayor densidad con un 2.73 y 2.61 de centros educativos privados/ km², clasificándolos según nivel de exposición como severos. Los municipios con menor densidad son Nejapa y Tonacatepeque con un 0.01 y 0.25 centros educativos privados/ km², clasificándolos según nivel de exposición como bajo.

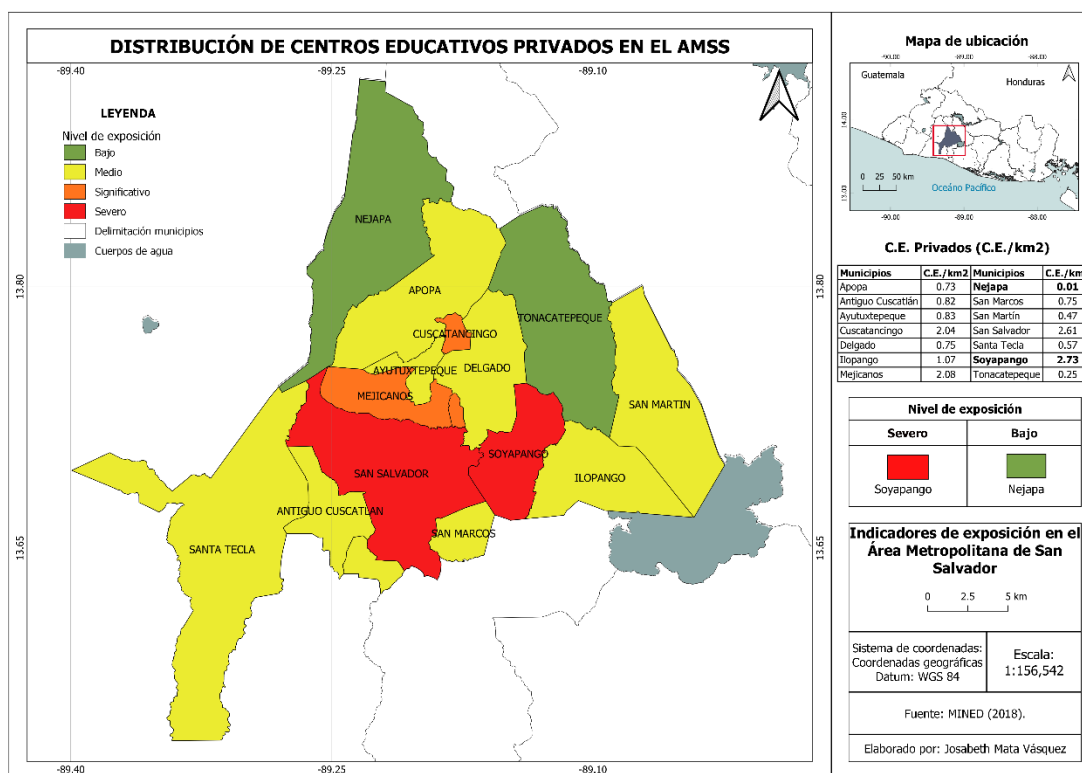


Figura 16. Distribución del indicador de centros educativos privados en los municipios del AMSS, según centros educativos / km².

- **Indicador uso sanitario**

Este indicador permite conocer el área del uso de suelo con fines de atención a la salud, calculada en km², como los son hospitales, unidades de salud, equipamientos sanitarios y asistenciales, siendo de vital importancia ante la necesidad de asistencia médica.

Dicho indicador, refleja a partir de su distribución (Figura 17), que el mayor área utilizada para el uso de salud la ocupa el municipio de San Salvador, con un área de 1.0 km², clasificándolo según nivel de exposición como severo, seguido de Soyapango con un área de 0.17 km²,

clasificándose como significativo; los municipios de Cuscatancingo, Nejapa y Ayutexepeque muestran un bajo indicador asociado al uso de suelo destinado a sistemas de salud, con áreas que rondan entre los 0.01 km², clasificándolos como bajo según nivel de exposición.

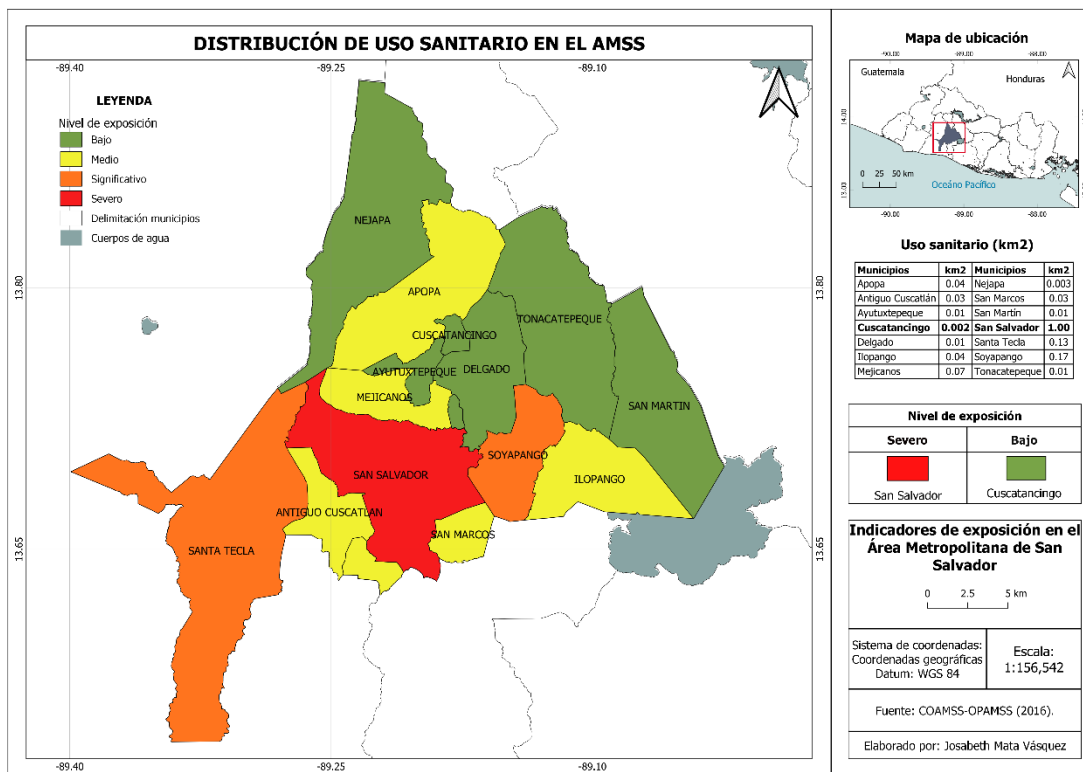


Figura 17. Distribución del indicador de uso sanitario en los municipios del AMSS, según km².

- **Indicador uso comercial**

Mediante el cálculo del indicador de uso comercial, se obtiene el área en km² que ocupa todo tipo de infraestructura relacionada a las actividades de comercio y de servicio, tales como centros comerciales, almacenes, oficinas, restaurantes, tiendas, etc.

Los municipios que ocupan mayor uso de suelo con fines de comercio, según la distribución del indicador de uso comercial, son Soyapango y San Salvador, los cuales poseen un área de 7.40 km² y 7.10 km² respectivamente, clasificándolos según nivel de exposición como severo. Cuscatancingo, Tonacatepeque y Nejapa representan un menor uso comercial, con un área de 0.04 a 0.11 km², clasificándose según nivel de exposición como muy bajo (Figura 18).

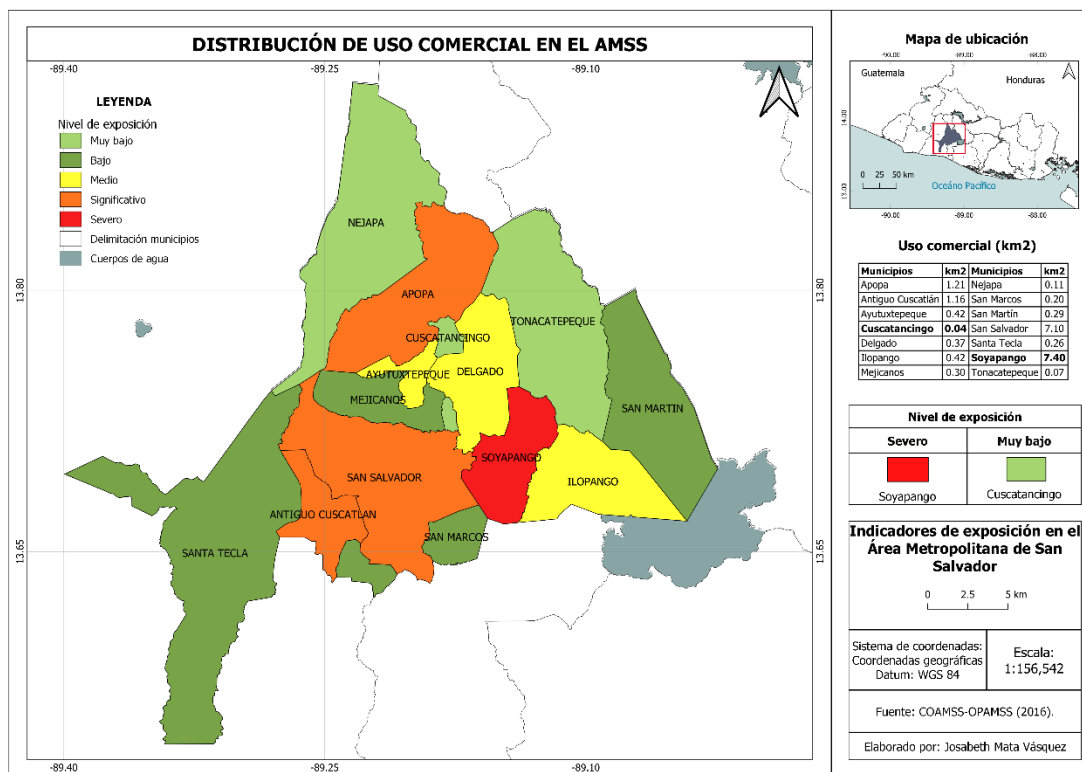


Figura 18. Distribución del indicador de uso comercial en los municipios del AMSS, según km².

- **Indicador uso industrial**

Este indicador, es construido a partir del cálculo del área en km², donde se integran los usos de suelo utilizados con fines industriales, compuesto de fábricas, equipamiento e instalaciones industriales, actividades manufactureras, entre otras.

Según la distribución de este indicador (Figura 19), el municipio de Soyapango es el que mayor uso de suelo con fines industriales ocupa con un área de 1.62 km², clasificándolo como severo según el nivel de exposición, seguido de Ilopango con un área de 1.19 km² y Santa Tecla con un área de 1.00 km², clasificándose según el nivel de exposición como significativo. Los municipios del AMSS, donde no se poseen áreas destinadas al desarrollo de actividades con fines industriales son Ayutuxtepeque y Cuscatancingo, por lo tanto, existe un nivel de exposición bajo asociado al indicador.

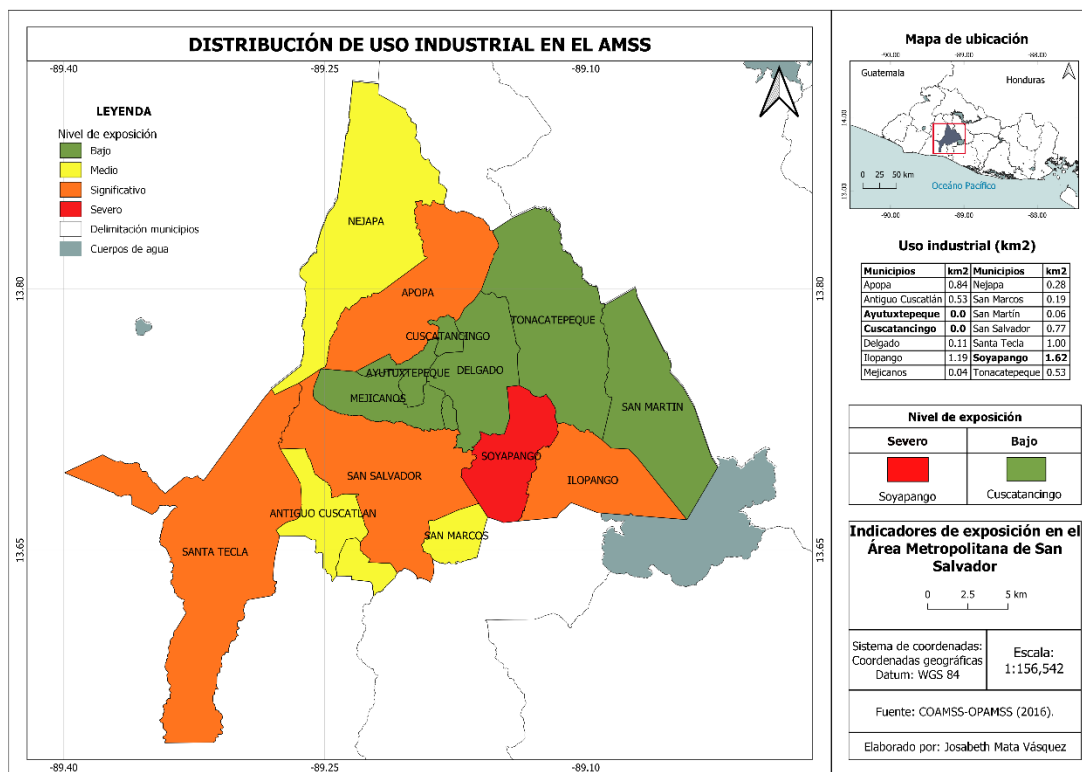


Figura 19. Distribución del indicador de uso industrial en los municipios del AMSS, según km².

- **Indicador de zonas agropecuarias**

El indicador de uso de suelo agropecuario cuenta como un factor de gran importancia para la economía de un área o sector específico. Para el cálculo de este indicador, se consideran sus diferentes elementos tales como sistemas productivos, zonas de cultivo permanentes, ganadería, entre otros.

Los municipios que mayor uso de suelo para el desarrollo de actividades agropecuarias ocupan son Santa Tecla con un área de 89.64 km² y Nejapa con un área de 77.98 km², clasificándose según el nivel de severidad como severo, seguido de Tonacatepeque con un área de 65.34 km², clasificado como significativo. Cuscatancingo y Ayutuxtepeque, indican menor actividad agropecuaria con un área de 2.89 km² y 5.86 km² respectivamente, clasificándose según el nivel de exposición como muy bajo (Figura 20).

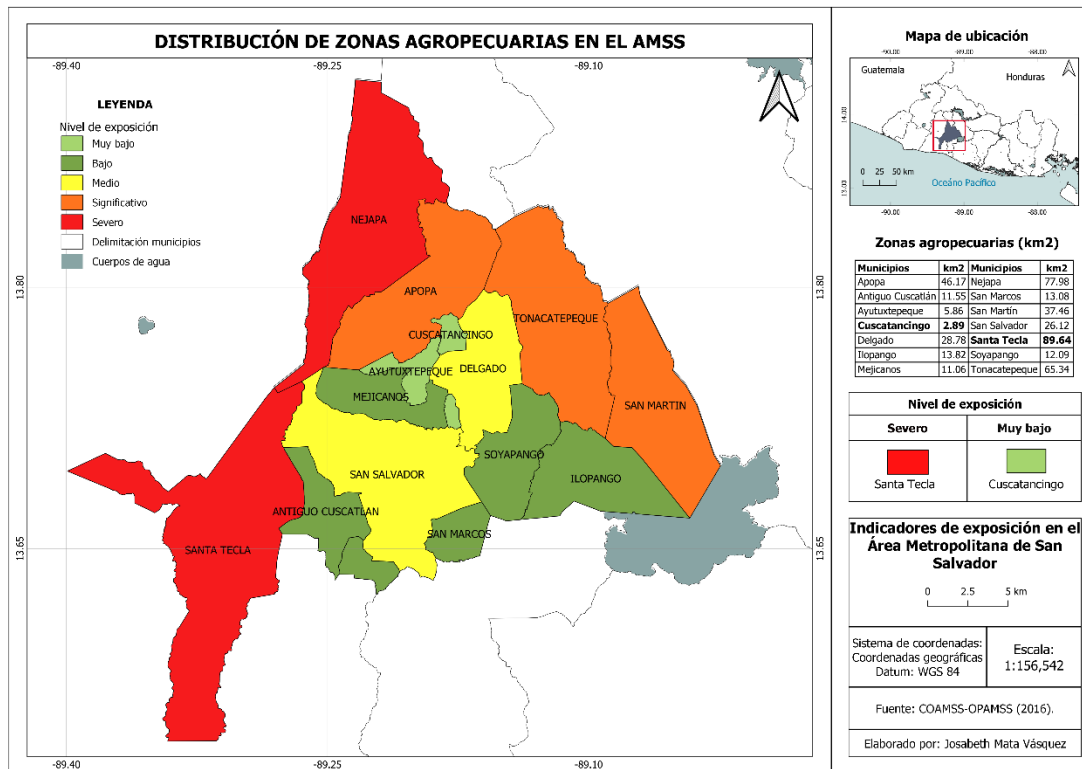


Figura 20. Distribución del indicador de zonas agropecuarias en los municipios del AMSS, según km².

- **Indicador de red vial**

El cálculo de este indicador, consiste en la integración de longitudes de carreteras tanto principales, secundarias y terciarias, según km a nivel municipal. El indicador de red vial es un elemento muy importante, para un modelo de exposición y vulnerabilidad, ya que funcionan como vías terrestres de comunicación y de transporte en cada municipio y el país, en general.

A partir del cálculo de este indicador, se observa en la Figura 21, que el municipio que mayor red vial posee según km es Nejapa con una longitud de 914.13 km, clasificándose según el nivel de exposición como severo, seguido de Santa Tecla con una longitud de 610.37 km y Apopa con 337.78 km, clasificados como significativo. Para este indicador, Cuscatancingo con una longitud de 62.41 km y Ayutuxtepeque con una longitud de 70.79 km, son los municipios que poseen menor red vial, clasificándose según el nivel de exposición como muy bajo.

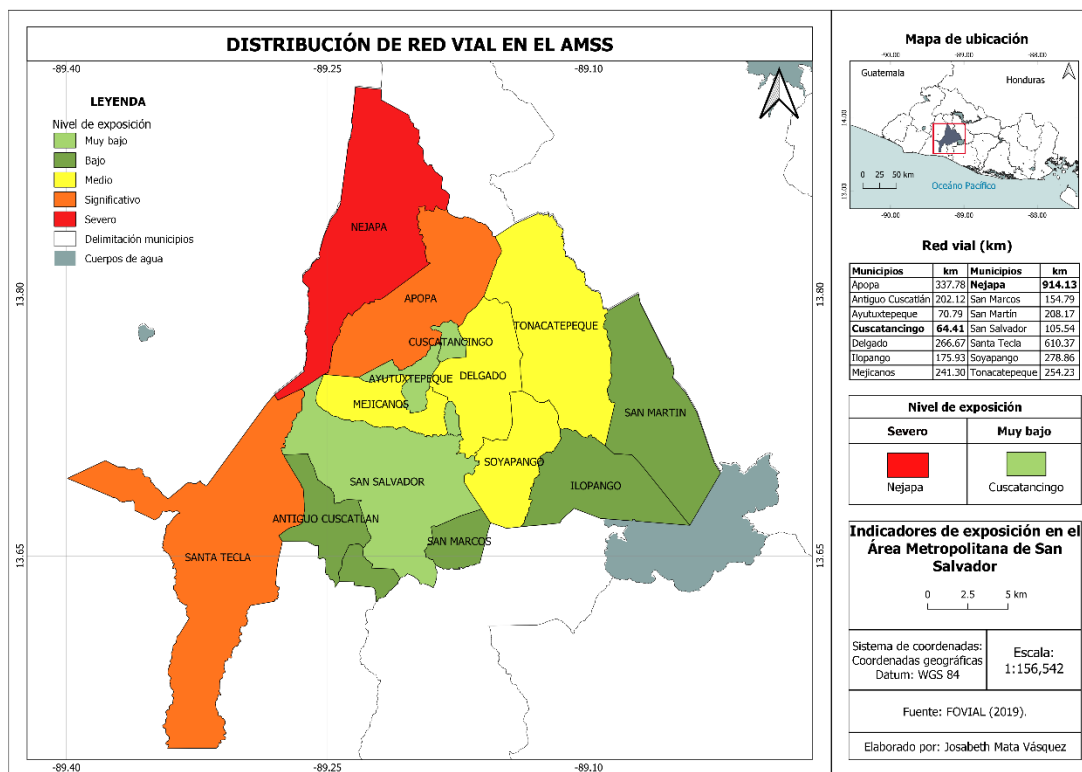


Figura 21. Distribución del indicador de red vial en los municipios del AMSS, según km.

- **Indicador de zonas urbanas precarias**

Este indicador comprende todas aquellas áreas en donde la población que habita, no cuenta con los servicios y necesidades básicas, existen sectores de viviendas en hacinamiento, viviendas no duraderas, viviendas improvisadas e infraestructura precaria, entre otros.

Por medio del mapa de distribución (Figura 22), se observa que San Salvador y Delgado, son los municipios del AMSS que presentan un área mayor de zonas urbanas precarias (ZUP), con 7.85 km² y Delgado con 6.87 km², clasificándose según el nivel de exposición como severo, seguido de Mejicanos con un área de 3.37 km², clasificado como significativo. Los municipios que menor AUP ocupan son Antiguo Cuscatlán y Tonacatepeque, con un área de 0.11 km² y 0.58 km² respectivamente, clasificándolos según el nivel de exposición como muy bajo. Como se muestra en la Figura 23, la mayor densidad poblacional residente en ZUP se encuentra en los municipios de Cuscatancingo, con 2962 hab./km² y Mejicanos con 2077 hab./km², donde según el nivel de exposición se clasifica como severo, seguido de Soyapango con 1622 hab./km² y San Salvador con 1445 hab./km², clasificándolos como significativo. Los municipios con

menor población en AUP del AMSS son Nejapa, Antiguo Cuscatlán y Santa Tecla, donde existe un nivel de exposición muy bajo, asociado al indicador.

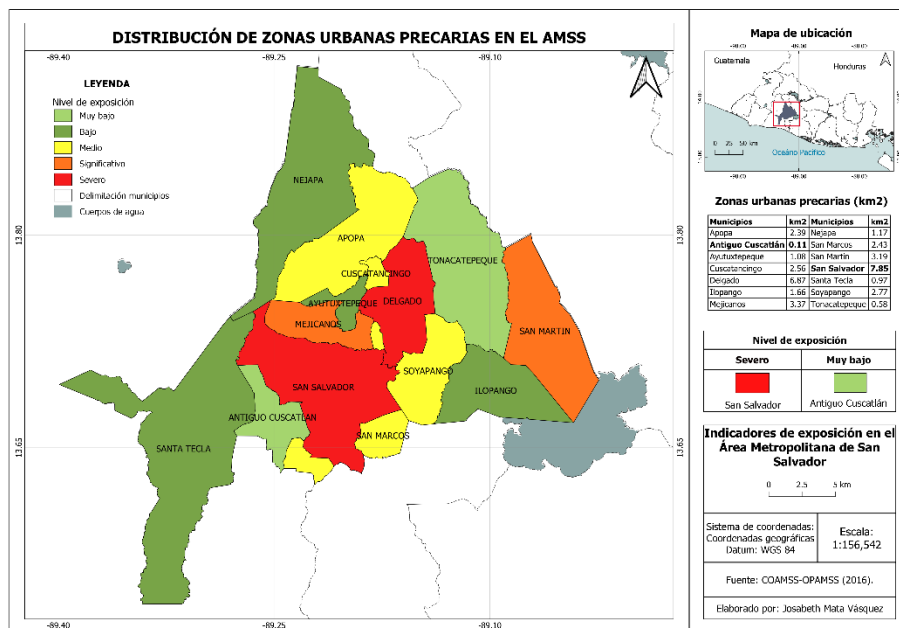


Figura 22. Distribución del indicador de zonas urbanas precarias en los municipios del AMSS, según km².

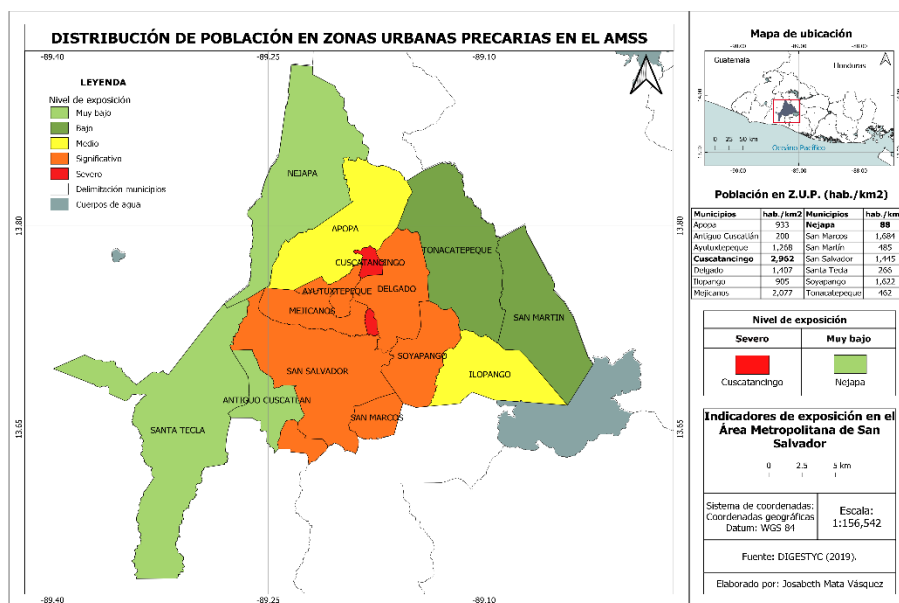


Figura 23. Distribución del indicador de densidad de zonas urbanas precarias en los municipios del AMSS, según hab./km².

- **Indicador uso entretenimiento**

El cálculo del indicador de áreas de entretenimiento, representa los espacios y equipamientos utilizados para la recreación de la población, tales como espacios culturales y religiosos, deportivos, áreas abiertas y sectores recreativos (parques, cines, etc.)

Los municipios del AMSS que ocupan mayor área para uso de entretenimiento (Figura 24) son San Salvador, con un área de 6.10 km², donde existe un nivel de exposición severo, seguido de Antiguo Cuscatlán con un área de 2.82 km², Soyapango con 2.80 km² y Apopa con 2.45 km², clasificándolos según el nivel de exposición como significativo. Donde, Nejapa, San Marcos y Ayutuxtepeque son los municipios que menor área con este fin posee, con áreas de 0.27 km² a 0.43 km², clasificándose con un nivel de exposición bajo.

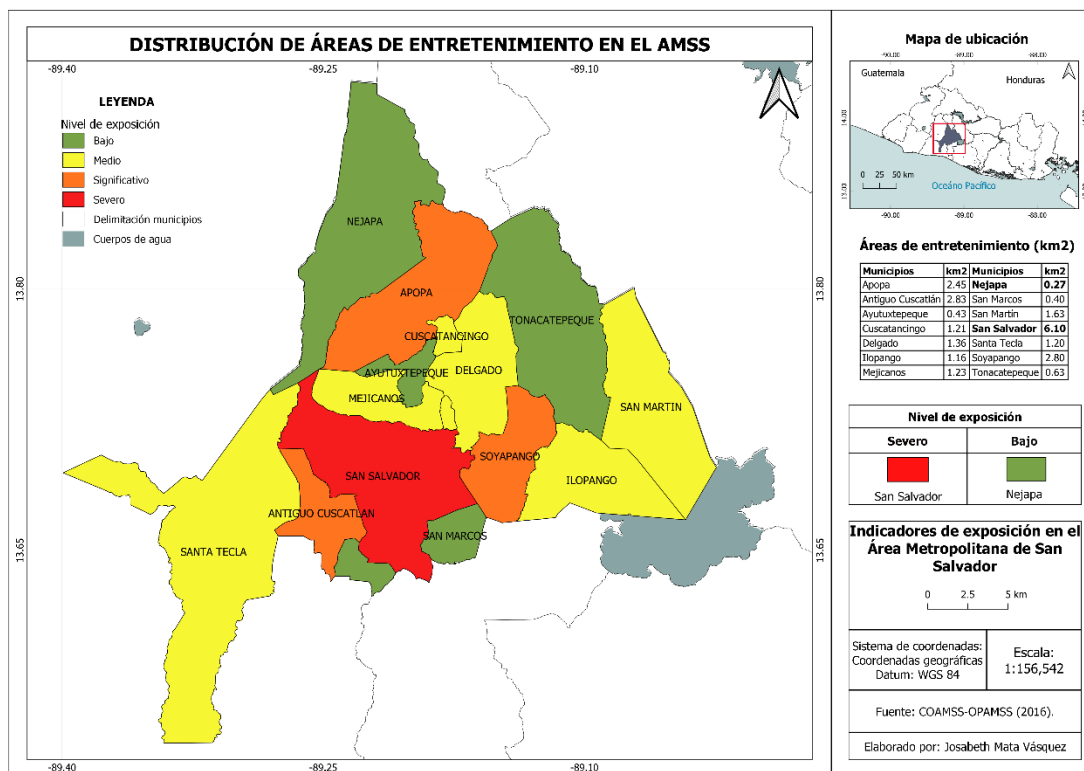


Figura 24. Distribución del indicador de áreas de entretenimiento en los municipios del AMSS, según km².

ii) **Elementos dinámicos:** características de la población.

- **Indicador de densidad poblacional**

La densidad poblacional mide la cantidad promedio de población que habita en una superficie determinada, por lo que, el cálculo de este indicador permite conocer donde se concentra el mayor número de personas, que se podrían ver expuestas ante una amenaza natural.

Según el mapa de distribución (Figura 25), la mayor densidad poblacional se encuentra en el municipio de Cuscatancingo, con 12,296 hab./km², donde según el nivel de exposición se clasifica como severo. Los municipios de Soyapango con 8,554 hab./km², Mejicanos con 6,992 hab./km² y San Salvador con 4,359 hab./km², se clasifican en un nivel de exposición significativo. La menor densidad poblacional se presenta en los municipios de Nejapa con 362 hab./km², Santa Tecla con 1,056 hab./km² y Tonacatepeque con 1,332 hab./km², los cuales se clasifican con un nivel de exposición muy bajo.

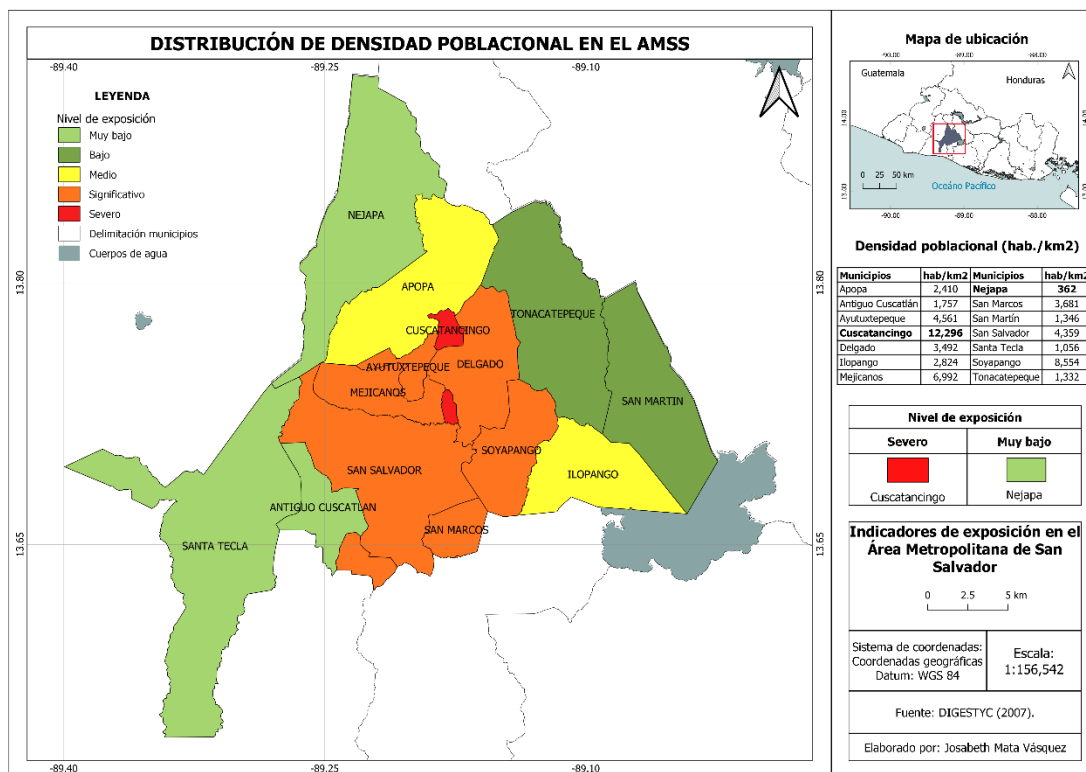


Figura 25. Distribución del indicador de densidad poblacional en los municipios del AMSS, según hab./km².

- **Indicador de tasa de analfabetismo**

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2010) define el analfabetismo como la situación de una persona que no posee las habilidades para leer, escribir y comprender una frase simple y corta. La medición del analfabetismo obtenida desde la Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples (EHPM) de DIGESTYC (2007), se refiere a las personas que responden no saben leer ni escribir. Este indicador es útil entre las características de la población, para poder establecer estrategias de comunicación ante la necesidad de informar para la toma de diferentes acciones.

La mayor tasa de analfabetismo, la posee el municipio de Nejapa con una tasa de 16.60, clasificándose según nivel de exposición como severo, seguido de San Martín con una tasa del 9.90 y Apopa con 9.30, donde según el nivel de exposición se clasifican como significativos; siendo Antiguo Cuscatlán, el municipio del AMSS que menor tasa de analfabetismo presenta con una tasa de 4.0, presentando un nivel de exposición bajo (Figura 26).

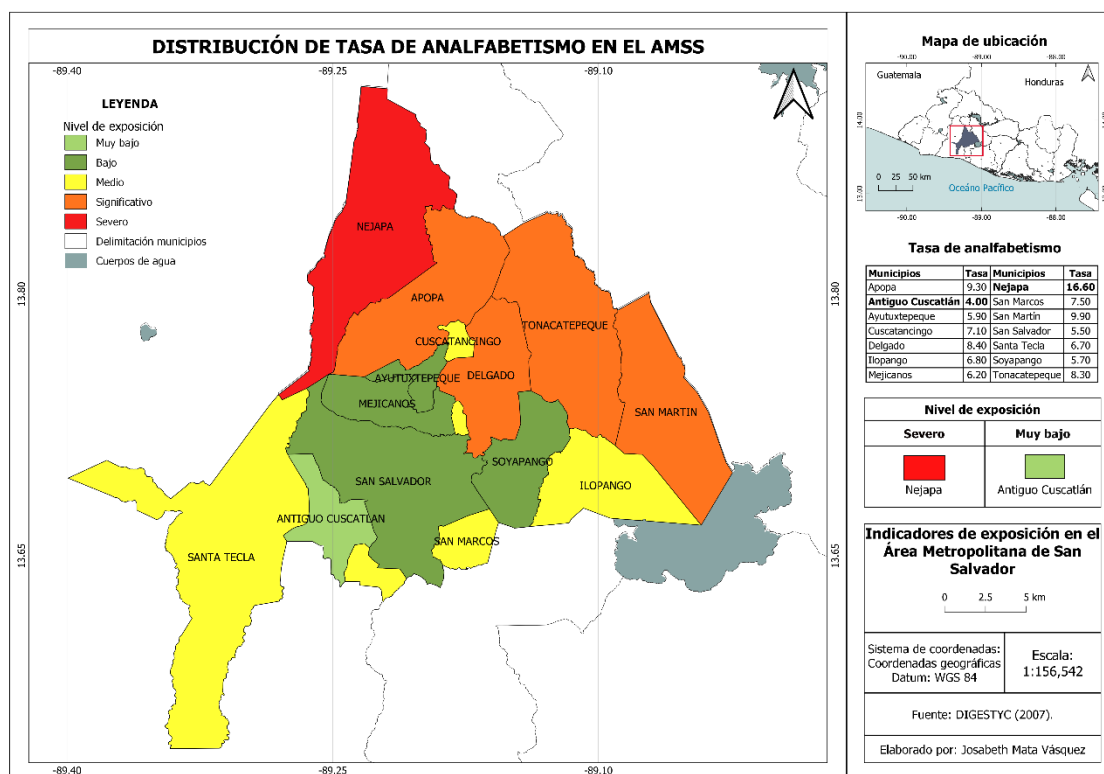


Figura 26. Distribución del indicador de tasa de analfabetismo en los municipios del AMSS.

- **Indicador de población económicamente activa (PEA)**

La población económicamente activa, también denominada fuerza de trabajo, corresponde a la cantidad de personas que se encuentra en la etapa de la vida laborable o productiva. Además, se conoce como la población capaz de aportar bienes o servicios al mercado debido a que cumple con determinadas características, como por ejemplo, rango de edad, experiencia laboral, niveles académicos, entre otras (Concepto, 2022).

La mayor densidad de población económicamente activa (Figura 27), la posee el municipio de Cuscatancingo con 6,820 hab./km², clasificándolo según el nivel de exposición como severo, seguido de Soyapango con 4,378 hab./km² y Mejicanos con 3,561 hab./km², clasificados como significativo según el nivel de exposición. Nejapa, es el municipio del AMSS que representa menor densidad de PEA con 205 hab./km², clasificándose como muy bajo según nivel de exposición.

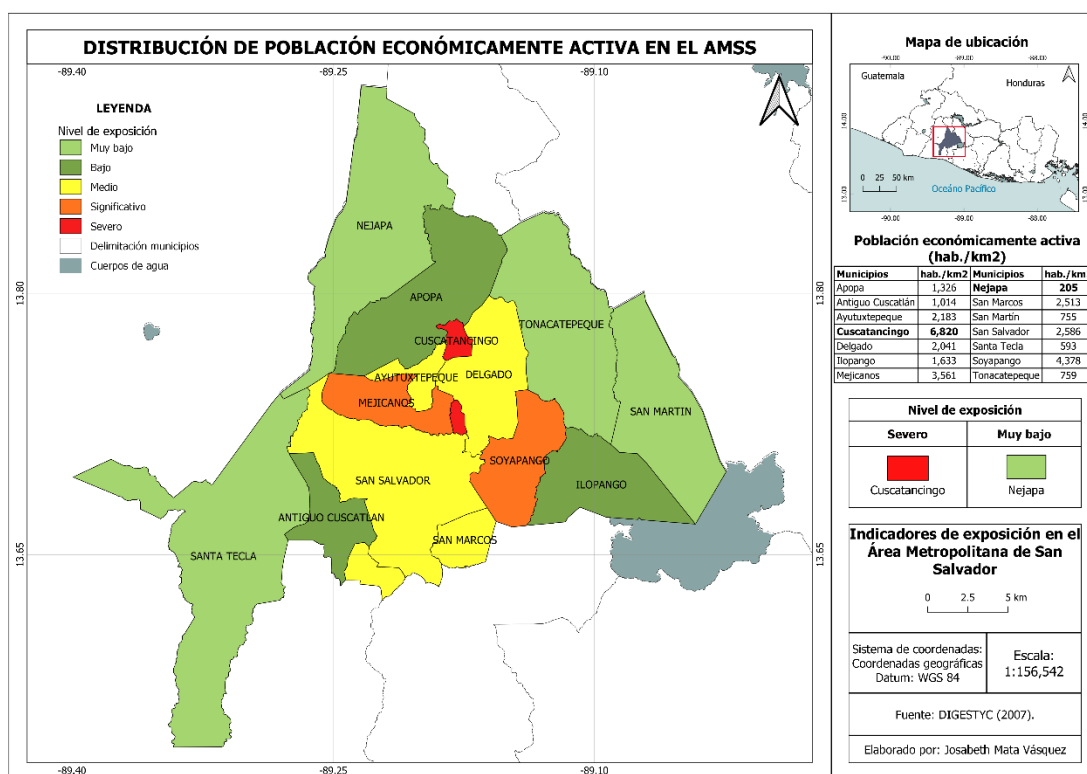


Figura 27. Distribución del indicador de población económicamente en los municipios del AMSS, según hab./km².

- **Indicador de capacidades especiales**

A partir de este indicador se obtiene una referencia, en la cual se determina la densidad poblacional que presentan temporal o permanentemente una limitación, pérdida o disminución de sus facultades físicas, intelectuales o sensoriales, para la realización de sus actividades naturales.

De acuerdo, al mapa de distribución (Figura 28), los municipios que presentan mayor densidad poblacional con capacidades especiales, son Cuscatancingo con 411 hab./km², clasificándolo según el nivel de exposición como severo, seguido de Soyapango con 305 hab./km² y Mejicanos con 249 hab./km², clasificándolos como significativos según el nivel de exposición. Siendo Nejapa con 14 hab./km² y Santa Tecla con 35 hab./km², los municipios que presentan menor densidad poblacional con estas características, clasificándose como muy bajo nivel de exposición.

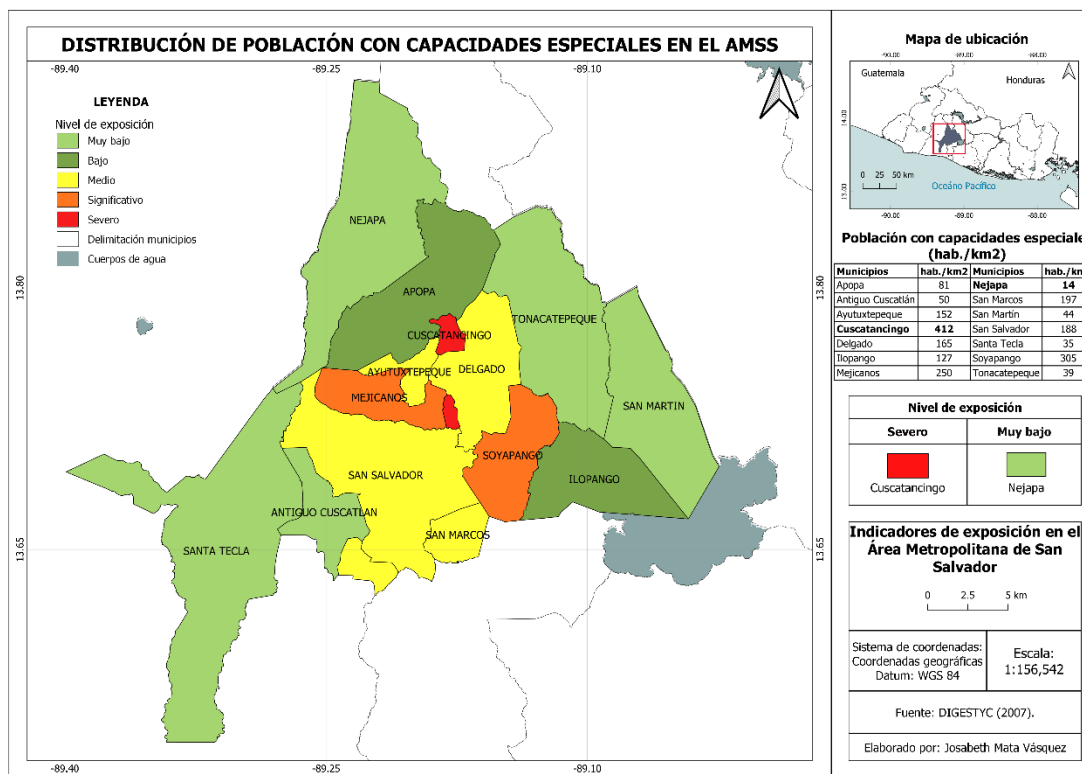


Figura 28. Distribución del indicador de capacidades especiales en los municipios del AMSS, según hab./km².

- Integración de indicadores - Modelo de exposición

La integración de indicadores se realizó a partir del cálculo porcentual del total de indicadores propuestos, para obtener la representación de un modelo compuesto por los elementos considerados dentro del modelo de exposición, permitiendo agrupar toda esta información por municipio y ser presentado de forma gráfica, para conocer su distribución e identificar los municipios que presentan mayor porcentaje de elementos expuestos y su nivel de exposición. Como se muestra, en la Figura 29, el municipio que presenta mayor exposición según los resultados obtenidos, es San Salvador, quien representa un 18.30 %, del cálculo porcentual de los indicadores, clasificándose según el nivel de exposición como severo, seguido de Soyapango con un 12.10 % y Santa Tecla con un 10.0 %; con un nivel de exposición significativo; y los municipios que presentan menor exposición según el mapa de distribución son Ayutuxtepeque y Tonacatepeque con un 3.30 % y 3.60%, con un nivel de exposición muy bajo.

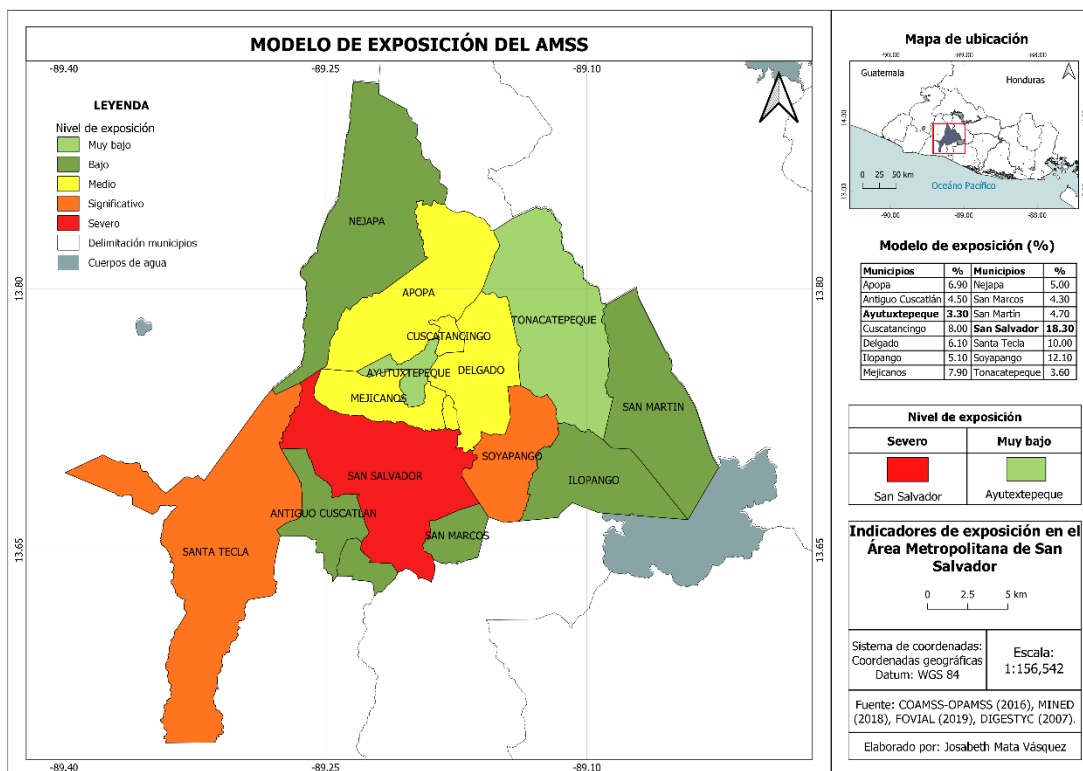


Figura 29. Modelo de exposición del Área Metropolitana de San Salvador, según porcentaje.

En la Tabla 11, se agrupan los resultados del cálculo de los indicadores considerados según el modelo propuesto, y en la Tabla 12 se muestra el cálculo porcentual de los indicadores, presentándose en la última columna de la tabla el valor porcentual de la integración de los indicadores (modelo de exposición). La Tabla 13, representa la clasificación y categorización de los indicadores del modelo de exposición calculados según su unidad de medida.

Tabla 11. Indicadores de exposición del Área Metropolitana de San Salvador, según unidad de medida.

Municipios	Área urbana (km2)	Área rural (km2)	Área mixta (km2)	Uso habitacional (km2)	Zonas urbanas precarias (km2)	Uso comercial (km2)	Uso Industrial (km2)	Uso entretenimiento (km2)	Uso sanitario (km2)	Uso educativo (km2)	Centros educativos públicos (C.E./km2)	Centros educativos privados (C.E./km2)	Longitud vial (km)	Zonas agropecuarias (km2)	Áreas naturales protegidas (km2)	Población económicamente activa (hab./km2)	Población en ZUP (hab./km2)	Tasa de analfabetismo	Capacidades especiales (hab./km2)
San Salvador	45.8	26.4	0.5	20.3	7.85	7.1	0.77	6.1	1	1.9	2.1	2.61	105.54	26.12	0.414	2586	1445	5.5	187.9
Soyapango	16.12	12.95	0.63	10.2	2.77	7.4	1.62	2.8	0.17	0.56	1.92	2.73	278.86	12.09	0	4378	1622	5.7	305.1
Santa Tecla	11.55	104.7	0.13	7.5	0.97	0.26	1	1.2	0.13	0.7	0.31	0.57	610.37	89.64	1.843	593	266	6.7	35
Ilopango	9.54	24.99	0.091	4.66	1.66	0.42	1.19	1.16	0.04	0.11	0.81	1.07	175.93	13.82	0	1633	905	6.8	126.6
Mejicanos	8.11	13.86	0.15	7.12	3.37	0.3	0.044	1.23	0.067	0.54	1.49	2.08	241.3	11.058	0.922	3561	2077	6.2	249.5
Apopa	7.98	43.34	0.52	7.37	2.39	1.21	0.84	2.45	0.04	0.11	0.96	0.73	337.78	46.14	0	1326	933	9.3	81.3
Antiguo Cuscatlán	7.12	12.2	0.09	4.7	0.11	1.16	0.53	2.83	0.03	0.4	0.26	0.82	202.12	11.55	0.385	1014	200	4	50.4
Delgado	5.64	27.42	0.36	7.9	6.87	0.37	0.11	1.36	0.012	0.2	0.99	0.75	266.67	28.78	0	2041	1407	8.4	165.3
San Martín	4.1	51.24	0.5	4.91	3.19	0.29	0.056	1.63	0.0088	0.031	0.54	0.47	208.17	37.46	0	755	485	9.9	43.8
San Marcos	4.089	10.521	0.1	3	2.43	0.2	0.19	0.4	0.03	0.1	1.22	0.75	154.79	13.08	0	2513	1684	7.5	196.9
Tonacatepeque	3	64.52	0.028	3.5	0.58	0.72	0.05	0.63	0.0112	0.079	0.49	0.25	254.23	65.34	0	759	462	8.3	39.2
Cuscatancingo	2.14	3.21	0.05	4.54	2.56	0.042	0	1.21	0.002	1.9	3.15	2.04	62.41	2.891	0	6820	2962	7.1	411.7
Ayutuxtepeque	1.74	6.58	0.09	4.66	1.08	0.42	0	0.43	0.005	0.01	1.31	0.83	70.79	5.866	0	2183	1268	5.9	152.2
Nejapa	0.355	82.84	0.16	2.76	1.17	0.11	0.28	0.27	0.003	0.015	0.25	0.012	914.13	77.98	0	205	88	16.6	14.3

Tabla 12. Indicadores de exposición del Área Metropolitana de San Salvador, según porcentaje.

Municipios	Área urbana	Área rural	Área mixta	Uso habitacional	Zonas urbanas precarias	Uso comercial	Uso Industrial	Uso entretenimiento	Uso sanitario	Uso educativo	Centros educativos públicos	Centros educativos privados	Red vial	Zonas agropecuarias	Áreas naturales protegidas	Población económicamente activa	Población en AUP	Tasa de analfabetismo	Capacidades especiales	Integración de indicadores
San Salvador	36.0%	5.4%	14.6%	21.8%	21.2%	36.7%	11.5%	25.7%	64.6%	28.5%	13.3%	16.6%	2.7%	5.9%	11.6%	8.5%	9.1%	5.1%	9.1%	18.3%
Soyapango	12.7%	2.7%	19.0%	11.0%	7.5%	38.2%	24.3%	11.8%	11.0%	8.4%	12.2%	17.4%	7.2%	2.7%	0.0%	14.4%	10.3%	5.3%	14.8%	12.1%
Santa Tecla	9.1%	21.6%	3.8%	8.1%	2.6%	1.3%	15.0%	5.1%	8.4%	10.5%	2.0%	3.6%	15.7%	20.3%	51.7%	2.0%	1.7%	6.2%	1.7%	10.9%
Ilopango	7.5%	5.2%	2.7%	5.0%	4.5%	2.2%	17.8%	4.9%	2.6%	1.7%	5.1%	6.8%	4.5%	3.1%	2.6%	5.4%	5.7%	6.3%	6.1%	5.1%
Mejicanos	6.4%	2.9%	4.4%	7.6%	9.1%	1.6%	0.7%	5.2%	4.3%	8.1%	9.4%	13.2%	6.2%	2.5%	25.9%	11.7%	13.1%	5.7%	12.1%	7.9%
Apopa	6.3%	8.9%	15.2%	7.9%	6.5%	6.3%	12.6%	10.3%	2.6%	1.7%	6.1%	4.6%	8.7%	10.4%	0.0%	4.4%	5.9%	8.6%	3.9%	6.9%
Antiguo Cuscatlán	5.6%	2.5%	2.6%	5.0%	0.3%	6.0%	7.9%	11.9%	1.9%	6.0%	1.6%	5.2%	5.2%	2.6%	10.8%	3.3%	1.3%	3.7%	2.4%	4.5%
Delgado	4.4%	5.7%	10.5%	8.5%	18.6%	1.9%	1.6%	5.7%	0.8%	3.0%	6.3%	4.8%	6.9%	6.5%	0.0%	6.7%	8.9%	7.8%	8.0%	6.1%
San Martín	3.2%	10.6%	14.6%	5.3%	8.6%	1.5%	0.8%	6.9%	0.6%	0.5%	3.4%	3.0%	5.4%	8.5%	0.0%	2.5%	3.1%	9.2%	2.1%	4.7%
San Marcos	3.2%	2.2%	2.9%	3.2%	6.6%	1.0%	2.8%	1.7%	1.9%	1.5%	7.7%	4.8%	4.0%	3.0%	0.0%	8.3%	10.7%	7.0%	9.6%	4.3%
Tonacatepeque	2.4%	13.3%	0.8%	3.8%	1.6%	0.4%	0.7%	2.7%	0.7%	1.2%	3.1%	1.6%	6.5%	14.8%	0.0%	2.5%	2.9%	7.7%	1.9%	3.6%
Cuscatancingo	1.7%	0.7%	1.5%	4.9%	6.9%	0.2%	0.0%	5.1%	0.1%	28.5%	19.9%	13.0%	1.6%	0.7%	0.0%	22.5%	18.7%	6.6%	20.0%	8.0%
Ayutuxtepeque	1.4%	1.4%	2.6%	5.0%	2.9%	2.2%	0.0%	1.8%	0.3%	0.2%	8.3%	5.3%	1.8%	1.3%	0.0%	7.2%	8.0%	5.5%	7.4%	3.3%
Nejapa	0.3%	17.1%	4.7%	3.0%	3.2%	0.6%	4.2%	1.1%	0.2%	0.2%	1.6%	0.1%	23.5%	17.6%	0.0%	0.7%	0.6%	15.4%	0.7%	5.0%

Tabla 13. Indicadores de exposición del Área Metropolitana de San Salvador, según su clasificación y categorización.

Nombre del Indicador (Elemento expuesto)		Clasificaciones especiales	Unidad de medición	Santa Tecla	San Salvador	Soyapango	Mejicanos	Antiguo Cuscatlán	Apopa	Nejapa	Delgado	Tonacatepeque	Ilopango	Ayutuxtepeque	San Marcos	San Martín	Cuscatancingo	
Infraestructura	Vivienda	Total	Área (km ²)	7.50	20.3	10.2	7.12	4.7	7.37	2.76	7.9	3.5	4.66	4.66	3	4.91	4.54	
		Formal	Área (km ²)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Informal	Área (km ²)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Zonas urbanas precarias	Área (km ²)	0.97	7.85	2.77	3.37	0.11	2.39	1.17	6.87	0.58	1.66	1.08	2.43	3.19	2.56	
	Edificios	Altura	Altura por área	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Total	Área (km ²)	ND	8.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8.7
		Pública	Área (km ²)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Privada	Área (km ²)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Comercio	Área (km ²)	0.26	7.1	7.4	0.3	1.16	1.21	0.11	0.37	0.072	0.42	0.42	0.2	0.29	0.042	
		Industrial	Área (km ²)	1	0.77	1.62	0.044	0.53	0.84	0.28	0.11	0.05	1.19	0	0.19	0.056	0	
		Entretenimiento	Área (km ²)	1.2	6.1	2.8	1.23	2.83	2.45	0.27	1.36	0.63	1.16	0.43	0.4	1.63	1.21	
	Establecimientos de salud	Total	Área (km ²)	0.13	1	0.17	0.067	0.03	0.04	0.003	0.012	0.0112	0.04	0.005	0.03	0.0088	0.002	
		Pública	Área (km ²)	ND	ND	1.92	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		Privada	Área (km ²)	ND	ND	2.73	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	Establecimientos educativos	Total	Área (km ²)	0.7	1.9	0.56	0.54	0.4	0.11	0.015	0.2	0.079	0.11	0.01	0.1	0.031	1.9	
		Pública	Densidad	0.31	2.1	ND	1.49	0.26	0.96	0.25	0.99	0.49	0.81	1.31	1.22	0.54	3.15	
		Privada	Densidad	0.57	2.61	ND	2.08	0.82	0.73	0.012	0.75	0.25	1.07	0.83	0.75	0.47	2.04	
	Red de distribución eléctrica	Unidades	Densidad	610.37	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Longitud cubierta	Longitud (km)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Red vial	Total	Longitud (km)	ND	105.54	278.86	241.3	202.12	337.78	914.13	266.67	254.23	175.93	70.79	154.79	208.17	62.41	
		Pavimentada	Longitud (km)	34.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		No pavimentada	Longitud (km)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		Principal	Longitud (km)	89.64	96.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		Secundaria	Longitud (km)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	Medios de vida	Zonas agropecuarias	Total	Área (km ²)	1.843	26.124	12.09	11.058	11.55	46.14	77.98	28.78	65.34	13.82	5.866	13.08	37.46	2.891
			Tipo de actividad	Área (km ²)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Áreas naturales protegidas	Total	Área (km ²)	ND	0.414	0	0.922	0.385	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Biodiversidad	Área (km ²)	14.19	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobertura arbórea	Altura	Densidad	1,087	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
	Número	Área (km ²)	ND	0.797	ND	0.957	0.289	0.01	3.31	ND	ND	0.312	ND	ND	2.35	ND		
Habitantes	Población general	Población total	Densidad	593	4,375.0	8,123.0	6,363.0	1,736.0	2,533.0	353.0	3,597.0	1,346.0	2,999.0	4,127.0	4,297.0	1,303.0	12,296.0	
	Características específicas de la población	Étareos	Densidad	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		Población económicamente activa	Densidad	593	2586	4,378	3,561	1014	1326	205	2041	759	1633	2183	2,513	755	6820	
		Población que vive en asentamientos urbanos precarios	Densidad	266	1,445	1,622.00	2,077.00	200	933	88	1,407	452	905	1,268	1,684	485	2,962	
		Tasa de analfabetismo	Densidad	6.7	5.5	5.7	6.2	4	9.3	16.6	8.4	8.3	6.8	5.9	7.5	9.9	7.1	
		Capacidades especiales	Densidad	35	187.9	305.1	249.5	50.4	81.3	14.3	165.3	39.2	126.6	152.2	196.9	43.8	411.7	

4.3 Metodología de aplicación del modelo

Como plantea la DOA, el objetivo principal del modelo de exposición, es contar con una guía en el proceso de asignación del nivel de severidad de los impactos potenciales ante amenazas de origen natural, a partir de la caracterización y categorización de elementos expuestos, para obtener pesos por grado de exposición, a nivel municipal. Para este propósito, el cálculo de los indicadores que componen el modelo de exposición, son integrados para ser utilizados de forma operativa, considerando su clasificación, unidad de medición y grado de influencia (Tabla 14).

Tabla 14. Tabla base para indicadores de exposición calculados. Fuente: Rivera, 2020.

Información base						
CLASIFICACIÓN DE LA ZONA	Área del municipio (km2):					
	Área rural (km2):					
	Área urbana (km2):					
	Área mixta (km2):					
Elemento expuesto	Nombre del Indicador (Elemento expuesto)	Clasificaciones especiales	Unidad de medición	Valor de comparación	Medición de la influencia de la amenaza en el indicador	Valor del Indicador
ESTÁTICOS	Infraestructura	Vivienda	Total	Área afectada		
			Formal	Área		
			Informal	Área		
		Edificios	Altura	Altura por área		
			Total	Área		
			Pública	Área		
			Privada	Área		
			Comercio	Área		
			Entretenimiento	Área		
		Establecimientos de salud	Total	Área		
			Pública	Área		
			Privada	Área		
		Establecimientos educativos	Total	Área		
	Pública		Área			
	Privada		Área			
	Red de distribución eléctrica	Unidades	Densidad			
		Longitud cubierta	Longitud			
	Red vial	Total	Longitud			
		Pavimentada	Longitud			
		No pavimentada	Longitud			
		Principal	Longitud			
		Secundaria	Longitud			
		Ancho del rodaje	Ancho promedio			
Puentes y obras de paso		Cantidad de obras				
Medios de vida	Zonas agropecuarias	Total	Área			
		Tipo de actividad	Área			
	Áreas naturales protegidas	Total	Área			
		Biodiversidad	Área			
	Cobertura arbórea	Altura	Densidad			
Número		Área				
DINÁMICOS	Habitantes	Población general	Población total	Densidad		
			Etareos	Densidad		
		Características específicas de la población	Población económicamente activa	Densidad		
			Tasa de analfabetismo	Densidad		
			Capacidades especiales	Densidad		

Con respecto, a los elementos considerados en las evaluaciones, la DOA enfatiza que es posible tener clasificaciones a detalle, sin embargo; existirán sitios para los que no se cuente con la información de las clasificaciones especiales, por lo que los indicadores podrán ser considerados de manera global. Como, por ejemplo: se plantea que si en el indicador de uso habitacional o vivienda, no pueden ser clasificadas las áreas de ocupación de vivienda formal e informal, puede tomarse el área total; de igual manera con los demás elementos del sistema propuesto.

A partir de la integración de indicadores, la DOA propone sumar el total de áreas, total de longitudes y total de densidades de los elementos considerados, con el fin de calcular el porcentaje estimado de afectación en un municipio específico. Realizándose mediante la multiplicación del indicador por el porcentaje de la influencia de la amenaza (porcentaje del área municipal que se podría ver afectada). En la Tabla 15, se expone un ejemplo, en el cual se presenta la sumatoria de indicadores y la influencia de la amenaza, donde la amenaza representa un 100 % de influencia en toda el área municipal, resultando un porcentaje del 100 % como el total estimado a ser afectado, en dicho municipio.

Tabla 15. Sumatoria de indicadores e influencia de amenaza. Fuente: Rivera, 2020.

				Total estimado a ser afectado
Total de Áreas	81,055	Total de Áreas Afectadas	81,1	100%
Total de Longitudes	201,94	Total de Longitudes Afectadas	201,9	100%
Total de Personas	7.159,4	Total de Personas Afectadas	7159,4	100%

Con base a los porcentajes estimados con potencial de impactos, la DOA propone clasificar el nivel de severidad, de acuerdo al porcentaje resultante y por medio de ello, proporcionar la categorización de severidad del impacto esperado, como lo indica la Tabla 16.

Tabla 16. Clasificación del grado de severidad del impacto de acuerdo con el porcentaje de elementos expuestos con potenciales impactos. Fuente: Rivera, 2020.

Porcentaje total afectado	Severidad del Impacto
< 20 %	Bajo
20 % - 40 %	Medio
40 % - 75 %	Significativos
> 75 %	Severo

5 Análisis y aplicación del modelo de exposición

En esta sección, se expone la aplicación del modelo de exposición, mediante el desarrollo de casos de estudio en municipios del Área Metropolitana de San Salvador, aplicados en amenazas hidrometeorológicas.

5.1 Aplicación del modelo de exposición

El uso de los indicadores que componen el modelo de exposición, está directamente relacionado con la medición de la influencia de la amenaza, por lo que el análisis de la amenaza es fundamental en esta metodología. A continuación, se desarrollan casos de estudio utilizando eventos hidrometeorológicos que afectaron al país, para la comprensión de la implementación del modelo.

5.1.1 Caso 1. Depresión Tropical 17-E

Un sistema de Baja Presión de 1007 milibares se ubicaba frente a la costa salvadoreña y otra débil baja presión estaba ubicada en la costa caribe de Honduras, permitiendo la cercanía de la Zona de Convergencia Intertropical frente a la costa pacífica y desplazando abundante humedad desde el Océano Pacífico y el Mar Caribe. Estos sistemas generaron tormentas y lluvias de tipo temporal sobre El Salvador, en el periodo comprendido del 12 al 17 de octubre del 2019 (MARN, 2019).

Según los registros del Centro de Pronóstico Hidrológico (CPH) del MARN, la distribución espacial de lluvia acumulada en un día (De 7:00 a.m. del 14 de octubre a 7:00 a.m. del 15 de octubre del 2019), fue un máximo de 222.0 mm en la estación Volcán de San Miguel 2, y de 128.4 mm en la estación El Desparramo, Usulután (Figura 30 a).

La precipitación máxima acumulada en todo el evento fue de 439.8 mm en la estación Volcán de San Miguel, y de 315.2 mm en la estación Berlín, Usulután (Figura 30 b). Estas cantidades de precipitación generaron múltiples impactos, sobre el territorio salvadoreño.

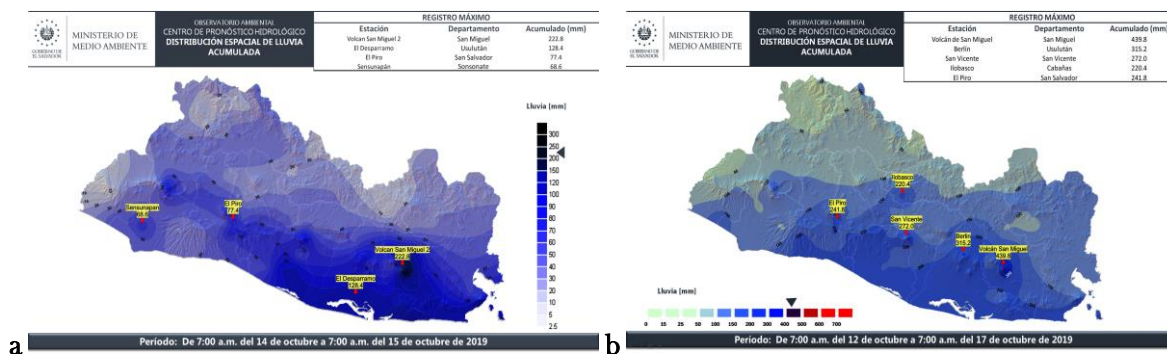


Figura 30. Mapas de distribución espacial de lluvia acumulada: a) Mapa de distribución de lluvia acumulada, del día 14 al 15 de octubre del 2019 y b) Mapa de distribución de lluvia acumulada, del 12 al 17 de octubre del 2019. Fuente: MARN, 2019.

A continuación, se presenta un caso de aplicación del modelo de exposición, según análisis por deslizamientos, ante la influencia de la Depresión Tropical 17-E, sobre el territorio.

- **Análisis por deslizamientos**

El caso de estudio está enfocado en los impactos asociados a deslizamientos registrados el día 14 de octubre del 2019, en el municipio de Santa Tecla. Para el cálculo de amenaza por deslizamientos, el área de geología del MARN utiliza los siguientes modelos, para generar los análisis correspondientes: a) Modelo basado en criterios de clasificación de umbrales de humedad de suelo, umbrales de pendientes de terreno, umbrales basados en el tipo de suelo o roca y umbrales por cantidad de lluvia.

- Un modelo basado en pesos, que toma en cuenta la ocurrencia de eventos pasados, la lluvia máxima de las últimas veinticuatro horas, y el promedio de humedad de suelo de los últimos cuatro días.
- Un modelo de cálculo de probabilidad de ocurrencia por deslizamientos, basado en umbrales de lluvia de veinticuatro horas.
- Un modelo de pesos de diferentes salidas numéricas de estimación de lluvia del modelo WRF (Weather Research Forecast model), y pesado con factores de amplificación por zonas de comportamiento homogéneo por deslizamientos.

La amenaza por deslizamientos calculada para el día 14 de octubre de 2019, en todo El Salvador se presenta en los mapas de evaluación correspondiente para la amenaza (Figura 31).

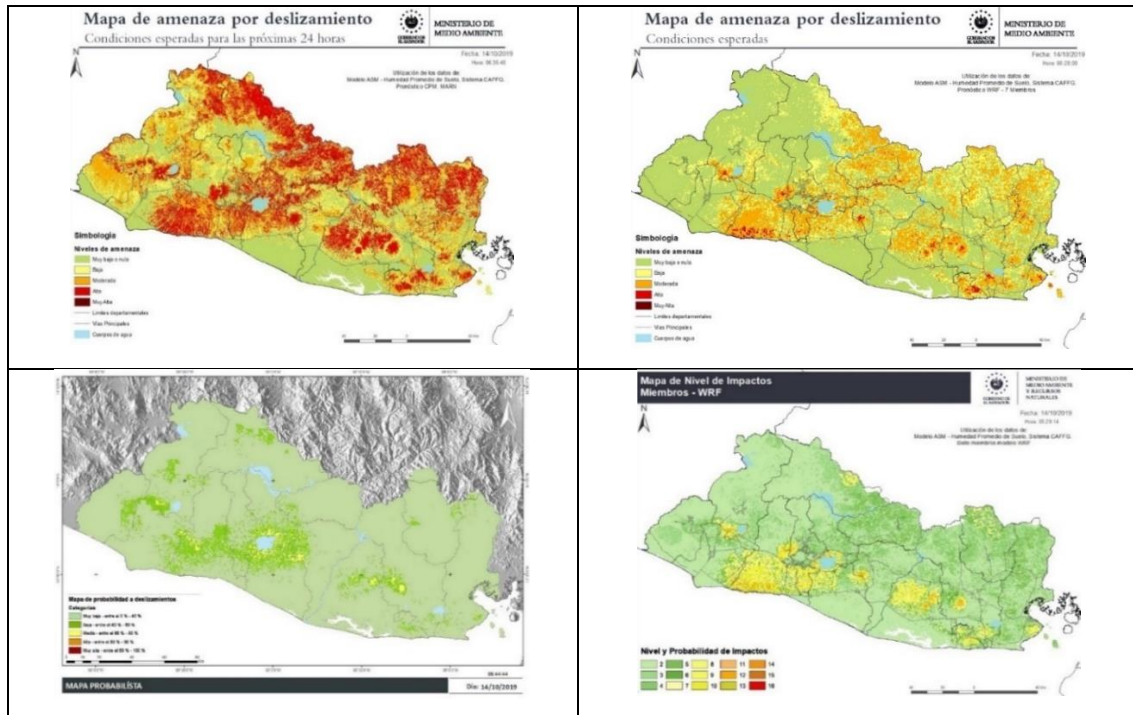


Figura 31. Mapas del nivel y probabilidad de amenaza por deslizamientos, para el día 19 de octubre del 2019, a nivel nacional. Fuente: MARN, 2019.

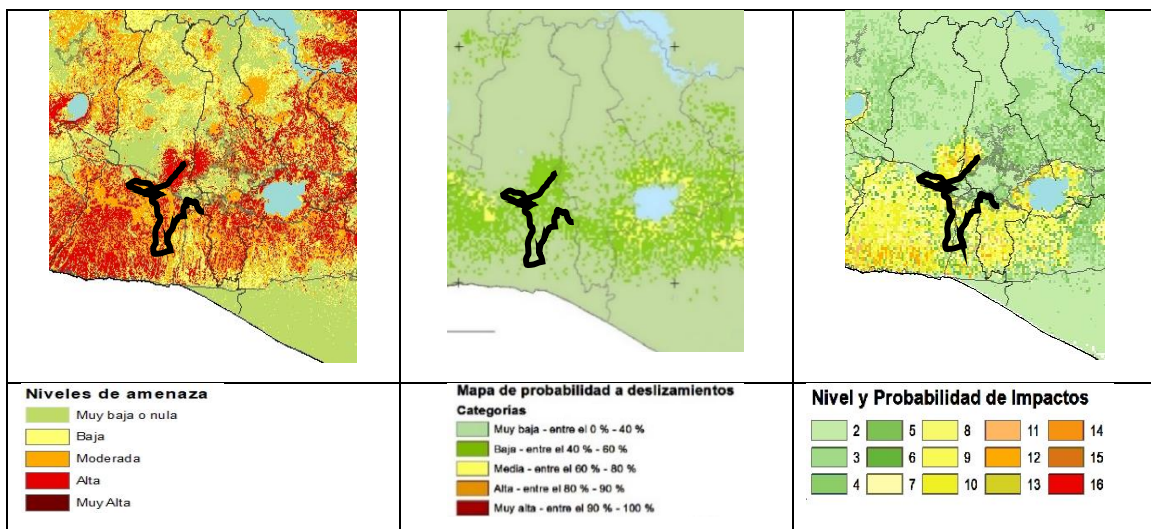


Figura 32. Análisis de amenaza por deslizamiento para el municipio de Santa Tecla, para el día 19 de octubre de 2019. Fuente: MARN, 2019.

Por medio de los modelos y mapas de pronóstico por amenaza, se determina que, para el municipio de Santa Tecla, se presentaba un nivel de amenaza entre moderada a alta y un nivel de probabilidad de ocurrencia a deslizamientos media (Figura 32), para casi el 100 % de su

área municipal, por lo que al valor del indicador se le asigna un 100 % para el cálculo de la medición de la influencia de la amenaza (Tabla 17).

Tabla 17. Evaluación de indicadores para la estimación del nivel de severidad del impacto en el municipio de Santa Tecla.

Información base							
CLASIFICACIÓN DE LA ZONA	Área del municipio (km2):	115.1		Áreas en km2			
	Área rural (km2):	104.7		Longitudes en km			
	Área urbana (km2):	10.4					
	Área mixta (km2):	0.13					
Elemento expuesto	Nombre del Indicador (Elemento expuesto)	Clasificaciones especiales	Unidad de medición	Valor de comparación	Medición de la influencia de la amenaza en el indicador	Valor del Indicador	
ESTÁTICOS	Infraestructura	Vivienda	Total	Área	7.5	7.5	100%
			Formal	Área	ND		
			Informal	Área	ND		
			Zonas urbanas precarias	Área	0.97	1.0	100%
		Edificios	Altura	Altura por área	ND		
			Total	Área	ND		
			Pública	Área	ND		
			Privada	Área	ND		
			Industrial	Área	0.26	0.3	100%
			Comercio	Área	1	1.0	100%
		Establecimientos de salud	Entretención	Área	1.2	1.2	100%
			Total	Área	0.13	0.1	100%
			Pública	Área	ND		
		Establecimientos educativos	Privada	Área	ND		
			Total	Área	0.7	0.7	100%
			Pública	Densidad	0.31	0.3	100%
	Red vial	Privada	Densidad	0.57	0.6	100%	
		Total	Longitud	610.37	610.4	100%	
		Pavimentada	Longitud	ND			
		No pavimentada	Longitud	ND			
		Principal	Longitud	34.4	34.4	100%	
	Medios de vida	Secundaria	Longitud	ND			
		Zonas agropecuarias	Total	Área	89.64	89.6	100%
		Tipo de actividad	Área	ND			
		Áreas naturales protegidas	Total	Área	1.843	1.8	100%
		Biodiversidad	Área	ND			
	Cobertura arbórea	Altura	Densidad	ND			
Número		Área	14.19	14.2	100%		
DINÁMICOS	Habitantes	Población general	Población total	Densidad	1,087	1087.0	100%
			Etareos	Densidad	ND		
			Población económicamente activa	Densidad	593	593.0	100%
			Población que vive en asentamientos urbanos precarios	Densidad	266	266.0	100%
			Tasa de analfabetismo	Densidad	6.7	6.7	100%
			Capacidades especiales	Densidad	35	35.0	100%
			Total de Áreas	117.433	Total de Áreas Afectadas	117.4	100%
			Total de Longitudes	644.77	Total de Longitudes Afectadas	644.8	100%
			Total de Personas	1,989	Total de Personas Afectadas	1988.6	100%

El resultado obtenido a partir de la evaluación de indicadores, indica un total estimado a ser afectado de un 100 % de sus elementos, asignándole una categoría de impacto severo (Figura 33).

Porcentaje total afectado	Severidad del Impacto
<20%	Bajo
20% - 40%	Medio
40% - 75%	Significativos
>75%	Severo

Figura 33. Clasificación del grado de severidad del impacto para el municipio de San Salvador.

La severidad del impacto potencial obtenido mediante la evaluación de los indicadores, se estimó **severo** y los niveles de probabilidad de la amenaza según los modelos, mostraron una probabilidad **media**. Cruzando esta información, mediante la matriz de impactos, se genera como resultado un impacto severo con probabilidad media de ocurrencia, asignándose un nivel 14 en la matriz de impactos (Figura 34).

Muy alta (80% - 100%)	4	8	12	16
Alta (60% - 80%)	3	7	11	15
Media (30% - 60%)	2	6	10	14
Baja (10% - 30%)	1	5	9	13
	Bajo	Medio	Significativo	Severo

Figura 34. Matriz de impacto: impacto severo con probabilidad media de ocurrencia, para el municipio de San Salvador.

Según las bases de datos de incidentes diarios de la Dirección General de Protección Civil (DGPC), el número de impactos registrados en el municipio de Santa Tecla, asociados a deslizamientos, el día 19 de octubre del 2019, fueron un total de 17 (Figura 35). A partir de la descripción de los registros de afectaciones se determinaba una categoría máxima de impactos “medios”, como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Registro de impactos asociados a deslizamientos, el día 19 de octubre del 2019, en el municipio de Santa Tecla.

Área	Fecha	Número de impactos	Severidad de impacto	Severidad máxima registrada	Matriz de impacto	Tipo de impacto
Deslizamientos	19/10/2019	17	Bajo	Medio	4	Deslizamiento
	19/10/2019		Bajo		4	Deslizamiento
	19/10/2019		Bajo		4	Deslizamiento
	19/10/2019		Medio		8	Deslizamiento
	19/10/2019		Bajo		4	Deslizamiento
	19/10/2019		Bajo		4	Deslizamiento
	19/10/2019		Bajo		4	Deslizamiento
	19/10/2019		Medio		8	Deslizamiento
	19/10/2019		Bajo		4	Deslizamiento
	19/10/2019		Bajo		4	Deslizamiento
	19/10/2019		Bajo		4	Deslizamiento
	19/10/2019		Bajo		4	Deslizamiento
	19/10/2019		Bajo		4	Deslizamiento
	19/10/2019		Bajo		4	Deslizamiento
	19/10/2019		Bajo		4	Deslizamiento
	19/10/2019		Bajo		4	Deslizamiento

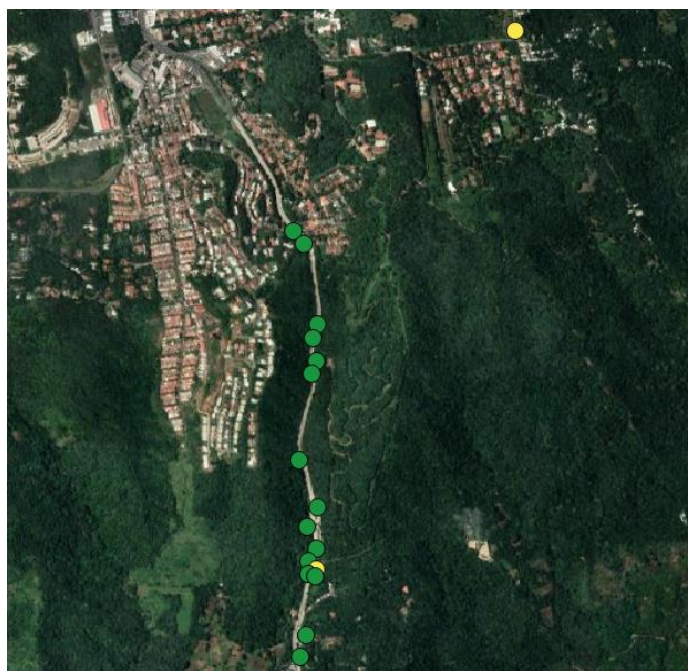


Figura 35. Registro de impactos por deslizamientos, el día 14 de octubre de 2019, en el municipio de Santa Tecla.

El resultado del uso de indicadores mediante el conocimiento de la influencia de la amenaza, muestra que el modelo de exposición, en este caso de estudio, observa una sobrestimación del nivel de severidad de impacto, verificado con los impactos registrados para el municipio de Santa Tecla.

5.1.2 Caso 2. Tormentas Tropicales Amanda y Cristobal.

La Tormenta Tropical Amanda, se ubicaba frente a la costa pacífica entre El Salvador y Guatemala, posteriormente ingresando a territorio guatemalteco perdió fuerza, degradándose en su desplazamiento sobre tierra, sin embargo; los remanentes de este sistema se fortalecieron formando un área de baja presión con potencial de desarrollo ciclónico, convirtiéndose en la Tormenta Tropical Cristobal, ubicada en la Bahía de Campeche, México. Ambos sistemas, mantenían la Zona de Convergencia Intertropical sobre Centroamérica, y permitía el ingreso de abundante humedad desde el océano Pacífico como del mar Caribe, generando tormentas y situación de temporal sobre el país, en el periodo comprendido del 30 de mayo al 6 de junio del 2020.

El registro máximo de lluvia acumulada en 24 horas (De 7:00 a.m. del 31 de mayo a 7:00 a.m. del 01 de junio del 2020), fue de 282.2 mm en la estación Volcán de Conchagua, La Unión y de 205 mm en la estación Santiago de María, Usulután (Figura 36 a).

El mapa de distribución de lluvia acumulada, presentó máximos en todo el evento de 1087.1 mm en la estación Volcán de Conchagua, La Unión y de 979.8 mm en la estación Volcán de San Miguel 2, San Miguel (Figura 36 b). Debido a los importantes acumulados de precipitación y vientos asociados a Tormenta Tropical, se produjeron diferentes tipos de impactos tales como caída de árboles, deslizamientos e inundaciones.

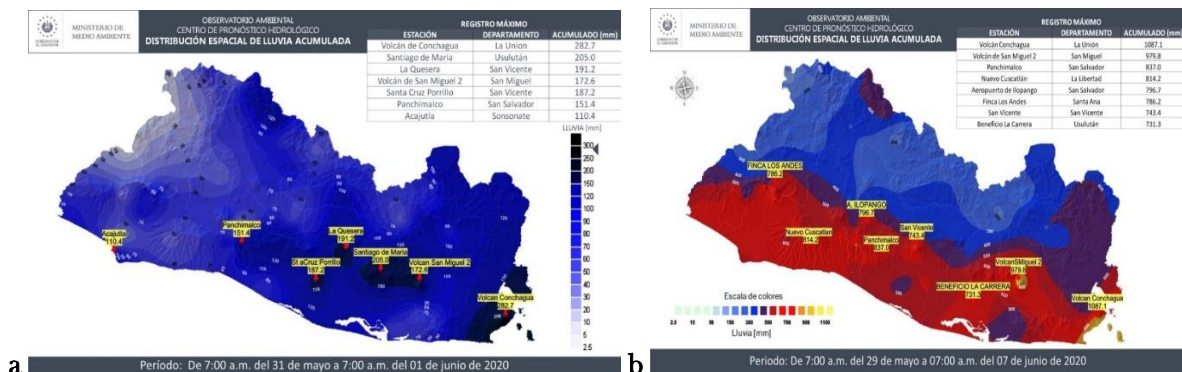


Figura 36. Mapas de distribución espacial de lluvia acumulada: a) Mapa de distribución de lluvia acumulada, del día 31 de mayo al 01 de junio del 2020 y b) Mapa de distribución de lluvia acumulada, del 29 de mayo al 07 de junio del 2020. Fuente: MARN, 2020.

- **Análisis por vientos asociados a tormentas**

A partir del análisis de diferentes modelos numéricos meteorológicos, debido a la cercanía del sistema al país, se tuvo la influencia de vientos asociados a la Tormenta Tropical Amanda, donde las ráfagas máximas de viento cercanas a la zona de costa de El Salvador para el día 30 de mayo del 2020, mostraban valores máximos de 30 y 50 nudos, equivalentes a 60 y 100 km/h aproximadamente (Figura 37).

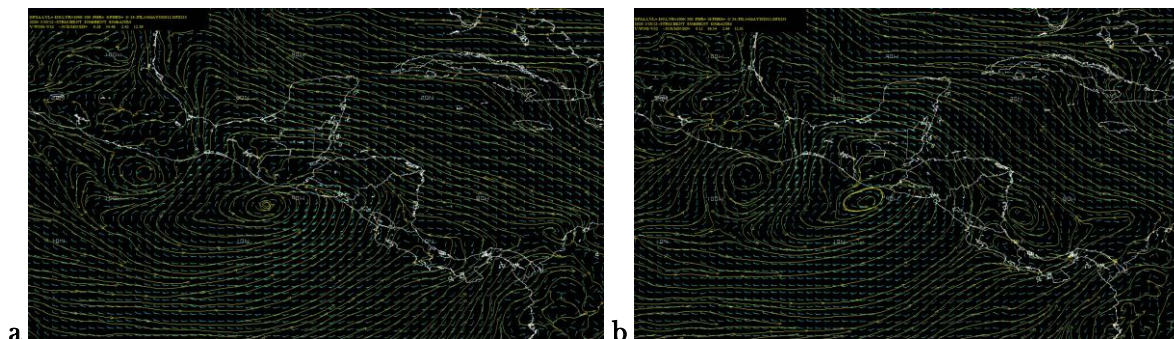


Figura 37. Salida del modelo Global Forecast System (GFS): Barbas de viento y líneas de corriente en 850 hpa, para el día sábado 30 y 31 de mayo del 2020. Fuente: MARN, 2020.

La ráfaga máxima registrada en el evento fue de 90 km/h en la estación de Berlín, y el viento máximo promedio, rondó entre los 40 a 50 km/h en los alrededores de la cordillera volcánica de la zona central y paracentral del país (Figura 38).

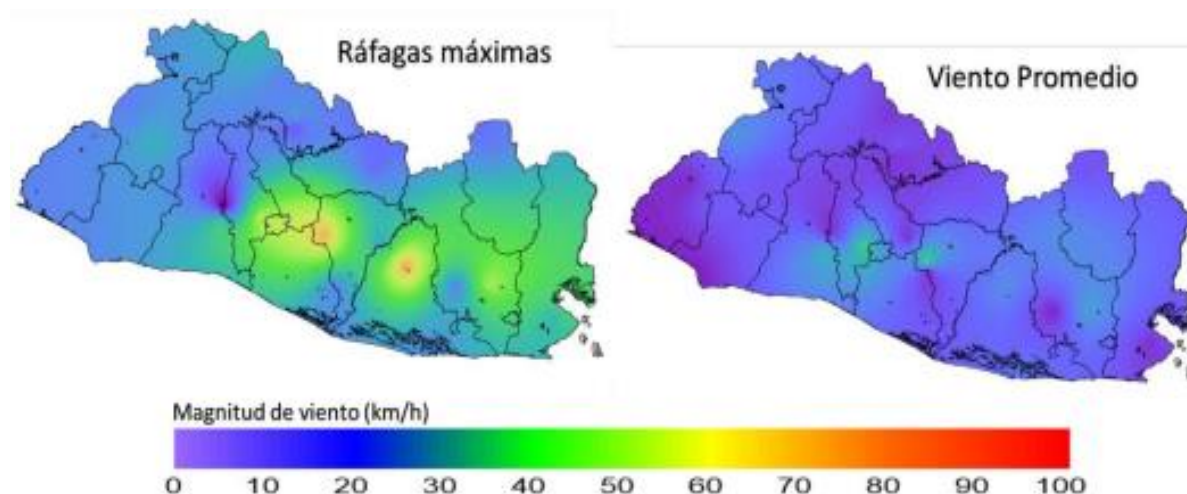


Figura 38. Ráfagas máximas y viento promedio registrado por las estaciones telemétricas del MARN, para el evento Amanda y Cristobal. Fuente: MARN, 2021.

Las ráfagas de viento que se presentaron fueron de moderadas a fuertes, por lo que generaron múltiples impactos tales como caída de árboles, vallas y postes de tendido eléctrico en diferentes puntos del país.

El caso de estudio será aplicado para el día 30 y 31 de mayo del 2020, días donde se reportaron mayor número de impactos asociados a vientos acelerados, debido a la cercanía del sistema. A partir del mapa de ráfagas máximas de viento registradas (Figura 38), se observa que, en el municipio de San Salvador e Ilopango, las velocidades de ráfagas de viento alcanzaron entre los 60 y 75 km/h.

- **San Salvador**

Los modelos numéricos meteorológicos fueron consistentes con las velocidades aproximadas de ráfagas de viento que podrían ser esperadas por la cercanía y desplazamiento del sistema, indicando que las ráfagas de viento influenciarían un 100 % de su área municipal, como parte de la medición de la influencia de la amenaza. Asignándose un 100 % al valor del indicador medición de la influencia de la amenaza en el indicador, donde la probabilidad de la amenaza es alta (Tabla 19).

Al realizar, la sumatoria de la evaluación de los indicadores, resultó un 100 % del total estimado a ser afectado, mediante el uso de la matriz de la clasificación del grado de severidad se le asigna una categoría de impacto **severo** (Figura 39) al municipio de San Salvador, por análisis de vientos acelerados, según el resultado obtenido en la tabla de evaluación.

Porcentaje total afectado	Severidad del Impacto
<20%	Bajo
20% - 40%	Medio
40% - 75%	Significativos
>75%	Severo

Figura 39. Clasificación del grado de severidad del impacto para el municipio de San Salvador.

Tabla 19. Evaluación de indicadores para la estimación del nivel de severidad del impacto en el municipio de San Salvador.

Información base							
CLASIFICACIÓN DE LA ZONA	Área del municipio (km2):	72.7		Áreas en km2	Censo (2007)	Densidad poblacional	
	Área rural (km2):	26.4		Longitudes en km	316090	4359.8	
	Área urbana (km2):	45.8					
	Área mixta (km2):	0.5					
Elemento expuesto	Nombre del Indicador (Elemento expuesto)	Clasificaciones especiales	Unidad de medición	Valor de comparación	Medición de la influencia de la amenaza en el indicador	Valor del Indicador	
ESTÁTICOS	Infraestructura	Vivienda	Total	Área	20.3	20.3	100%
			Formal	Área	ND		
			Informal	Área	ND		
			Zonas urbanas precarias	Área	7.85	7.9	100%
		Edificios	Altura	Altura por área	ND		
			Total	Área	8.7	8.7	100%
			Pública	Área	ND		
			Privada	Área	ND		
			Comercio	Área	7.1	7.1	100%
			Industrial	Área	0.77	0.8	100%
			Entretenimiento	Área	6.1	6.1	100%
		Establecimientos de salud	Total	Área	1	1.0	100%
			Pública	Área	ND		
			Privada	Área	ND		
		Establecimientos educativos	Total	Área	1.9	1.9	100%
			Pública	Densidad	2.1	2.1	100%
	Privada		Densidad	2.61	2.6	100%	
	Red de distribución eléctrica	Unidades	Densidad	ND			
		Longitud cubierta	Longitud	ND			
	Red vial	Total	Longitud	105.54	105.5	100%	
		Pavimentada	Longitud	ND			
		No pavimentada	Longitud	ND			
		Principal	Longitud	96.4	96.4	100%	
		Secundaria	Longitud	ND			
	Medios de vida	Zonas agropecuarias	Total	Área	26.124	26.1	100%
			Tipo de actividad	Área	ND		
		Áreas naturales protegidas	Total	Área	0.414	0.4	100%
			Biodiversidad	Área	ND		
Cobertura arbórea		Altura	Densidad	ND			
DINÁMICOS	Habitantes	Población general	Población total	Densidad	4,375.0	4375.0	100%
		Características específicas de la población	Etaeos	Densidad	ND		
			Población económicamente activa	Densidad	2586	2586.0	100%
			Población que vive en asentamientos urbanos precarios	Densidad	1445	1445.0	100%
			Tasa de analfabetismo	Densidad	5.5	5.5	100%
			Capacidades especiales	Densidad	187.9	187.9	100%
							Total estimado a ser afectado
			Total de Áreas	81.055	Total de Áreas Afectadas	81.1	100%
			Total de Longitudes	201.94	Total de Longitudes Afectadas	201.9	100%
			Total de Personas	8,604.1	Total de Personas Afectadas	8604.1	100%

Al cruzar la severidad del impacto potencial, con los niveles de probabilidad de la amenaza según los modelos numéricos, la probabilidad de incidencia de la amenaza se estima **alta**.

Dando como resultado, un impacto severo con probabilidad alta de ocurrencia, asignándose un nivel 15 en la matriz de impactos (Figura 40).

Muy alta (80% - 100%)	4	8	12	16
Alta (60% - 80%)	3	7	11	15
Media (30% - 60%)	2	6	10	14
Baja (10% - 30%)	1	5	9	13
	Bajo	Medio	Significativo	Severo

Figura 40. Matriz de impacto: impacto severo con probabilidad alta de ocurrencia, para el municipio de San Salvador.

Según las bases de datos de incidentes diarios de DGPC, los impactos registrados en el municipio de San Salvador, los días 30 y 31 de mayo del 2020, fueron un total de 16 asociados a caídas de árboles y elementos frágiles. A partir de la descripción de los registros de afectaciones se determinaba una categoría máxima de impactos “medios”, como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Registro de impactos asociados a ráfagas de viento, en el municipio de San Salvador.

Área	Fecha	Número de impactos	Severidad de impacto	Severidad máxima registrada	Matriz de impacto	Tipo de impacto
Meteorología	30/05/2020	6	Bajo	Medio	4	Caída de árbol
	30/05/2020		Bajo		4	Caída de árbol
	30/05/2020		Bajo		4	Caída de árbol
	30/05/2020		Medio		8	Caída de árbol
	30/05/2020		Bajo		4	Caída de árbol
	30/05/2020		Bajo		4	Caída de árbol
Meteorología	31/05/2020	10	Bajo	Medio	4	Caída de árbol
	31/05/2020		Medio		8	Caída de árbol
	31/05/2020		Bajo		4	Caída de árbol
	31/05/2020		Medio		8	Caída de árbol
	31/05/2020		Bajo		4	Caída de árbol
	31/05/2020		Bajo		4	Caída de árbol
	31/05/2020		Bajo		4	Caída de árbol
	31/05/2020		Bajo		4	Caída de árbol
	31/05/2020		Medio		8	Antena Caída
	31/05/2020		Medio		8	Caída de árbol

En la Figura 41, se muestra la distribución geográfica de los impactos registrados en San Salvador.

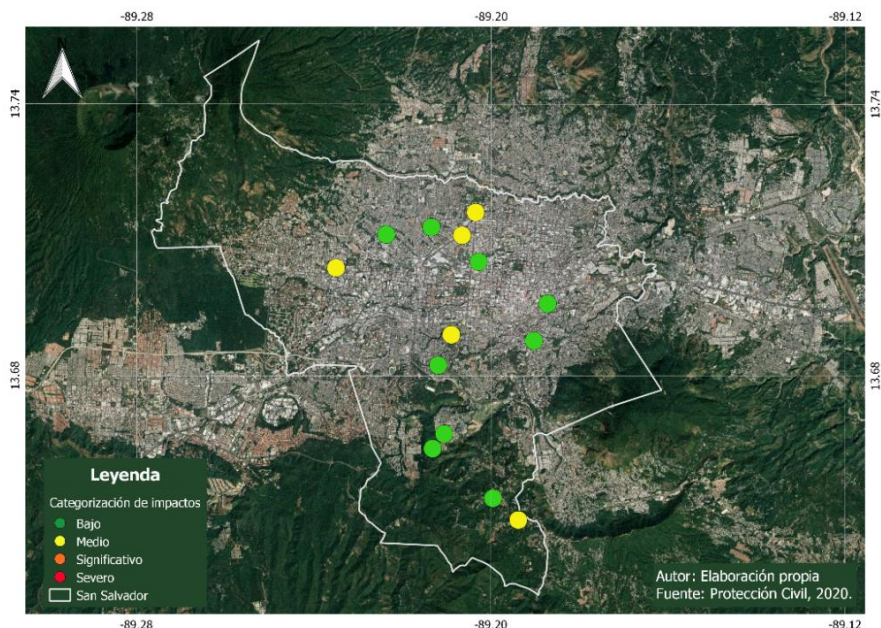


Figura 41. Registro de impactos por caída de árboles, el día 30 y 31 de mayo de 2020, en el municipio de San Salvador.

El resultado obtenido mediante el uso del modelo y la comparación de la severidad de impactos registrados en el municipio de San Salvador, asociados a caída de árboles, indica una sobreestimación del nivel de severidad del impacto, ya que los impactos registrados fueron catalogados como impactos medios y los impactos potenciales que pronosticaba el modelo fueron severos.

- **Ilopango**

En el municipio de Ilopango, la sumatoria de la Tabla 21 de indicadores asignó un 100 % de estimación de afectación para el municipio de Ilopango, a partir de la influencia de la amenaza, como se detalló en el caso de San Salvador; estableciéndose una categoría de impacto “severo”, con un nivel de probabilidad alta. Haciendo uso de los indicadores de exposición y vulnerabilidad calculados para el municipio de Ilopango, se presenta su evaluación con respecto a la influencia de la amenaza prevista (ráfagas de viento).

Tabla 21. Evaluación de indicadores para la estimación del nivel de severidad del impacto en el municipio de Ilopango.

Información base							
CLASIFICACIÓN DE LA ZONA	Área del municipio (km2):	34.63		Áreas en km2	Censo (2007)	Densidad Poblacional	
	Área rural (km2):	24.999		Longitudes en km	108862	2824.63	
	Área urbana (km2):	9.54					
	Área mixta (km2):	0.091					
Elemento expuesto	Nombre del Indicador (Elemento expuesto)	Clasificaciones especiales	Unidad de medición	Valor de comparación	Medición de la influencia de la amenaza en el indicador	Valor del Indicador	
ESTÁTICOS	Infraestructura	Vivienda	Total	Área	4.66	4.7	100%
			Formal	Área	ND		
			Informal	Área	ND		
			Zonas urbanas precarias	Área	1.66	1.7	100%
		Edificios	Altura	Altura por área	ND		
			Total	Área	ND		
			Pública	Área	ND		
			Privada	Área	ND		
			Comercio	Área	0.42	0.4	100%
			Industrial	Área	1.19	1.2	100%
			Entretenimiento	Área	1.16	1.2	100%
		Establecimientos de salud	Total	Área	0.04	0.0	100%
			Pública	Área	ND		
			Privada	Área	ND		
		Establecimientos educativos	Total	Área	0.11	0.1	100%
			Pública	Densidad	0.81	0.8	100%
			Privada	Densidad	1.07	1.1	100%
		Red de distribución eléctrica	Unidades	Densidad	ND		
	Longitud cubierta		Longitud	ND			
	Red vial	Total	Longitud	175.93	175.9	100%	
		Pavimentada	Longitud	ND			
		No pavimentada	Longitud	ND			
		Principal	Longitud	ND			
		Secundaria	Longitud	ND			
	Medios de vida	Zonas agropecuarias	Total	Área	13.82	13.8	100%
			Tipo de actividad	Área	ND		
		Áreas naturales protegidas	Total	Área	0	0.0	100%
Biodiversidad			Área	ND			
Cobertura arbórea		Altura	Densidad	ND			
	Número	Área	0.312	0.3	100%		
DINÁMICOS	Habitantes	Población general	Población total	Densidad	2,999.0	2999.0	100%
			Elaeos	Densidad	ND		
		Características específicas de la población	Población económicamente activa	Densidad	1633	1633.0	100%
			Población que vive en asentamientos urbanos precarios	Densidad			
			Tasa de analfabetismo	Densidad	905	905.0	100%
			Tasa de analfabetismo	Densidad	6.8	6.8	100%
			Capacidades especiales	Densidad	126.6	126.6	100%
						Total estimado a ser afectado	
			Total de Áreas	23.372	Total de Áreas Afectadas	23.4	100%
			Total de Longitudes	175.93	Total de Longitudes Afectadas	175.9	100%
			Total de Personas	2999	Total de Personas Afectadas	2999.0	100%

Seguidamente, se realizó la sumatoria de los indicadores y la sumatoria de la medición de la influencia de la amenaza en el indicador, resultando un 100 % del total estimado a ser afectado, mediante el uso de la matriz de la clasificación del grado de severidad se le asigna una categoría de impacto “severo” (Figura 42), al municipio de Ilopango, por análisis de vientos acelerados, según el resultado obtenido en la tabla de evaluación.

Porcentaje total afectado	Severidad del Impacto
<20%	Bajo
20% - 40%	Medio
40% - 75%	Significativos
>75%	Severo

Figura 42. Clasificación del grado de severidad del impacto para el municipio de Ilopango.

Cruzando la severidad del impacto potencial, con la probabilidad de influencia de la amenaza, se genera un impacto severo según la tabla evaluación, y una probabilidad “alta” de ocurrencia, por medio del análisis de la amenaza. Dando como resultado, un impacto severo con probabilidad alta de ocurrencia, asignándose un nivel 15 en la matriz de impactos (Figura 43).

Muy alta (80% - 100%)	4	8	12	16
Alta (60% - 80%)	3	7	11	15
Media (30% - 60%)	2	6	10	14
Baja (10% - 30%)	1	5	9	13
	Bajo	Medio	Significativo	Severo

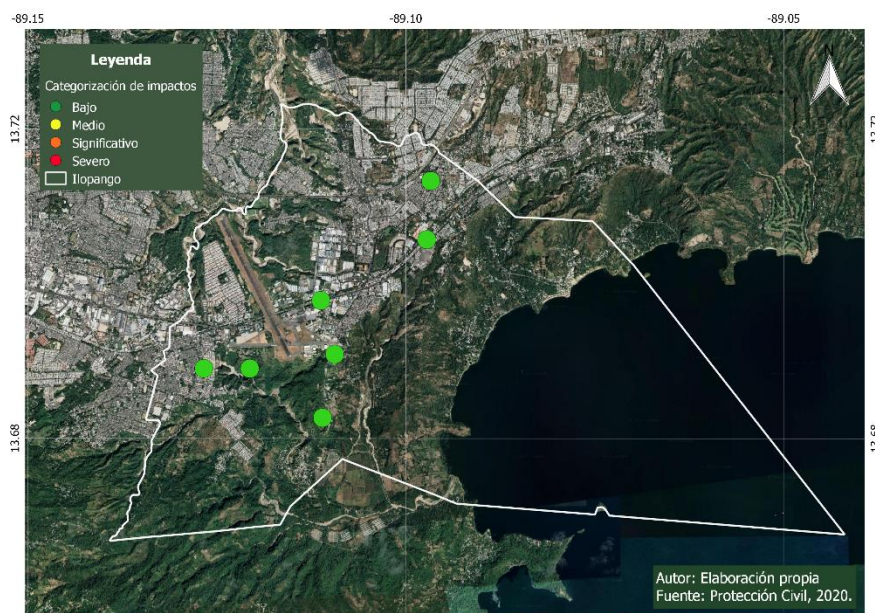
Figura 43. Matriz de impacto: impacto severo con probabilidad alta de ocurrencia, para el municipio de Ilopango.

Los registros de impacto en el municipio de Ilopango, los días 30 y 31 de mayo del 2020, fueron un total de 8 impactos por caída de árboles y ramas, determinándose como impactos bajos (Tabla 22) debido a las afectaciones presentadas.

Tabla 22. Registro de impactos asociados a ráfagas de viento, en el municipio de Ilopango.

Área	Fecha	Número de impactos	Severidad de impacto	Severidad máxima registrada	Matriz de impacto	Tipo de impacto
Meteorología	30/05/2020	3	Bajo	Bajo	4	Caida de arbol
	30/05/2020		Bajo		4	Caida de arbol
	30/05/2020		Bajo		4	Caida de arbol
	31/05/2020	5	Bajo		4	Caida de arbol
	31/05/2020		Bajo		4	Caida de arbol
	31/05/2020		Bajo		4	Caida de arbol
	31/05/2020		Bajo		4	Caida de arbol
	31/05/2020		Bajo		4	Caida de arbol

La distribución geográfica de los impactos registrados, asociados a caída de árboles en diferentes puntos del municipio de Ilopango, en el periodo del 30 al 31 de mayo de 2020, se presentan en la Figura 44.

**Figura 44.** Registro de impactos por caída de árboles, el día 30 y 31 de mayo de 2020, en el municipio de Ilopango.

El modelo de exposición, genera en este caso de estudio una sobrestimación del nivel de severidad de impacto, contrastado con los impactos registrados para el municipio de Ilopango, donde los impactos registrados fueron catalogados como bajos y los impactos potenciales que pronosticaba el modelo fueron severos.

- **Análisis por inundaciones y desbordamientos de ríos.**

Los impactos relacionados al área de Hidrología de la DOA, están asociados a desbordamientos de ríos, crecidas repentinas e inundaciones urbanas. Para la determinación de la categoría y probabilidad de los impactos, se realiza el análisis mediante diferentes modelos y umbrales de amenaza establecidos según protocolos.

En zonas urbanas como el Área Metropolitana de San Salvador, se hace uso de umbrales de amenaza según el análisis cuantitativo de precipitación y las intensidades que se generan. Para ello, el área de Hidrología ha identificado umbrales de amenaza mediante parámetros tales como lluvia acumulada e intensidades, que generan impactos en zonas urbanas y rurales, regiones hidrográficas, entre otras, como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23. Umbrales de amenaza de lluvia acumulada e intensidades, utilizada por el Centro de Pronóstico Hidrológico del MARN. Fuente: MARN, 2020.

Precipitación acumulada 24 horas	Monitoreo	Aviso	Emergencia
General país	40 mm	60 mm	80 mm
Región Hidrográfica Mandinga-Comalapa	36 mm	49 mm	58 mm
Región Hidrográfica Cara Sucia-San Pedro	20 mm	30 mm	40 mm
Región Hidrográfica Río Goascorán	60 mm	85 mm	100 mm
Zona	Intensidad (mm/min)	Período	
Rural	1.3 - 1.5	10 - 25 minutos	
Urbana	1.0	10 minutos	
AMSS	1.2 - 1.5	10 - 20 minutos	
PROCAFE	1.0	10 - 20 minutos	
Boquerón	1.6 - 2.3	10 - 20 minutos	
Ilopango	1.5 - 2.0	10 - 20 minutos	

- **San Salvador**

El caso de estudio será aplicado para el día 31 de mayo del 2020, donde se reportaron mayor número de impactos asociados a inundaciones y desbordamiento de río en el municipio de San Salvador.

Con el fin de determinar los umbrales de amenaza para San Salvador, fue utilizado el pronóstico cuantitativo de precipitación, elaborado por el Centro de Pronóstico Meteorológico (CPM) del DOA, los cuales se dividen en 9 zonas de pronóstico (Figura 45).

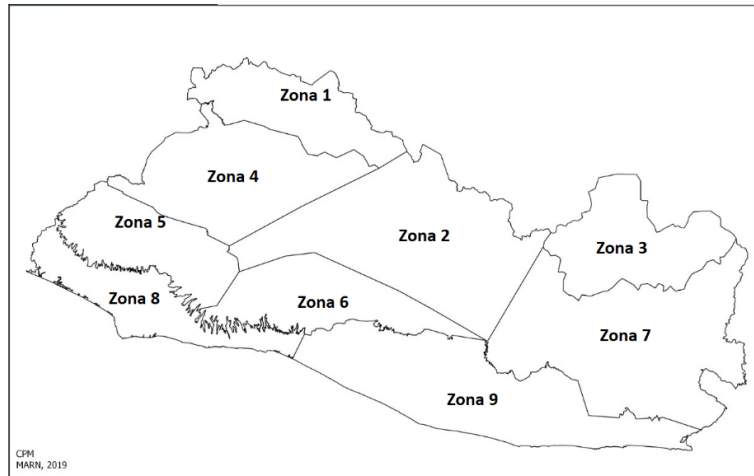


Figura 45. Zonas de pronóstico cuantitativo de precipitación a nivel nacional. Fuente: MARN, 2019.

Los mapas de cantidad de lluvia pronosticada con una validez de 24 horas para el día 31 de mayo de 2020, se muestran en la Figura 46.

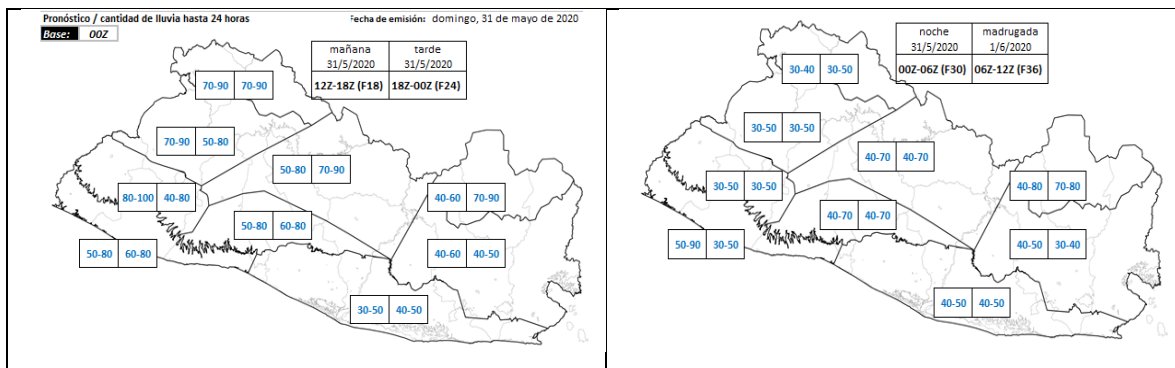


Figura 46. Pronóstico cuantitativo de precipitación por zonas, a nivel nacional, para el día 31 de mayo del 2020. Fuente: CPM, 2020.

El municipio de San Salvador, corresponde a la zona 6 del mapa de pronóstico cuantitativo de precipitación. Para esta zona, según el análisis meteorológico realizado por el Centro de Pronóstico Meteorológico, se determinaron rangos de precipitación máximos que rondarían entre los 100 a 200 mm, en 24 horas correspondientes al día 31 de mayo (Figura 46), estas cantidades según los umbrales establecidos por el Centro de Pronóstico Hidrológico, fue un nivel de “Emergencia”.

Tabla 24. Evaluación de indicadores para la estimación del nivel de severidad del impacto en el municipio de San Salvador.

Información base								
CLASIFICACIÓN DE LA ZONA	Área del municipio (km2):	72.7		Áreas en km2	Censo (2007)	Densidad poblacional		
	Área rural (km2):	26.4		Longitudes en km	316090	4359.8		
	Área urbana (km2):	45.8						
	Área mixta (km2):	0.5						
Elemento expuesto	Nombre del Indicador (Elemento expuesto)	Clasificaciones especiales	Unidad de medición	Valor de comparación	Medición de la influencia de la amenaza en el indicador	Valor del Indicador		
ESTÁTICOS	Infraestructura	Vivienda	Total	Área	20.3	20.3	100%	
			Formal	Área	ND			
			Informal	Área	ND			
			Zonas urbanas precarias	Área	7.85	7.9	100%	
		Edificios	Altura	Altura por área	ND			
			Total	Área	8.7	8.7	100%	
			Pública	Área	ND			
			Privada	Área	ND			
			Comercio	Área	7.1	7.1	100%	
			Industrial	Área	0.77	0.8	100%	
			Entretenimiento	Área	6.1	6.1	100%	
		Establecimientos de salud	Total	Área	1	1.0	100%	
	Pública		Área	ND				
	Privada		Área	ND				
	Establecimientos educativos	Total	Área	1.9	1.9	100%		
		Pública	Densidad	2.1	2.1	100%		
		Privada	Densidad	2.61	2.6	100%		
	Red de distribución eléctrica	Unidades	Densidad	ND				
		Longitud cubierta	Longitud	ND				
	Red vial	Total	Longitud	105.54	105.5	100%		
		Pavimentada	Longitud	ND				
		No pavimentada	Longitud	ND				
		Principal	Longitud	96.4	96.4	100%		
		Secundaria	Longitud	ND				
	Medios de vida	Zonas agropecuarias	Total	Área	26.124	26.1	100%	
			Tipo de actividad	Área	ND			
		Áreas naturales protegidas	Total	Área	0.414	0.4	100%	
Biodiversidad			Área	ND				
Cobertura arbórea	Altura	Densidad	ND					
	Número	Área	0.797	0.8	100%			
DINÁMICOS	Habitantes	Población general	Población total	Densidad	4,375.0	4375.0	100%	
			Etareos	Densidad	ND			
		Características específicas de la población	Población económicamente activa	Densidad	2586	2586.0	100%	
			Población que vive en asentamientos urbanos precarios	Densidad	1445	1445.0	100%	
			Tasa de analfabetismo	Densidad	5.5	5.5	100%	
			Capacidades especiales	Densidad	187.9	187.9	100%	
								Total estimado a ser afectado
		Total de Áreas	81.055	Total de Áreas Afectadas	81.1	100%		
		Total de Longitudes	201.94	Total de Longitudes Afectadas	201.9	100%		
		Total de Personas	8,604.1	Total de Personas Afectadas	8604.1	100%		

A partir de la evaluación de los indicadores y la influencia de la amenaza, la sumatoria de la Tabla 24 de indicadores indicó un 100 % de total estimado a ser afectado para el municipio de San Salvador, asignando una categoría de impacto “severo” (Figura 47). Los niveles de probabilidad previstos mediante el análisis de amenaza, fueron altos ya que los acumulados esperados superaban los umbrales establecidos, por lo que la influencia de la amenaza se determina como muy alta.

Porcentaje total afectado	Severidad del Impacto
<20%	Bajo
20% - 40%	Medio
40% - 75%	Significativos
>75%	Severo

Figura 47. Clasificación del grado de severidad del impacto para el municipio de San Salvador.

Cruzando el grado de severidad del impacto con la probabilidad de influencia de la amenaza, se genera un impacto severo con probabilidad muy alta de ocurrencia, nivel 16 según matriz de impactos (Figura 48).

Muy alta (80% - 100%)	4	8	12	16
Alta (60% - 80%)	3	7	11	15
Media (30% - 60%)	2	6	10	14
Baja (10% - 30%)	1	5	9	13
	Bajo	Medio	Significativo	Severo

Figura 48. Matriz de impacto: impacto severo con probabilidad muy alta de ocurrencia, para el municipio de San Salvador.

La distribución espacial de lluvia acumulada registrada por las estaciones convencionales y telemétricas del MARN, en sectores cercanos al municipio de San Salvador rondaron los 90 a 100 mm (Figura 49), estas cantidades de precipitación generaron múltiples impactos.

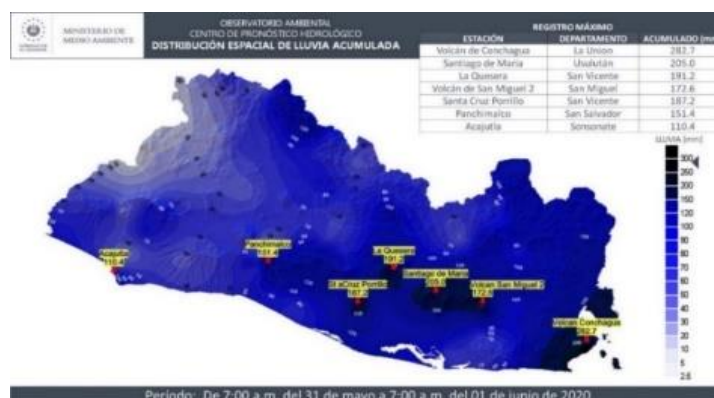


Figura 49. Mapa de distribución espacial de lluvia acumulada en el período de 7:00 a.m. del 31 de mayo a 7:00 a.m. del 01 de junio de 2020. Fuente: MARN, 2020.

La recopilación de la información asociada a los impactos que se generaron el día 31 de mayo fueron un total de 6 impactos, 3 de ellos inundaciones urbanas y 3 desbordamiento de río, según los registros de afectaciones se determinaba una categoría máxima de impactos “severos”, como se muestra en la Tabla 25. La distribución geográfica de los impactos registrados, se presentan en la Figura 50.

Tabla 25. Registro de impactos asociados a inundaciones urbanas y desbordamiento de río, el 31 de mayo de 2020.

Área	Fecha	Número de impactos	Severidad del impacto	Severidad máxima registrada	Matriz de impacto	Tipo de impacto
Hidrología	31/05/2020	6	Medio	Severo	8	Inundación
	31/05/2020		Medio		8	Inundación
	31/05/2020		Significativo		12	Inundación
	31/05/2020		Severo		16	Desbordamiento
	31/05/2020		Severo		16	Desbordamiento
	31/05/2020		Severo		16	Desbordamiento

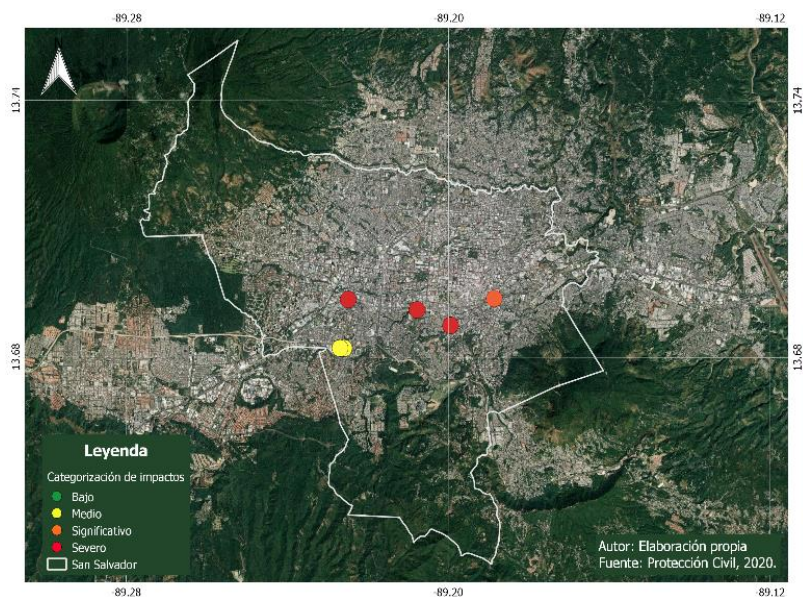


Figura 50. Registro de impactos por inundaciones y desbordamientos de río, el día 31 de mayo de 2020, en el municipio de San Salvador.

El modelo de exposición, observa en este caso una correcta estimación del nivel de severidad de impacto, contrastado con los impactos registrados para el municipio de San Salvador.

- **Análisis por deslizamientos**

El caso de estudio está enfocado en los impactos asociados a deslizamientos registrados el día 31 de mayo del 2020, en el municipio de San Salvador. Para el análisis y cálculo de amenaza se hacen uso de los mapas de evaluación, para determinar la amenaza prevista para el día en estudio. La amenaza por deslizamientos calculada para el día 31 de octubre de 2020, a nivel nacional se presenta en la Figura 51.

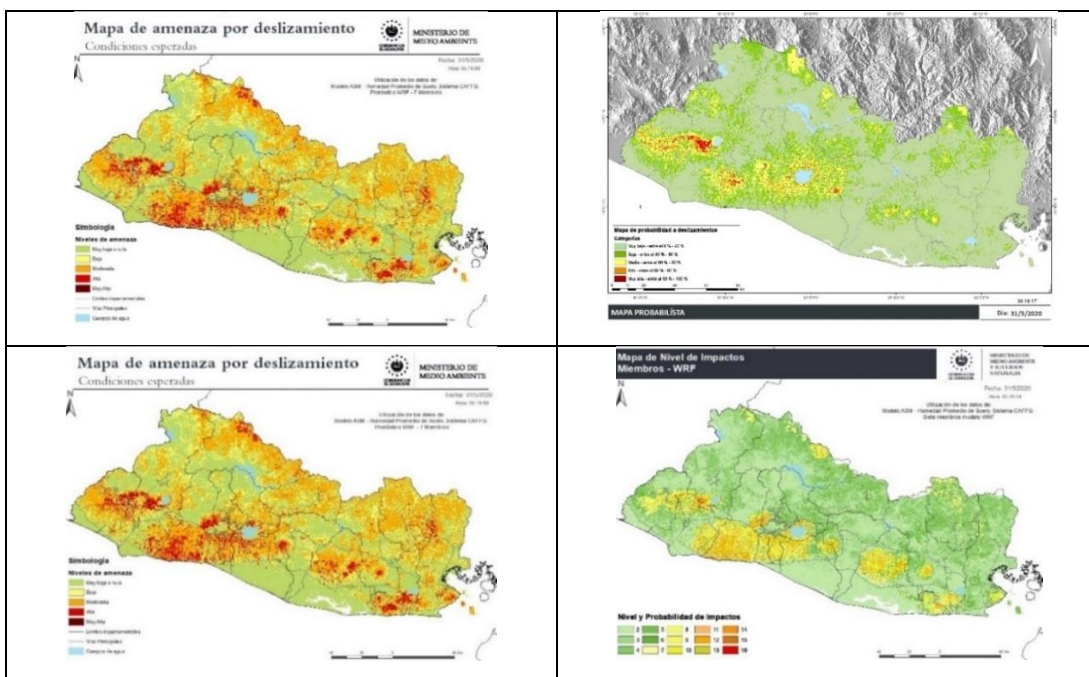


Figura 51. Mapas del nivel y probabilidad de amenaza por deslizamientos, a nivel nacional, para el día 31 de mayo del 2020. Fuente: MARN, 2020.

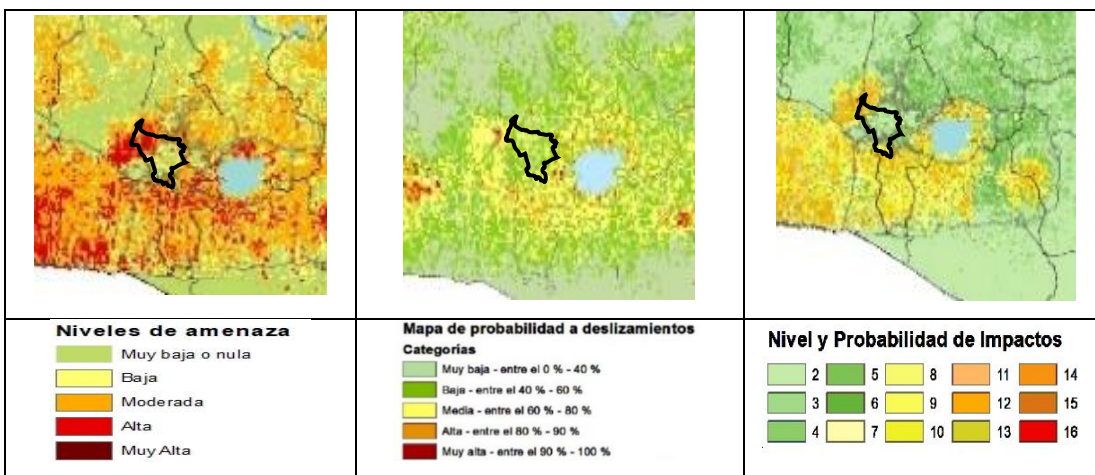


Figura 52. Análisis de amenaza para el municipio de San Salvador, correspondiente al día 30 de mayo del 2020. Fuente: MARN, 2020.

Por medio de los modelos y mapas de pronóstico por amenaza, se determina que, para el municipio de San Salvador, se presentaba un nivel de amenaza entre moderada a alta y un nivel de probabilidad de ocurrencia a deslizamientos media (Figura 52).

Tabla 26. Evaluación de indicadores para la estimación del nivel de severidad del impacto en el municipio de San Salvador.

Información base								
CLASIFICACIÓN DE LA ZONA	Área del municipio (km2):	72.7		Áreas en km2	Censo (2007)	Densidad poblacional		
	Área rural (km2):	26.4		Longitudes en km	316090	4359.8		
	Área urbana (km2):	45.8						
	Área mixta (km2):	0.5						
Elemento expuesto	Nombre del Indicador (Elemento expuesto)	Clasificaciones especiales	Unidad de medición	Valor de comparación	Medición de la influencia de la amenaza en el indicador	Valor del Indicador		
ESTÁTICOS	Infraestructura	Vivienda	Total	Área	20.3	20.3	100%	
			Formal	Área	ND			
			Informal	Área	ND			
			Zonas urbanas precarias	Área	7.85	7.9	100%	
		Edificios	Altura	Altura por área	ND			
			Total	Área	8.7	8.7	100%	
			Pública	Área	ND			
			Privada	Área	ND			
			Comercio	Área	7.1	7.1	100%	
			Industrial	Área	0.77	0.8	100%	
		Establecimientos de salud	Entretenimiento	Área	6.1	6.1	100%	
			Total	Área	1	1.0	100%	
	Pública		Área	ND				
	Establecimientos educativos	Privada	Área	ND				
		Total	Área	1.9	1.9	100%		
		Pública	Densidad	2.1	2.1	100%		
	Red de distribución eléctrica	Privada	Densidad	2.6	2.6	100%		
		Unidades	Densidad	ND				
	Red vial	Longitud cubierta	Longitud	ND				
		Total	Longitud	105.54	105.5	100%		
		Pavimentada	Longitud	ND				
		No pavimentada	Longitud	ND				
		Principal	Longitud	96.4	96.4	100%		
	Medios de vida	Secundaria	Longitud	ND				
Zonas agropecuarias		Total	Área	26.124	26.1	100%		
Áreas naturales protegidas		Tipo de actividad	Área	ND				
		Total	Área	0.414	0.4	100%		
Cobertura arbórea		Biodiversidad	Área	ND				
	Altura	Densidad	ND					
DINÁMICOS	Habitantes	Población general	Número	Área	0.797	0.8	100%	
			Población total	Densidad	4,375.0	4375.0	100%	
		Características específicas de la población	Elareos	Densidad	ND			
			Población económicamente activa	Densidad	2586	2586.0	100%	
			Población que vive en asentamientos urbanos precarios	Densidad	1445	1445.0	100%	
			Tasa de analfabetismo	Densidad	5.5	5.5	100%	
			Capacidades especiales	Densidad	187.9	187.9	100%	
						Total estimado a ser afectado		
			Total de Áreas	81.055	Total de Áreas Afectadas	81.1	100%	
			Total de Longitudes	201.94	Total de Longitudes Afectadas	201.9	100%	
			Total de Personas	8,604.1	Total de Personas Afectadas	8604.1	100%	

A partir de la evaluación de los indicadores y la influencia de la amenaza, la sumatoria de la Tabla 26 de indicadores indicó un 100 % de total estimado a ser afectado para el municipio de San Salvador, asignando una categoría de impacto “severo” (Figura 53).

Porcentaje total afectado	Severidad del Impacto
<20%	Bajo
20% - 40%	Medio
40% - 75%	Significativos
>75%	Severo

Figura 53. Clasificación del grado de severidad del impacto para el municipio de San Salvador.

La asignación de la severidad de los impactos, con respecto a los indicadores de exposición es de un impacto severo con probabilidad media de ocurrencia, es decir, un nivel 14 en la matriz de impactos (Figura 54).

Muy alta (80% - 100%)	4	8	12	16
Alta (60% - 80%)	3	7	11	15
Media (30% - 60%)	2	6	10	14
Baja (10% - 30%)	1	5	9	13
	Bajo	Medio	Significativo	Severo

Figura 54. Matriz de impacto: impacto severo con probabilidad media de ocurrencia, para el municipio de San Salvador.

Los impactos registrados, en el municipio de San Salvador, el día 31 de mayo del 2020, fueron un total de 8 impactos asociados a deslizamientos (Figura 55), a partir de la descripción de los registros de afectaciones se determinaba una categoría máxima de impactos “significativos”, como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27. Registro de impactos asociados a deslizamientos en el periodo comprendido del 30 al 31 de mayo de 2020, en el municipio de San Salvador.

Área	Fecha	Número de impactos	Severidad del impacto	Severidad máxima registrada	Matriz de impacto	Tipo de impacto
Deslizamiento	31/05/2020	8	Bajo	Significativo	4	Deslizamiento
	31/05/2020		Bajo		4	Deslizamiento
	31/05/2020		Significativo		12	Deslizamiento
	31/05/2020		Significativo		12	Deslizamiento
	31/05/2020		Significativo		12	Deslizamiento
	31/05/2020		Bajo		4	Deslizamiento
	31/05/2020		Medio		8	Deslizamiento
	31/05/2020		Bajo		4	Deslizamiento

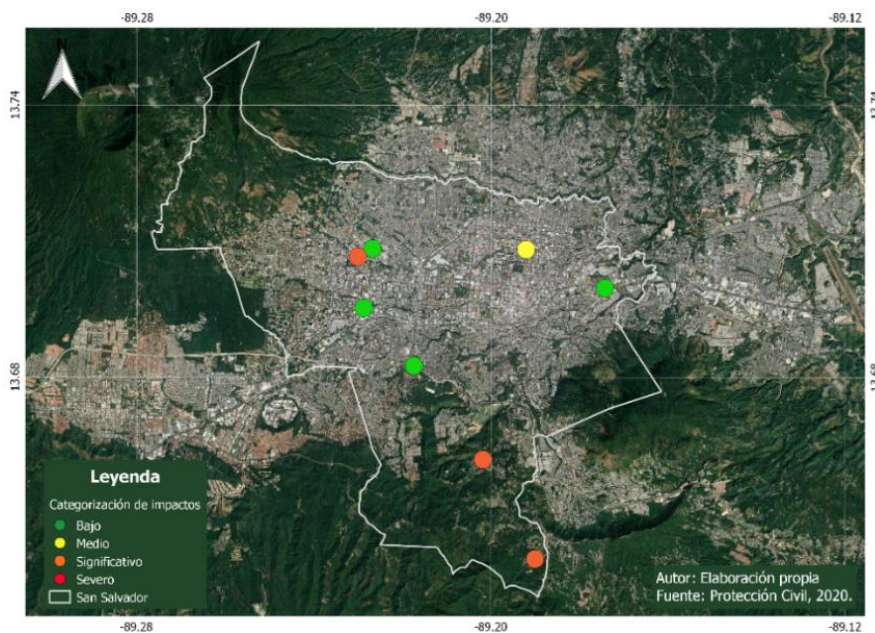


Figura 55. Registro de impactos por deslizamientos, el día 31 de mayo de 2020, en el municipio de San Salvador.

El modelo de exposición, genera en este caso una sobrestimación del nivel de severidad de impacto, contrastado con los impactos registrados para el municipio de San Salvador.

Con el propósito de comparar los resultados obtenidos mediante el modelo de exposición, y validarlos con el registro de los impactos generados por la amenaza hidrometeorológica del caso 2, se genera la Figura 56, donde se muestra la severidad del impacto registrado versus la severidad del impacto previsto mediante el modelo propuesto, por medio del análisis de las tres amenazas estudiadas para el día 31 de mayo del 2020 en el municipio de San Salvador,

análisis por viento (área de meteorología), análisis por deslizamientos (área de deslizamientos) y análisis por desbordamientos e inundaciones (área de hidrología).

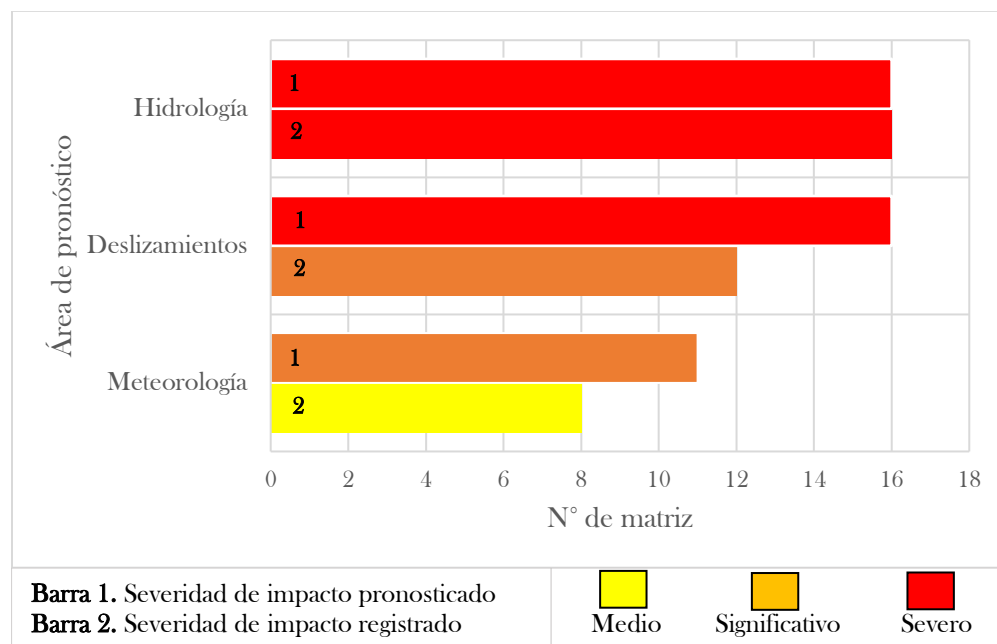


Figura 56. Severidad del impacto registrado versus severidad del impacto pronosticado mediante el uso del modelo de exposición, en el municipio de San Salvador.

Mediante la figura 55, se resumen los resultados obtenidos en los análisis de amenaza por vientos, deslizamientos, inundaciones y desbordamientos, donde se puede apreciar la sobrestimación de la severidad del impacto tanto en el análisis por viento del área de meteorología, como en el análisis por deslizamientos del área de deslizamientos. En este caso de estudio, únicamente el análisis por amenaza de inundación y desbordamientos de ríos, se adecuó a la severidad de las afectaciones registradas.

5.1.3 Caso 3. Tormenta Tropical ETA

La Tormenta Tropical Eta se ubicaba al este de Cabo de Dios, moviéndose en dirección oeste, hacia Centroamérica, en su recorrido fue reclasificada como huracán categoría uno, con vientos sostenidos de 120 km/h. En su desplazamiento por el mar Caribe, alcanzó la categoría cuatro con vientos sostenidos de 220 km/h, degradándose a Tormenta Tropical al tocar territorio nicaragüense y hondureño. Debido a la cercanía a nuestro país, esto favorecía a la incidencia de vientos moderados a fuertes, con velocidades que rondaban los 30 a 40 km/h y ráfagas entre los 50 a 80 km/h.

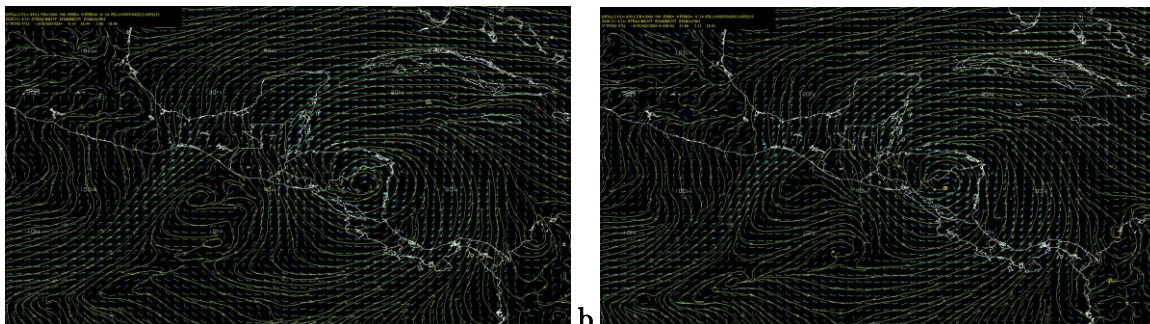


Figura 57. Salida del modelo Global Forecast System (GFS) para el día 03 y 04 de noviembre del 2020, utilizando la variable de viento en 850 hpa.

Con respecto al análisis de la amenaza (Figura 57), los modelos numéricos meteorológicos mostraban valores de ráfagas de viento asociado al acercamiento del sistema, con velocidades entre los 30 a 50 nudos, equivalentes a los 60 y 100 km/h aproximadamente, esta influencia de vientos generó múltiples impactos tales como caída de árboles, vallas publicitarias y postes de tendido eléctrico en diferentes puntos del país.

La ráfaga máxima registrada en el evento fue de 80 km/h en la estación de Ishuatán, y el viento máximo promedio, rondó entre los 40 a 50 km/h en los alrededores de la cordillera volcánica de la zona occidental y oriental del país (Figura 58).

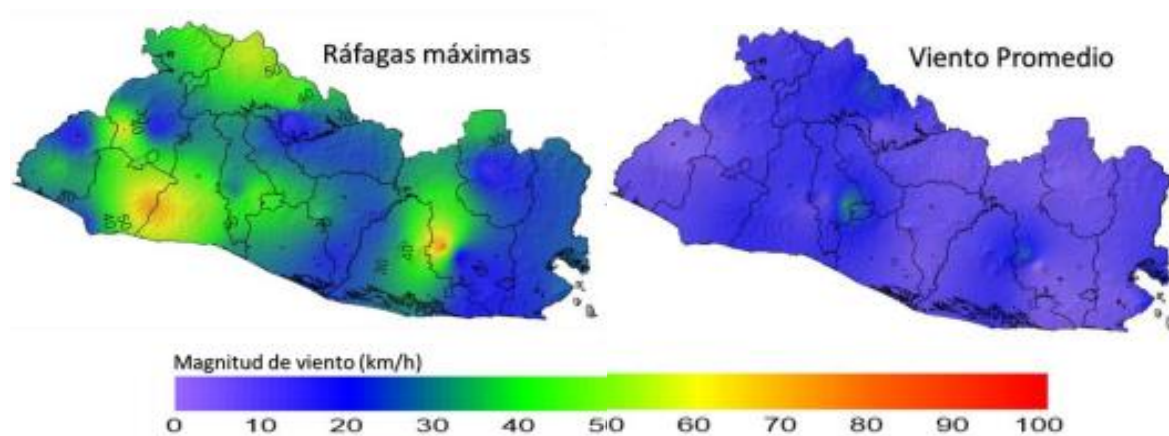


Figura 58. Ráfagas máximas y viento promedio registrado por las estaciones del MARN.

En el municipio de San Salvador, se registraron ráfagas de viento, con velocidades que rondaron entre los 40 a 55 km/h, generando múltiples impactos asociados a vientos moderados a fuertes en el municipio.

El caso de estudio se ha desarrollado para el municipio de San Salvador donde se reportó un mayor número de impactos asociados a ráfagas de viento en el periodo del 03 al 04 de noviembre del 2020. Las velocidades de ráfagas de viento, según los modelos numéricos indicaban un 100 % de influencia de vientos asociados al Huracán Eta, en diferentes sectores del país, por lo que la influencia de la amenaza en el indicador se determina en un 100 %.

Al realizar, la sumatoria de la evaluación de los indicadores, resulta un 100 % del total estimado a ser afectado, mediante el uso de la matriz de la clasificación del grado de severidad se le asigna una categoría de impacto **severo** (Figura 59), al municipio de San Salvador, por análisis de vientos acelerados, según el resultado obtenido en la tabla de evaluación.

Porcentaje total afectado	Severidad del Impacto
<20%	Bajo
20% - 40%	Medio
40% - 75%	Significativos
>75%	Severo

Figura 59. Clasificación del grado de severidad del impacto para el municipio de San Salvador.

Al cruzar la severidad del impacto potencial, con los niveles de probabilidad de la amenaza según los modelos numéricos, la probabilidad de incidencia de la amenaza se estima **alta**. Dando como resultado, un impacto severo con probabilidad alta de ocurrencia, asignándose un nivel 15 en la matriz de impactos (Figura 60).

Muy alta (80% - 100%)	4	8	12	16
Alta (60% - 80%)	3	7	11	15
Media (30% - 60%)	2	6	10	14
Baja (10% - 30%)	1	5	9	13
	Bajo	Medio	Significativo	Severo

Figura 60. Matriz de impacto: impacto severo con probabilidad alta de ocurrencia, para el municipio de San Salvador.

Tabla 28. Evaluación de indicadores para la estimación del nivel de severidad del impacto en el municipio de San Salvador.

Información base							
CLASIFICACIÓN DE LA ZONA	Área del municipio (km2):	72.7		Áreas en km2	Censo (2007)	Densidad poblacional	
	Área rural (km2):	26.4		Longitudes en km	316090	4359.8	
	Área urbana (km2):	45.8					
	Área mixta (km2):	0.5					
Elemento expuesto	Nombre del Indicador (Elemento expuesto)	Clasificaciones especiales	Unidad de medición	Valor de comparación	Medición de la influencia de la amenaza en el indicador	Valor del Indicador	
ESTÁTICOS	Infraestructura	Vivienda	Total	Área	20.3	20.3	100%
			Formal	Área	ND		
			Informal	Área	ND		
			Zonas urbanas precarias	Área	7.85	7.9	100%
		Edificios	Altura	Altura por área	ND		
			Total	Área	8.7	8.7	100%
			Pública	Área	ND		
			Privada	Área	ND		
			Comercio	Área	7.1	7.1	100%
			Industrial	Área	0.77	0.8	100%
		Establecimientos de salud	Entretimiento	Área	6.1	6.1	100%
			Total	Área	1	1.0	100%
			Pública	Área	ND		
		Establecimientos educativos	Privada	Área	ND		
	Total		Área	1.9	1.9	100%	
	Pública		Densidad	2.1	2.1	100%	
	Red de distribución eléctrica	Privada	Densidad	2.61	2.6	100%	
		Unidades	Densidad	ND			
	Red vial	Longitud cubierta	Longitud	ND			
		Total	Longitud	105.54	105.5	100%	
		Pavimentada	Longitud	ND			
		No pavimentada	Longitud	ND			
		Principal	Longitud	96.4	96.4	100%	
	Medios de vida	Secundaria	Longitud	ND			
		Zonas agropecuarias	Total	Área	26.124	26.1	100%
		Áreas naturales protegidas	Tipo de actividad	Área	ND		
		Total	Área	0.414	0.4	100%	
Cobertura arbórea	Biodiversidad	Área	ND				
	Altura	Densidad	ND				
DINÁMICOS	Habitantes	Población general	Número	Área	0.797	0.8	100%
			Población total	Densidad	4,375.0	4375.0	100%
		Características específicas de la población	Elaeos	Densidad	ND		
			Población económicamente activa	Densidad	2586	2586.0	100%
			Población que vive en asentamientos urbanos precarios	Densidad	1445	1445.0	100%
			Tasa de analfabetismo	Densidad	5.5	5.5	100%
			Capacidades especiales	Densidad	187.9	187.9	100%
						Total estimado a ser afectado	
			Total de Áreas	81.055	Total de Áreas Afectadas	81.1	100%
			Total de Longitudes	201.94	Total de Longitudes Afectadas	201.9	100%
			Total de Personas	8,604.1	Total de Personas Afectadas	8604.1	100%

Los impactos registrados en el municipio de San Salvador, los días 03 y 04 de noviembre del 2020, fueron un total de 16 impactos asociados a caídas de árboles y ramas. A partir de la descripción de los registros de afectaciones se determinaba una categoría máxima de impactos “significativos”, como se muestra en la Tabla 29.

Tabla 29. Registro de impactos asociados a ráfagas de viento en el periodo comprendido del 03 al 04 de noviembre de 2020, en el municipio de San Salvador.

Área	Fecha	Número de impactos	Severidad del impacto	Severidad máxima registrada	Matriz de impacto	Tipo de impacto
Meteorología	03/11/2020	22	Medio	Significativo	8	Caída de arbol
	03/11/2020		Significativo		12	Caída de arbol
	03/11/2020		Medio		8	Caída de arbol
	03/11/2020		Medio		8	Caída de arbol
	03/11/2020		Significativo		12	Caída de arbol
	03/11/2020		Significativo		12	Caída de arbol
	04/11/2020		Bajo		4	Caída de arbol
	04/11/2020		Medio		8	Caída de arbol
	04/11/2020		Bajo		4	Caída de arbol
	04/11/2020		Bajo		4	Caída de arbol
	04/11/2020		Bajo		4	Caída de arbol
	04/11/2020		Bajo		4	Caída de arbol
	04/11/2020		Bajo		4	Caída de arbol
	04/11/2020		Medio		8	Caída de arbol
	04/11/2020		Bajo		4	Caída de arbol
	04/11/2020		Medio		8	Caída de arbol
	04/11/2020		Bajo		4	Caída de arbol
	04/11/2020		Medio		8	Caída de arbol
	04/11/2020		Medio		8	Caída de arbol
	04/11/2020		Bajo		4	Caída de arbol
	04/11/2020		Medio		8	Caída de arbol
	04/11/2020		Bajo		4	Caída de arbol

En la Figura 61, se muestra la distribución geográfica de los impactos registrados en San Salvador.

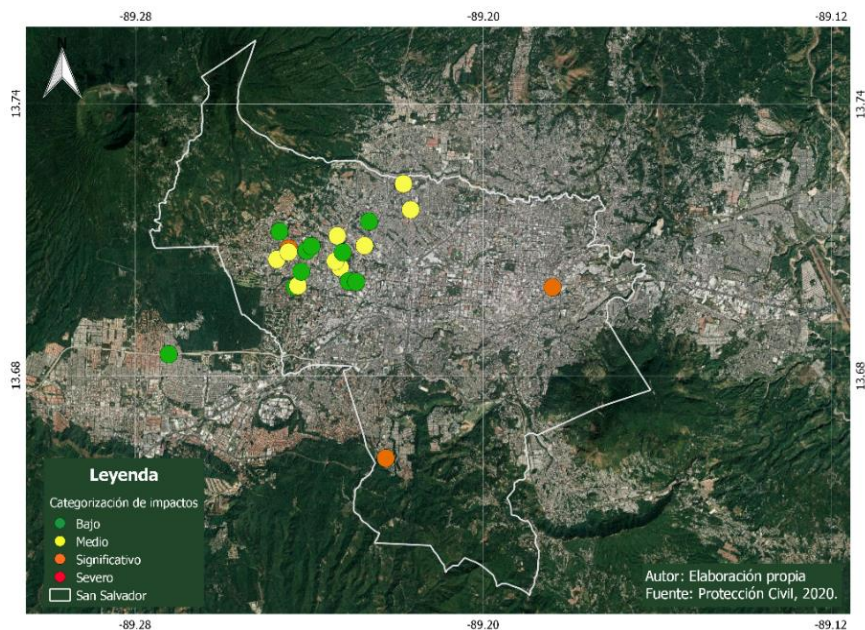


Figura 61. Registro de impactos por caída de árboles, el día 31 de mayo de 2020, en el municipio de San Salvador.

El resultado del uso de indicadores mediante el conocimiento de la influencia de la amenaza, muestra que el modelo de exposición, en este caso de estudio genera una sobrestimación del nivel de severidad de impacto, contrastado con los impactos registrados para el municipio de San Salvador.

6 Conclusiones y recomendaciones

La generación de indicadores y la aplicación del modelo de exposición, permitió establecer líneas base para reflejar y valorar aspectos de importancia en los catorce municipios que componen el Área Metropolitana de San Salvador, cuya finalidad es identificar elementos expuestos y sus características, para la evaluación de la severidad de impactos potenciales ante amenazas naturales.

Con este propósito, se construyeron los indicadores que componen el modelo, presentados mediante mapas de distribución a nivel municipal según indicador, así como la integración de cada uno de ellos, para la generación de un modelo de exposición, permitiendo identificar los municipios que presentan mayor o menor nivel de exposición.

Mediante, la distribución del modelo de exposición obtenido, los municipios del Área Metropolitana de San Salvador, que presentan mayor nivel de exposición son San Salvador, con un nivel de exposición severo; seguido de Soyapango y Santa Tecla, clasificados con un nivel de exposición significativo, y los municipios de Cuscatancingo, Mejicanos, Apopa y Delgado, con un nivel de exposición medio. Los municipios que presentaron menor nivel de exposición fueron Ayutuxtepeque y Tonacatepeque con un nivel de exposición muy bajo.

Esto indica, que los municipios que presentan mayor nivel de exposición concentran mayor número de elementos expuestos que se podrían ver afectados ante la influencia de una amenaza natural, por lo que se debe prestar atención especial a dichos municipios, ante los impactos potenciales que genera una amenaza.

Con respecto a la aplicación del modelo, realizado en tres casos de estudio de eventos hidrometeorológicos, donde se analizaron amenazas por viento, deslizamientos e inundaciones, permitió indicar la funcionalidad del modelo. En los resultados obtenidos se identificaron casos en los cuales el modelo sobreestimaba el impacto potencial y en otros casos, este generaba un buen pronóstico en términos de severidad prevista del impacto.

Los resultados sugieren, que la aplicación de un modelo de exposición, dependerá de una mejor identificación de los elementos ante una amenaza específica. Como, por ejemplo, en una amenaza por deslizamientos, los elementos principales a ser considerados, podrían ser la

población que habita en sectores donde hay pendientes pronunciadas y la infraestructura que se encuentre en estos lugares. Al establecer esta acotación, permitirá reducir la sobreestimación de la severidad de los impactos, mediante el uso de la información de elementos expuestos prioritarios.

Además, otro factor importante dentro del modelo propuesto, es que se consideran elementos a nivel municipal, generando que el análisis de amenaza y de impactos potenciales asociados, se estimen mediante aproximaciones, haciendo uso de información general del municipio. Por lo que, los niveles de resolución del modelo son bajos o medios, definiendo el alcance del mismo.

Por otro lado, implícitamente se encuentra el análisis de la amenaza, donde existen incertidumbres en su comportamiento y desarrollo, mediante modelos numéricos. Al realizar un mal análisis de amenaza, se obtendrá un mal análisis de pronóstico basado en impactos, por ende, debe de existir un buen pronóstico por amenaza para obtener buenos resultados al pronosticar un impacto potencial.

Recomendaciones

- Identificar y establecer elementos prioritarios. Esta priorización, para un mejor análisis de exposición, es necesario que se evalúe de acuerdo a cada amenaza, con el fin de establecer un mejor funcionamiento del modelo de exposición ajustado. Sin embargo, es claro que modelos generales como el evaluado en este trabajo, son la pauta para las consideraciones base de un modelo de exposición.
- Con base en la priorización del punto anterior, es necesario generar criterios especiales en los indicadores, adaptados en un sitio a sus propias condiciones, para reducir la subestimación o sobreestimación en los pronósticos de impactos potenciales ante una amenaza, de tal manera que se reduzca la incertidumbre intrínseca en la toma de decisiones durante la realización de los pronósticos.
- Hacer uso de imágenes satelitales, para el cálculo de indicadores de exposición, de los cuales no se posea información actualizada, ya que, si se busca cubrir grandes extensiones espaciales para la evaluación de impacto, las técnicas basadas en datos de sensores remotos, son una opción.

- Mejorar herramientas para el análisis de amenaza y modelos de pronósticos (numéricos, probabilistas, etc.). Si bien, un modelo de exposición aporta a una mejor evaluación de potenciales impactos, los modelos de amenaza son un insumo vital para la evaluación.
- Formar alianzas o vínculos directos entre instituciones que producen y disponen de bases de datos útiles para la generación de un modelo de exposición, que permita obtener información actualizada y completa, de manera dinámica, fluida, y con buena resolución espacial y temporal.
- Instar y dar a conocer a las instituciones correspondientes, la necesidad de información actualizada y de fácil acceso para mejorar las acciones relacionadas a la gestión del riesgo.

7 Referencias bibliográficas

- Barandiarán, M., Esquivel, M., Lacambra, S., Suárez, G., & Zuloaga, D. (2019). Resumen ejecutivo de la Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático: documento técnico de referencia para equipos a cargo de proyectos del BID.
- Campbell, R., Beardsley, D., & Tokar, S. (2018). Impact-based Forecasting and Warning: Weather Ready Nations. Obtenido de <https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/impact-based-forecasting-and-warning-weather-ready-nations>
- Cardona, O. D. (1993). Los desastres no son naturales, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED).
- CEPAL. (2014). Manual para la evaluación de desastres. Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Concepto (2021), Definición de Población económicamente activa. Equipo editorial, Etecé. Argentina. Recuperado de <https://concepto.de/poblacion-economicamente-activa/>
- Concepto (2021), Definición de zona urbana, Equipo editorial, Etecé. Argentina. Recuperado de <https://concepto.de/zona-urbana/>
- Cortés, J. M. (18 de diciembre de 2017). Diferentes tipos del pronóstico del tiempo. Obtenido de Meteored: <https://www.meteored.mx/noticias/divulgacion/diferentes-tipos-del-pronostico-del-tiempo.html>
- DIGESTYC (2007). Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples (EHPM)
- EIRD. (2017). Estrategia Internacional de Reducción de Riesgos de Desastres, UNISDR.
- Gestiopolis. (18 de diciembre de 2002). ¿Qué es un pronóstico? Características y métodos. Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/que-es-un-pronostico-caracteristicas-y-metodos/>
- González, S., & Torchia, N. (2007). Aportes para la elaboración del marco conceptual "Proyecto Nacional de Reducción del Riesgo de Desastres y Desarrollo Territorial. Proyecto PNUD.
- Hilderbrand, D. (2014). Building a Weather-Ready Nation. Obtenido de World Meteorological Organization: <https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/building-weather-ready-nation>
- Huang, J., Liu, Y., Ma, L., & Su, F. (2012). Methodology for the assessment and classification of regional vulnerability to natural hazards in China: the application of a DEA model. Springer Science+Business Media B.V. 2012.

- IPCC. (2014). Cambio Climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen, preguntas frecuentes y recuadros multicapitulados
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra (Suiza).
- Kattan, C., Menjívar, L., Molina, G., Peñate, Y., Estrada, A., Morán, I., . . . Cañas, A. (2017). Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades. San Salvador.
- Kerstin Fritzsche, Stefan Schneiderbauer, Philip Bubeck, Stefan Kienberger, Mareike Buth, Marc Zebisch y Walter Kahlenborn (2014). El Libro de la Vulnerabilidad: Concepto y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad. Bonn y Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- MARN (2020). Resumen Climatológico del año 2020 - Condiciones registradas, Área de Clima y Agrometeorología. Dirección General del Observatorio de Amenazas, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- MARN. (2019). Protocolo de pronóstico por impactos para eventos meteorológicos. San Salvador.
- Martínez, R. y A. Fernández (2010). Impacto social y económico del analfabetismo: modelo de análisis y estudio piloto. Comisión Económica para América Latina (CEPAL) y Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe, UNESCO Santiago. Santiago (Chile), pp. 6-17.
- National Weather Services. (2011). National Oceanic and Atmospheric Administration. Recuperado de Weather-Ready Nations: <https://www.weather.gov/wrn/wrns>
- OMM (2015). Directrices de la OMM sobre servicios de predicción y avisos multirriesgos que tienen en cuenta impactos.
- OPAMSS (2017). Reseña histórica Institucional de la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador.
- Renda, E., Garay, M., Moscardini, O., & Torchia, N. (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgo. Buenos Aires: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Rivera (2020). Categorización elementos expuestos y criterios de evaluación de vulnerabilidad, Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales - MARN.
- Schenk, V. (1989). Achievements and Probable Trends in Seismic Hazard Assessment. Tectonophysics, Vol. 167, pp. 157-169.

Seunghoo, J., & Yoon, D. K. (2018). Examining Vulnerability Factors to Natural Disasters with a Spatial Autoregressive Model: The Case of South Korea. Sustainability.

UNISDR. (2009). Terminología sobre Reducción de Riesgo de Desastres. Ginebra, Suiza.

UNISDR. (2011). Informe global de evaluación sobre reducción de riesgo, Naciones Unidas.

UNISDR. (2017). Estrategia Internacional para la Reducción del Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas.

Villarreal, D. F. (2016). Introducción a los modelos de pronósticos.

Yamin, L. E., Ghesquiere, F., Cardona, O. D., & Ordaz, M. G. (2013). Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre. El caso de Bogotá, Colombia. Bogotá: Banco Mundial, Universidad Los Andes.