UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
CIUDAD UNIVERSITARIA
INSTITUTO HONDUREÑO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO DE TESIS

"EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTO Y SU RELACIÓN CON LOS PERÍODOS DE RETORNO DE LAS PRECIPITACIONES DE LOS BARRIOS Y COLONIAS DEL SECTOR 9 DEL MUNICIPIO DEL DISTRITO CENTRAL DE HONDURAS; DURANTE EL PERÍODO 1979-2019"

PRESENTADO POR:
MSC. CINTHIA ELIZABETH BORJAS VALENZUELA

Previa a opción de Grado de Máster en Gestión del Riesgo y Manejo de Desastres

ASESOR TÉCNICO:
PHD. GINÉS SUÁREZ VÁZQUEZ

TEGUCIGALPA, M.D.C., HONDURAS, C.A., AGOSTO 2023

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS

RECTOR
DR. FRANCISCO HERRERA ALVARADO

VICERRECTORA ACADÉMICA
MAE. BELINDA FLORES DE MENDOZA

SECRETARIA GENERAL
DRA. JESSICA PATRICIA SÁNCHEZ MEDINA

DIRECCIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIO DE POSGRADO
DIRECTOR
DR. ARMANDO EUCEDA

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo de investigación a mi pareja y mi familia, quienes han sido mi inspiración y cómplices en este viaje académico. Su apoyo constante, ánimo y palabras de aliento han sido fundamentales para superar los obstáculos y mantenerme motivada en todo momento. Agradezco su comprensión y paciencia durante las largas horas de estudio dedicadas a esta tesis.

Este logro también es suyo.

Además, esta investigación está dedicada a todos aquellos que han sido afectados por riesgo de deslizamientos. A las comunidades que han sufrido pérdidas y han demostrado resiliencia en la adversidad, mi dedicación es en honor a ustedes. Espero que este trabajo contribuya a generar conocimiento, herramientas y acciones para preparar, responder, prevenir y mitigar los impactos y evitar futuros desastres, y que las duras alecciones aprendidas de su coraje y perseverancia sirvan de guía para construir un mejor mundo, más seguro y resiliente.

Agradecimientos

Mi profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que contribuyeron de manera significativa en la realización de esta investigación de mi tesis de maestría en Gestión de Riesgos y Manejo de Desastres. Su apoyo, orientación y aliento fueron fundamentales para el alcanzar esta importante meta en mi formación académica y profesional.

En primer lugar y en todo momento, agradezco a Dios por ser en mi vida mi fortaleza, mi inspiración y la fuente de sabiduría sin la cual no hubiese sido posible alcanzar este logro.

Agradezco a mi asesor técnico Ginés Suárez Vásquez, sus aportes técnicos a nuestro país han sido el comienzo de numerosos estudios, proyectos y acciones para reducir el riesgo de desastre. Su guía como experto, paciencia, y dedicación a lo largo de este proceso de investigación. Sus conocimientos, experiencia y pasión por la Gestión de Riesgo de Desastres fueron fundamentales para orientarme, asegurado la calidad y objetividad con base científica en este trabajo.

Agradezco también a la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, a los maestros y todo el equipo de la coordinación de la maestría, quienes me impartieron conocimientos fundamentales y me impulsaron a profundizar en el campo de la gestión de riesgos. Su dedicación, enseñanzas y ejemplos me orientaron mucho para expandir mi visión, y desarrollar habilidades técnicas y críticas para hacer incidencia desde mi área profesional para lograr mejores decisiones.

Quiero agradecer a las organizaciones e instituciones que brindaron de manera formal y responsable de los datos, la información y los recursos necesarios para llevar a cabo mi investigación. Además, quiero destacar la labor de expertos y profesionales que generosamente

compartieron su tiempo y conocimiento aportando valiosas perspectivas que enriquecieron mi trabajo.

Extiendo mi agradecimiento a mi familia y amigos, quienes me brindaron su apoyo incondicional, alentándome a seguir adelante en momentos difíciles y celebrando mis logros. Su amor y comprensión fueron mi fuerza que me impulso durante este proceso.

Finalmente, quiero agradecer a todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron a esta investigación, y no fueron mencionados en este breve espacio. Su colaboración fue mi importante y han dejado una experiencia muy enriquecedora en mi trayectoria académica y profesional.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. Su participación en este proyecto de investigación ha sido fundamental y ha enriquecido enormemente mi conocimiento de la Gestión de Riesgo de Desastres. Espero que este trabajo contribuya de mamera positiva a la Reducción del Riesgo de Desastres en nuestras comunidades, y pueda servir de base para futuras investigaciones y acciones para salvar vidas.

Resumen

En el Municipio del Distrito Central de Honduras (MDC) concentra buena parte de los eventos de desastres históricos registrados en el país, adicional a esto los principales impactos y riesgos asociados a las precipitaciones que son entre otras causas generan una mayor probabilidad de deslizamientos en periodos de lluvias intensan, y son estos riesgos los representan un miedo latente para las comunidades expuestas.

La investigación se llevó a cabo en los barrios y colonias del sector 9 del MDC, en donde se evaluó la exposición a la amenaza por deslizamiento y su relación con los periodos de retorno de las precipitaciones de los deslizamientos activos durante el periodo de 1979 al 2019. Se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones; se estudiaron los barrios y colonias susceptibles a deslizamientos del sector 9 del MDC que tenían al menos un polígono de deslizamiento identificado según fuentes y/o mapas oficiales, se analizaron los barrios y colonias del sector 9 del MDC que tenían al menos un registro de deslizamiento según fuentes oficiales y se realizó un cruce de información entre los barrios y colonias susceptibles y los deslizamientos registrados para identificar los barrios y colonias con deslizamientos activos.

El estudio se desarrolló en las siguientes etapas; a) recopilación de la información, b) definición del área de estudio, c) identificación de la amenaza y susceptibilidad e inventario de deslizamientos, d) creación del registro de deslizamientos, e) definición de los deslizamientos activos, f) clasificación de la exposición, g) cálculo de la probabilidad de excedencia, h) cálculo de los periodos de retorno y i) definición de la relación de la exposición con la probabilidad de excedencia y periodos de retorno.

El sector 9 del MDC tiene 40 barrios y colonias oficialmente registrados por la entidad municipal, de los cuales aplicando la presente metodología con sus respectivas etapas y de acuerdo a la aparición de estos en los mapas Multiamenaza (Inundaciones y Movimientos de Ladera) del MDC, Actualizado de inventario de deslizamientos del MDC y Actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del MDC, se identificaron 20 barrios y colonias susceptibles a deslizamientos En este sector los deslizamientos representan el 42%, seguidos de las inundaciones 15% y las lluvias 14%. Además, se encontraron 14 barrios y colonias con deslizamientos activos, es decir aquellos barrios y colonias susceptibles a deslizamientos y que cuenta con por lo menos 1 registro de deslizamiento, siendo las de mayores registros; la Colonia El Reparto, Colonia Canaán, Barrio El Chimbo y Colonia Nueva Santa Rosa.

La clasificación de la exposición se basó en la información socioeconómica existente y oficial, por lo que de los 14 barrios y colonias con deslizamientos activos, estos pasaron a ser 8 que tienen esta información completa, además se agrupó en 12 tipos de exposición de acuerdo a sus unidades de la información socioeconómica recolectada, en 4 bloques; exposición de las edificaciones de uso residencial por densidad de viviendas, exposición humana de la población por número de personas, exposición física infraestructuras críticas por número de edificaciones de; salud, educación, social, comercial e industrial, y exposición física infraestructuras críticas por porcentaje instalaciones de; agua potable, saneamiento, energía, transporte y telecomunicaciones.

En el análisis de los periodos de retorno se realizó un cálculo de la probabilidad de excedencia de deslizamientos, y al contrastarlos con los valores de periodos de retorno resultó que son consistentes, encontrando que los dos barrios y colonias que tienen mayor probabilidad de excedencia, es decir la probabilidad de que uno o más deslizamientos ocurran durante un tiempo específico; a la vez son dos de los barrios y colonias que tienen menor periodo de retorno, es decir que el número promedio de años dentro del cual se espera que el evento sea igualado o excedido sólo una vez. Estos son Colonia El Reparto y Colonia Canaán, el resto también siguen un orden consistente.

Se concluye que la relación de la exposición con los periodos de retorno de las precipitaciones ocurridas en los deslizamientos activos en los barrios y colonias del sector 9 del MDC, están relacionados, es decir que los dos barrios y colonias que tienen mayor exposición tomando las más relevantes la exposición física de las edificaciones de uso residencial, y la exposición humana de la población; a la vez son dos de los que tienen menor periodo de retorno es decir el número promedio de años dentro del cual se espera que el evento sea igualado o excedido sólo una vez. Estas son Colonia El Reparto y Colonia Canaán, además de manera similar ocurre este comportamiento con todas las categorías analizadas.

Palabras clave: deslizamiento activo, registro de deslizamientos, precipitación acumulada probabilidad de excedencia, área de afectación.

Índice de contenido

CAPÍTULO I 13
Introducción 13
Planteamiento del Problema 14
Objetivos de la Investigación 15
Objetivo General 15
Objetivos Específicos 15
Justificación 16
Hipótesis 16
CAPÍTULO II 17
Marco Referencial 17
Marco Conceptual 31
Marco Legal 54
CAPÍTULO III 61
Metodología de Investigación 61
Método 61
Enfoque y Tipo 61
Variables 63
Técnicas de Recolección 63
Fuentes y Recursos 64
Análisis de la Metodología 65
CAPÍTULO IV 98
Análisis y Resultados de Datos 98
Amenaza y Susceptibilidad por Deslizamiento 98

Registro de Deslizamientos 98
Deslizamientos Activos 99
Exposición a la Amenaza por Deslizamiento 99
Probabilidad de Excedencia 105
Período de Retorno 108
Comparación Probabilidad de Excedencia con Períodos de Retorno 110
Comparación de Exposición con los Períodos de Retorno 112
Discusión de Resultados 113
CAPÍTULO V 117
Conclusiones 117
Recomendaciones 121
CAPÍTULO VI 122
Bibliografía 122
CAPÍTULO VII 127
Anexos 127

Índice de Tablas

Tabla 1. Información de sector 9 del Distrito Central 18
Tabla 2. Efectos de los Huracanes Eta e Iota 2020 por sectores en millones de lempiras 21
Tabla 3. Ejemplos de tipos de amenazas de acuerdo a su origen 36
Tabla 4. Tipos de movimientos en masa 38
Tabla 5. Enfoques para analizar la exposición 47
Tabla 6. Parámetros de exposición más habituales 48
Tabla 7. Clasificación de la exposición 50
Tabla 8. Distribución de probabilidades utilizadas en hidrología 52
Tabla 9. Niveles normativos de la Gestión del Riesgo de Desastres para el Distrito Central 54

Tabla 10. Proyectos e Iniciativas Municipales de Gestión Integral de Riesgo de Desastres 60

Tabla 11. Barrios y colonias del Sector 9 del MDC 67

Tabla 12. Barrios y colonias susceptibles a deslizamientos del sector 9 del MDC 69

Tabla 13. Barrios y colonias con deslizamientos registrados para el periodo de 1979-2019 del sector 9 del MDC 72

Tabla 14. Barrios y colonias con número de eventos de deslizamientos activos del sector 9 del MDC 72

Tabla 15. Información socioeconómica de los barrios y colonias del sector 9 que contienen deslizamientos activos 75

Tabla 16. Densidades, proporciones y porcentajes promedio de la información socioeconómica de los barrios y colonias del sector 9 del MDC 77

Tabla 17. Áreas del mapa de los barrios y colonias del sector 9 intersectados por el mapa consolidado de los 3 mapas 78

Tabla 18. Porcentaje de afectación por deslizamientos de los barrios y colonias con deslizamientos activos del sector 9 del MDC 81

Tabla 19. Exposición de los barrios y colonias con deslizamientos activos en el sector 9 del MDC 81

Tabla 20. Probabilidad de excedencia de deslizamientos utilizando la fórmula de Poisson en los barrios y colonias con exposición en el sector 9 del MDC 82

Tabla 21. Datos de precipitación diaria máxima anual y cálculo de Weibull y Gumbel 83

Tabla 22. Datos de precipitación máxima acumulada anual de 2 días y cálculo de Weibull y Gumbel 84

Tabla 23. Datos de precipitación máxima acumulada anual de 5 días y cálculo de Weibull y Gumbel 86

Tabla 24. Datos de precipitación máxima acumulada anual de 10 días y cálculo de Weibull y Gumbel 88

Tabla 25. Precipitación del día del evento de deslizamiento, acumulados de 2, 5 y 10 días en los barrios y colonias del sector 9 que contienen información de exposición 90

Tabla 26. Cálculo del periodo de retorno de las precipitaciones de los acumulados de 2, 5 y 10 días en las fechas del evento de deslizamiento, en los barrios y colonias del sector 9 que contienen información de exposición 92

Tabla 27. Selección del valor máximo de periodo de retorno de las precipitaciones de los acumulados de 2, 5 y 10 días en las fechas del evento de deslizamiento, en los barrios y colonias del sector 9 que contienen información de exposición 95

Tabla 28. Periodo de retorno que caracteriza los barrios y colonias del sector 9 del Distritito Central 97

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Proyección de precipitación mensual y temperatura según escenarios climáticos para el Distrito Central..... 29

Gráfico 2. Porcentajes por tipo de evento registrados en el Distrito Central durante 1905-2022 71

Gráfico 3. Distribución de Weibull y Gumbel para precipitación máxima diaria anual 84

Gráfico 4. Distribución de Weibull y Gumbel para precipitación máxima acumulada anual de 2 días 86

Gráfico 5. Distribución de Weibull y Gumbel para precipitación máxima acumulada anual de 5 días 87

Gráfico 6. Distribución de Weibull y Gumbel para precipitación máxima acumulada anual de 10 días 89

Gráfico 7. Porcentajes de tipo de evento registrados en los barrios y colonias del sector 9 del MDC durante 1979-2019 98

Gráfico 8. Barrios y colonias del sector 9 MDC con número de deslizamientos activos durante el periodo de 1979-2019 99

Gráfico 9. Porcentaje del área de afectación por deslizamientos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC..... 100

Gráfico 10. Exposición física de las edificaciones de uso residencial de los barrios y colonias del sector 9 del MDC 101

Gráfico 11. Exposición humana de la población de los barrios y colonias del sector 9 del MDC 102

Gráfico 12. Exposición física de la infraestructura critica por número de edificaciones de los barrios y colonias del sector 9 del MDC..... 104

Gráfico 13. Exposición física de la infraestructura critica por porcentaje de las instalaciones de los barrios y colonias del sector 9 del MDC..... 105

Gráfico 14. Probabilidad de excedencia de deslizamientos para t = 5, 25 y 50 años de los barrios y colonias del sector 9 del MDC..... 106

Gráfico 15. Período de retorno de las precipitaciones en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC 109

Gráfico 16. Comparación probabilidad de excedencia t=5 con periodos de retorno en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC 110

Gráfico 17. Comparación probabilidad de excedencia t=25 con periodos de retorno en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC 111

Gráfico 18. Comparación probabilidad de excedencia t=50 con periodos de retorno en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC 111

Gráfico 19. Comparación de Exposición física de las edificaciones de uso residencial con periodos de retorno en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC 112

Gráfico 20. Comparación de Exposición humana de la población con periodos de retorno en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC 113

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación y Sectores del Municipio del Distrito Central 17

Figura 2. Ruta del Huracán Mitch del 26 de octubre al 1 de noviembre de 1998 20

Figura 3. Mapa del mundo con el Índice Global de Riesgo Climático 2000-2019 21

Figura 4. Área de cobertura de los inventarios desarrollados en el MDC entre 1987 y 2014 23

Figura 5. Mapa actualizado de inventario de deslizamientos del Distrito Central 24

Figura 6. Mapa actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del Distrito Central 25

Figura 7. Mapa actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del Distrito Central 27

Figura 8. Lotes afectados por deslizamiento e inundaciones en el Distrito Central 28

Figura 9. Elementos que componen el riesgo de desastres 34

Figura 10. Partes que conforman un deslizamiento 40

Figura 11. Deslizamiento rotacional típico 41

Figura 12. Relaciones Dr/Lr para deslizamientos de traslación y rotación 41

Figura 13. Tipos de deslizamientos traslacionales 42

Figura 14. Mapa multiamenaza (Inundaciones y Movimientos de Ladera) del Distrito Central . 44

Figura 15. Mapa de inventario de movimientos de ladera del Distrito Central JICA 2014 45

Figura 16. Deslizamientos activos de acuerdo al estudio de crecimiento urbano de Tegucigalpa 46

Figura 17. Estaciones hidrometeorológicas del Distrito Central 54

Figura 18. Vinculación grafica del Marco de Sendai con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 56

Figura 19. Mapa de los barrios y colonias del sector 9 del MDC..... 66

Figura 20. Mapa de los 3 mapas; Multiamenaza (amenaza a movimiento de ladera) Actualizado de inventario de deslizamientos y Actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del sector 9 del MDC..... 68

Figura 21. Mapa consolidado de los 3 mapas; Multiamenaza (amenaza a movimiento de ladera) Actualizado de inventario de deslizamientos y Actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del sector 9 del MDC..... 69

Figura 22. Mapa de barrios y colonias susceptibles a deslizamientos del sector 9 del MDC 70

Figura 23. Mapa de barrios y colonias que contienen deslizamientos activos del sector 9 del MDC 73

Figura 24. Mapa de barrios y colonias con información socioeconómica del sector 9 del MDC 76

Figura 25. Mapa del área de los barrios y colonias del sector 9 intersectados por el mapa consolidado de los 3 mapas..... 78

Figura 26. Área afectada de barrios y colonias del sector 9 intersectados por el mapa consolidado 80

Figura 27. Mapa de la Exposición física de las edificaciones de uso residencial de los barrios y colonias del sector 9 del MDC..... 101

Figura 28. Mapa de la Exposición humana de la población de los barrios y colonias del sector 9 del MDC..... 103

Figura 29. Mapa de probabilidad de excedencia de deslizamientos t=5 años de los barrios y colonias del sector 9 del MDC..... 107

Figura 30. Mapa de probabilidad de excedencia de deslizamientos t=25 años de los barrios y colonias del sector 9 del MDC..... 107

Figura 31. Mapa de probabilidad de excedencia de deslizamientos t=50 años de los barrios y colonias del sector 9 del MDC..... 108

Figura 32. Mapa del período de retorno de las precipitaciones en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC..... 109

Índice de Anexos

Anexo 1. Tabla de registro de eventos ocurrido en el Distrito Central entre 1905-2022 (En digital) 127

Anexo 2. Tabla de barrios y colonias con los registros de deslizamientos del sector 9 del Distrito Central (En digital) 127

Anexo 3. Tabla de información socioeconómica de los barrios y colonias del sector 9 del Distrito Central (En digital) 127

Anexo 4. Tabla de precipitaciones diarias Estación hidrometeorológica UNAH con registros de 1979 al 2019 (En digital) 127

Lista de Abreviaturas

AMDC Alcaldía Municipal del Distrito Central

BID Banco Interamericano de Desarrollo

DC Distrito Central

GIRD Gestión Integral de Riesgo de Desatases

GRD Gestión del Riesgo de Desastre

JICA Agencia de Cooperación Japonesa

MDC Municipio del Distrito Central

ONU Organización de las Naciones Unidas

PLACC Plan Local de Adaptación al Cambio Climático

PMGIRD Política Municipal de Gestión Integral de Riesgos de Desastres del Distrito Central

PNUD Programa de las Naciones unidas para el Desarrollo

RRD Reducción de Riesgo de Desastres

SINAGER Sistema Nacional de Gestión de Riesgos

UMGIR Unidad Municipal de Gestión Integral del Riesgo

UNAH Universidad Nacional Autónoma de Honduras

UNDRR Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres

CAPÍTULO I

Introducción

> En la temática de la gestión del riesgo de desastres, es cada vez más evidente que los desastres no son eventos aislados e imprevistos, son más bien el resultado de la interacción de los fenómenos naturales con las condiciones existentes en los territorios, tales como la vulnerabilidad de las comunidades expuestas. Esta interacción ha llevado a reconocer que los desastres no son naturales, sino una construcción social, donde la exposición a la amenaza es un elemento clave en la determinación del riesgo de desastres.

En Honduras, uno de los países más expuesto a la ocurrencia de fenómenos naturales como los eventos hidrometeorológicos que muchas veces desencadenan los deslizamientos y las inundaciones entre otras amenazas, las comunidades se enfrentan constantemente al temor de los efectos devastadores que provocan las lluvias, estas que en los últimos años parecen ser más intensas y frecuentes. Por ello, es imperante comprender y evaluar la exposición a estas amenazas para tomar las medidas de prevención y mitigación que correspondan.

La Alcaldía Municipal del Distrito Central (AMDC) (2020) en su Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC) reconoce que de acuerdo a los escenarios climático en el Municipio del Distrito Central (MDC) los principales impactos y riesgos asociados son inundaciones pluviales y fluviales provocados por tormentas repentinas, además de mayor probabilidad de deslizamientos en periodos de lluvias intensan, y son estos riesgos los representan un miedo latente para las comunidades expuestas (pág. 65).

Ante esta situación, es importante evaluar la exposición a la amenaza por deslizamiento y su relación con los periodos de retorno de las precipitaciones en los barrios y colonias del sector 9 del MDC de Honduras. Esta investigación está centrada en el periodo comprendido entre 1979 y 2019, abarcando así un amplio rango de tiempo que nos permite analizar el comportamiento y tendencias asociadas a los fenómenos naturales y los eventos ocurridos en dicho periodo.

En este sentido, la exposición a la amenaza por deslizamiento seguido de caracterizar la amenaza debe ser identificada y evaluada, asimismo se debe definir la vulnerabilidad que agrupa las características de todos los elementos susceptibles de sufrir daños debidos a un evento potencialmente dañino, siendo la localización la primera característica a identificar. Por lo tanto, “La exposición es la condición sine qua non para el riesgo, la posibilidad de que se produzcan daños en un cierto lugar; el hecho de que se materialicen o no dependerá de las propiedades del ente expuesto, más allá de su mera localización” (Garcia et al., 2019, pág. 8).

La metodología utilizada en esta investigación es cuantitativa, lo que implica que estudia, mide y relaciona tres variables; la amenaza por deslizamiento, la exposición a la amenaza por

deslizamiento y los periodos de retorno de las precipitaciones. Para ello, se mostrará por medio de mapas la amenaza por deslizamientos de los barrios y colonias identificada por estudios anteriores, llamados barrios y colonias susceptibles a deslizamientos, también se creará un registro de deslizamientos de fuentes oficiales donde se indique como mínimo la fecha y el barrio o colonia. Se denominarán deslizamientos activos a aquellos que se encuentran en un barrio o colonia susceptible a deslizamiento y que adicionalmente tenga un registro del evento de deslizamiento. Se realizará una clasificación de todos los elementos expuestos que se encuentran en los barrios y colonias donde hay deslizamientos activos, identificando también las fechas y los periodos de retorno asociados a los deslizamientos activos.

La finalidad de esta investigación es proporcionar información precisa y relevante sobre la exposición a la amenaza por deslizamiento y la relación con los periodos de retorno de las precipitaciones en los barrios y colonia del sector 9 del MDC. Los resultados obtenidos permitirán identificar las áreas de alta exposición, para identificar posibles medidas de prevención y mitigación para reducir el riesgo de desastre y los impactos en la población del área de estudio.

En resumen, esta tesis se enfoca en la evaluación de la exposición a la amenaza por deslizamiento activo para cada periodo de retorno de las precipitaciones de los barrios y colonias del sector 9 del MDC durante el periodo 1979-2019. Mediante un enfoque cuantitativo, se busca conocer y comprender el comportamiento de esta amenaza, su interacción con factores climáticos como la precipitación y el periodo de retorno asociado a los eventos registrados, para así contribuir a salvar vidas y una mejor planificación urbana.

Planteamiento del Problema

En Honduras el ente rector de la gestión de riesgos es el Sistema Nacional de Gestión de Riesgos (SINAGER) (2009) y su Ley expresa que se regirá entre otros principios, por la Gestión Descentralizada y Desconcentrada, y que las municipalidades, deben asumir y ejecutar las tareas y acciones concretas para la prevención y reducción de riesgos, para prevenir y mitigar los desastres, adaptarse al cambio climático y dar respuesta a las áreas afectadas.

En este contexto, el MDC se encuentra en la obligación de atender la Reducción de Riesgo de Desastres (RRD) en el territorio de su jurisdicción. Según el Plan de Acción desarrollado por el BID (2016), el MDC concentra buena parte de los eventos de desastres históricos registrados en el país y se estima que la pérdida anual promedio por este concepto suma varios millones de dólares.

En los últimos años, el sector 9 del MDC ha sido escenario de numerosos eventos de deslizamientos que han afectado muchas familias, bienes y servicios durante las temporadas de lluvias. Estos eventos ponen en evidencia la exposición que dichos elementos tienen frente a la amenaza por deslizamiento en esa zona. A pesar que las comunidades y las autoridades han

realizado esfuerzos para atender las situaciones adversas, los recursos disponibles resultan insuficientes para hacer frente a las necesidades.

Esta investigación se suma a los esfuerzos de diversos entes comunitarios, nacionales e internacionales para el fortalecimiento de la gestión del riesgo de desastres y la protección de la población afectada en la zona, permitiendo así la toma de decisiones informadas para la asignación eficiente de recursos para prevención y mitigación de deslizamientos y sus impactos. Al proporcionar información precisa y actualizada, esta investigación se posiciona como un insumo valioso para la identificación y priorización de acciones destinadas a proteger vidas, bienes y servicios expuestos en la zona de estudio.

Por lo tanto, esta tesis se plantea como una herramienta que contribuye a abordar de una mejor manera esta problemática, a través de la evaluación de la exposición a la amenaza por deslizamiento y su relación con periodo de retorno de las precipitaciones de los barrios y colonias del sector 9 del MDC durante el periodo 1979-2019.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Evaluar la exposición a la amenaza por deslizamiento y su relación con los periodos de retorno de las precipitaciones de los barrios y colonias del sector 9 MDC de Honduras durante el período 1979-2019.

Objetivos Específicos

1. Mostrar la amenaza y susceptibilidad por deslizamiento de los barrios y colonias del sector 9 del MDC.
2. Crear el registro de deslizamientos en los barrios y colonias del sector 9 del MDC.
3. Determinar los deslizamientos activos en los barrios y colonias del sector 9 del MDC.
4. Clasificar la exposición a la amenaza por deslizamiento en los barrios y colonias del sector 9 del MDC.
5. Calcular la probabilidad de excedencia de deslizamiento en los barrios y colonias del sector 9 del MDC.
6. Calcular el periodo de retorno de las precipitaciones para los deslizamientos activos y en los barrios y colonias del sector 9 del MDC.
7. Determinar la relación entre la exposición a la amenaza por deslizamiento, probabilidad de excedencia y los periodos de retorno de las precipitaciones de los barrios y colonias del sector 9 del MDC.

Justificación

La evaluación de la exposición a la amenaza por deslizamiento y su relación con los periodos de retorno de las precipitaciones de los barrios y colonias del sector 9 del Municipio del Distrito Central de Honduras durante el período 1979-2019 es de suma importancia debido a su relevancia tanto social para aumentar el conocimiento en la población, como para la toma de decisiones de las autoridades competentes. Esta investigación pretende dar un valor agregado al estudio de la exposición, no solo considerando los bienes y servicios expuestos, sino también en la exposición de las personas, reconociendo que la vida humana es el principal activo que proteger.

El impacto de inundaciones y deslizamientos a nivel nacional se concentra en el MDC donde Tegucigalpa y Comayagüela son muy vulnerables, Begemann y Velasco (2017) concluyeron que ahí se ha dado el 18% del total de eventos registrados en el país durante el periodo 1915-2010 y que la cifra actualizada de pérdida anual promedio por este concepto suman 105 millones de dólares que representa aproximadamente un 4% del producto interno geográfico del MDC (pág. 15). Estas cifras nos muestran la necesidad de abordar de manera efectiva la amenaza por deslizamiento, así como el impacto en la población, los bienes y servicios de las comunidades.

Se propone esta investigación como un medio para aportar al derecho que tiene la población de conocer su nivel de exposición a la amenaza por deslizamiento. Al proporcionar una metodología ordenada y detallada, permitirá a las personas comprender su situación de exposición y poder así tomar las medidas de prevención y mitigación ante un deslizamiento. La información generada también será útil para las comunidades y las autoridades, que proporcionará insumos claves para la implementación de acciones preventivas y correctivas, mejorando las condiciones de vida de la población de los barrios y colonias del sector 9 del MDC.

La importancia de esta investigación radica en la relevancia de la evaluación de la exposición de la amenaza por deslizamiento y su relación con los periodos de retorno de las precipitaciones en el sector 9 del MDC para la Gestión del Riesgo de Desastre (GRD). Mediante una metodología clara y detallada, se busca proporcionar información precisa y actualizada que permita a la población conocer su situación de exposición y tomar así las medidas de prevención, mitigación, preparación y respuesta ante un deslizamiento. Asimismo, esta investigación brindará insumos valiosos a las autoridades para la toma de decisiones y la implementación de acciones para mejorar las condiciones de vida de la población de los barrios y colonias del sector 9 del MDC.

Hipótesis

La exposición a la amenaza por deslizamiento tiene relación con los periodos de retorno de las precipitaciones de los barrios y colonias del sector 9 del Municipio del Distrito Central de Honduras durante el periodo 1979-2019.

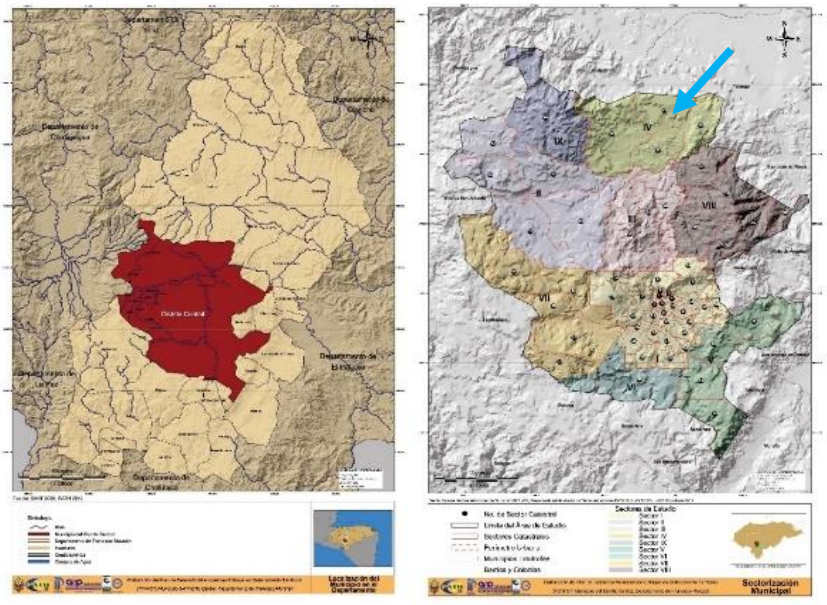
CAPÍTULO II

Marco Referencial

Generalidades. La República Honduras se localiza en el corazón del istmo centroamericano, y de acuerdo al Instituto de Estadística Nacional (INE) (2018) tiene una población de 9,023,838 personas, que albergan 2,152,827 hogares, de los cuales el 56.7% se encuentran en el área urbana, donde el 12.3% de las viviendas no cuenta con un servicio de agua adecuado y el 61.9% de los hogares hondureños se encuentran en condiciones de pobreza (pág. 1). El territorio tiene un área de 112,490 kilómetros cuadrados y "En los últimos años, Honduras ha sufrido el efecto de gran cantidad de eventos hidrometeorológicos adversos, incluyendo graves sequías e inundaciones por lluvias intensas, así como el impacto directo de grandes huracanes" (Secretaría Recursos Naturales y Ambiente (MiAmbiente+), 2021, pág. 1).

Asimismo, el INE (2018) indica que la población proyectada al 2019 en el Distrito Central es de 1,259,646, personas la cual está compuesta por 592,559 hombres y 667,087 mujeres, además tienen una extensión territorial de aproximada de 1,514 kilómetros cuadrados (pág. 1). Además, según el diario oficial La Gaceta (2018) El Distrito Central tiene 1,023 barrios y colonias de las cuales 40 están el Sector 9 (pág. 51-53). Son los barrios y colonias del sector 9 que se muestran en la Tabla 1 la zona de estudio de la investigación y como se muestra en la Figura 1 está ubicado de acuerdo a (Alcaldía Municipal del Distrito Central, 2014) en la parte noreste del DC.

Figura 1. Ubicación y Sectores del Municipio del Distrito Central



Nota. Adaptado del *Plan de Desarrollo Municipal con enfoque en Ordenamiento Territorial*, por AMDC, 2014, PATH.

Tabla 1. Información de sector 9 del Distrito Central

N°	Nombre De Barrio O Colonia	Ciudad	Zonificación	Dictamen / Acuerdo De Aprobación	Parámetros Min Aprobados Dictamen/Acuerdo
207	Res. Rafael Bardales Bueso Inprema /Col Rio Alto	Tegucigalpa	R2-R3	Dictamen-Scu-Dm-Amdc 018-91 De Fecha 4 De Febrero De 1991 (Dictamen).	R3=120m²/7ml
208	21 De Octubre	Tegucigalpa	R3		
209	Bolívar	Tegucigalpa	R3		
210	Camino Al Hatillo	Tegucigalpa	Hatillo		
211	Canaán	Tegucigalpa	R3		
212	Cerritos	Tegucigalpa	R3		
213	Col Nueva Santa Rosa	Tegucigalpa	R4	Dictamen No. 0005-82 19 De Enero De 1982 (Dictamen).	R4=45m²/3.5ml
214	El Chimbo	Tegucigalpa	R3		
215	El Piliguín (Colonia El Trigo)	Tegucigalpa	Hatillo		
216	El Reparto	Tegucigalpa	R3		
217	El Rincón	Tegucigalpa	R3/Hatillo		
218	El Trigo	Tegucigalpa	Hatillo		
219	Fernando Calderón	Tegucigalpa	R3		
220	Girasoles	Tegucigalpa	R3	Dict No. Scu-036-2004 De Fecha 9 De Junio Del 2004. (Plano Y Documento).	R3=120m²/7ml
221	Guillen	Tegucigalpa	R3		
222	Independencia Portillo	Tegucigalpa	R3		
223	Jardín	Tegucigalpa	R3-R4	Dictamen No. Scu-Dm-Amdc-020-2006 De Fecha 29 De Marzo Del 2006 (Dictamen).	R4=75m²/7ml; R3=120m²/10ml
224	José Simón Azcona	Tegucigalpa	R3		
225	La Florida	Tegucigalpa	R4	Dictamen No. Scu-Dm-Amdc 063-2005 De Fecha 18 De Octubre Del 2004 (Plano Y Documento).	R4=45m²/3.5ml
226	La Joya	Tegucigalpa	R3		
227	La Leona Del Rincón	Tegucigalpa	R3		
228	La Tigra	Tegucigalpa	Ar		
229	Las Joyas	Tegucigalpa	R4	Dictamen No.022-82 De Fecha 16 De Febrero De 1982 (Dictamen).	R4=45m²/3.5ml

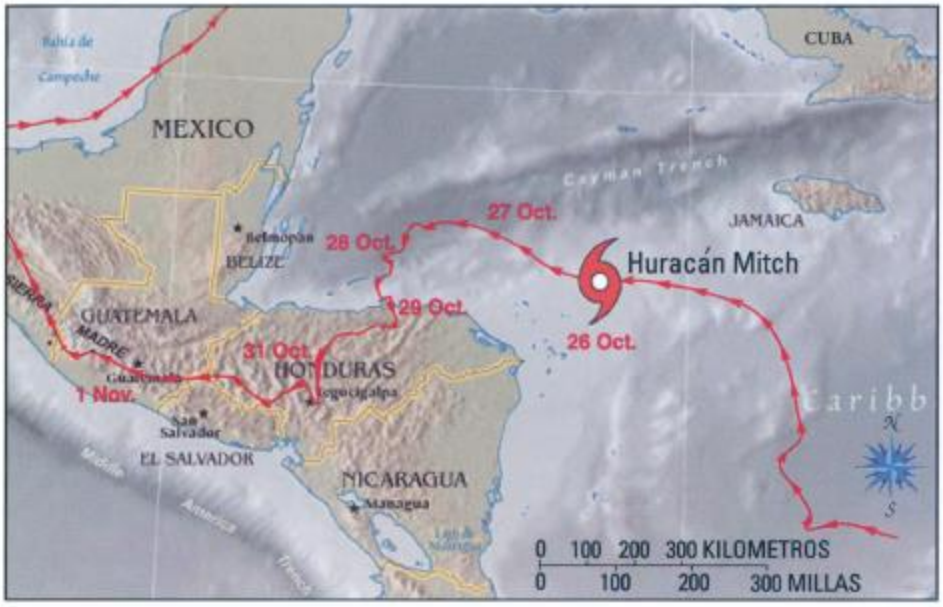
230	Las Pavas	Tegucigalpa	R4	Dictamen No. 190-91 De Fecha 20 De Noviembre De 1991 Solo Dictamen.	R4=45m²/3.5ml
231	Lomas De Las Minitas	Tegucigalpa	R3		
232	Marichal	Tegucigalpa	R3		
233	Modesto Rodas Alvarado	Tegucigalpa	R3		
234	Reparto Por Arriba	Tegucigalpa	R3		
235	Reparto Por Bajo	Tegucigalpa	R3		
236	Res. Pinares	Tegucigalpa	Hatillo		
237	Res. Villa Delmy	Tegucigalpa	R3		
238	Rio Alto 2004	Tegucigalpa	R2	Dictamen No. Scu-Dm-Amdc-039-2004 De Fecha 09 De Agosto Del 2004 (Plano Y Dictamen).	R2= 150m²/8ml
239	Sabana Del Rincón	Tegucigalpa	R3		
240	Santa Margarita	Tegucigalpa	R3		
241	Sitio Arriba	Tegucigalpa	R3		
242	Suazo Córdoba	Tegucigalpa	R4	Dictamen No. Scu-Dm-Amdc-019-2001 De Fecha 10 De Mayo Del 2001 (Plano Y Dictamen).	R4=45m²/3.5ml
243	Villa Delmy	Tegucigalpa	R4	Modificación Bajo Dictamen 18-98 De Fecha 04 De Agosto De 1998 (Documento).	R4=60m²/6ml
244	Villa La Estanzuela	Tegucigalpa	Hatillo		
245	Villa Santa Margarita	Tegucigalpa	R3	Dictamen No. Scu_Dm-Amdc-004-2002 Aprobado De Fecha 23 De Agosto Del 2002 Dictamen Y Plano.	R3=120m²/7ml
246	Villas Del Rio	Tegucigalpa	R4	Acuerdo No. 758 De Fecha 07 De Enero De 1986 (Plano Y Dictamen).	R4=60m²/6ml

Nota. Adaptado del *Reglamento de zonificación, obras y uso de suelo en el Distrito Central* (págs. 51-53), por República de Honduras, 2018, Gaceta.

Uno de los eventos que marcó un antes y después de la gestión de riesgos en Honduras fue el Huracán Mitch en 1998, que generó perdidas y daños catastróficos en su trayectoria destructiva mostrada en la Figura 2. De los distintos países que fueron afectados por la tormenta, el territorio de Honduras sufrió la devastación más extensa, según el Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS (2002). El Gobierno de Honduras reportó más de 5,000 muertos y más de $4 billones en pérdidas económicas, las fuentes oficiales estimaron que el Huracán destruyó 50 años de desarrollo económico, además de las pérdidas humanas y económicas, intensos deslizamientos e

inundaciones marcaron el paisaje hondureño en donde los procesos hidrológicos y geomorfológicos a lo largo del país se verán afectados durante varios años (pág. 1).

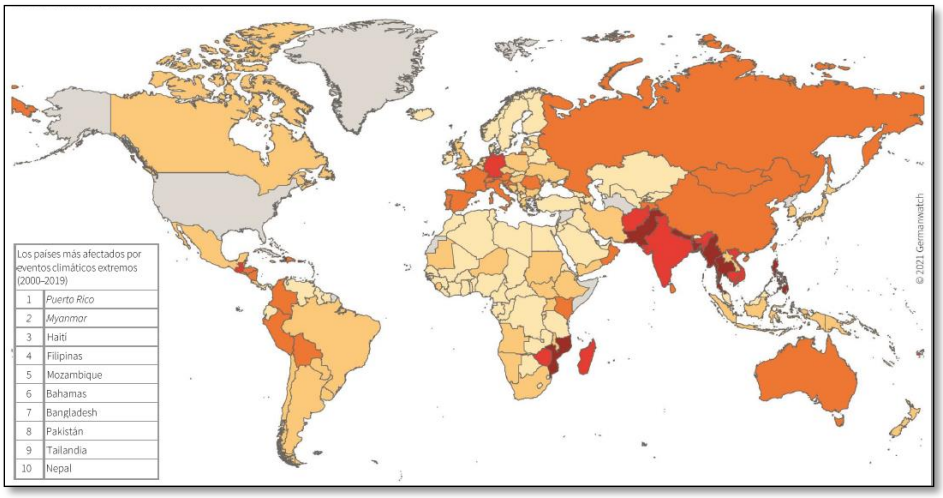
Figura 2. Ruta del Huracán Mitch del 26 de octubre al 1 de noviembre de 1998



Nota. Adaptado de *Huracán Mitch: Caudal de Creciente en Tramos de Ríos Seleccionados en Honduras* (pág. 1), por Smith et al, 2002, USGS.

En el informe de Eckstein et al (2019) del Índice Global de Riesgo Climático (CRI por sus siglas en inglés), mejor conocido como el GermanWatch, los autores explican que Honduras, que figuraba constantemente entre los tres países más afectados en las clasificaciones anteriores de CRI, se clasifica fuera de los 10 más impactados debido al período de observación de la edición CRI de este año, que comenzó en 1999, pues el huracán Mitch, que fue en 1998, fue el principal evento meteorológico extremo que afectó significativamente el puntaje CRI de Honduras (pág. 9). Es así como en el más reciente informe publicado a finales del 2020 Honduras ya no aparece en el Rankin de los 10 países con mayor índice global de riesgo climático como se observa en la Figura 3.

Figura 3. Mapa del mundo con el Índice Global de Riesgo Climático 2000-2019



Nota. Adaptado de *Índice Global de Riesgo Climático 2021* (pág. 5), por Eckstein et al, 2021, Germanwatch e.V.

En el año 2020, sumado a la Pandemia mundial del COVID19, dos huracanes dejaron evidenciada la vulnerabilidad y la exposición del territorio de Honduras, el primero el Huracán ETA que alcanzó la categoría 4 en la costa de Nicaragua a principios del 3 de noviembre; luego se debilitó a tormenta tropical al ingresar a Honduras el 4 de noviembre. Dos semanas después, el Huracán Iota, alcanzó la categoría 5, tocando tierra en la misma zona de Nicaragua e ingresando a Honduras como categoría 1 el 18 de noviembre. La Tabla 2 muestra los efectos devastadores de ambos huracanes. La Secretaría de Coordinación General del Gobierno (2021) afirma que, aunque las tormentas del 2020 tuvieron una intensidad y concentración de precipitaciones enormes, su impacto en vidas fue considerablemente menor comparado con otros eventos, incluyendo el Mitch (1998), explicado por las mayores capacidades institucionales y sociales actuales para el manejo de la emergencia, no así en las capacidades para proteger los activos públicos y privados y los medios de vida de la población más vulnerable (pág. ii).

Tabla 2. Efectos de los Huracanes Eta e Iota 2020 por sectores en millones de lempiras

Sectores	Daños	Pérdidas	Costos adicionales	Totales	% del total
Social	7,884	42	1,448	9,374	18
Educación	815	0	552	1,367	2.6
Salud	1,253	33	144	1,430	2.7
Vivienda	5,817	9	649	6,475	12.4
Costo de la Emergencia	0	0	103	103	0.2
Productivo	9,892	25,190	426	35,508	68.2
Agropecuario	1,752	6,771	312	8,835	17
Turismo	473	2,678	0	3,151	6
Comercio e Industria	7,667	15,742	114	23,523	45.2

Infraestructura	3,331	1,650	470	5,451	10.5
Agua y saneamiento	1,162	146	10	1,180	2.3
Electricidad	109	8	6	261	0.5
Transporte	2,049	1,474	453	3,976	7.6
Telecomunicaciones	11	22	0	33	0.1
Ambiente	1,567	198	0	1,765	3.4
Total	22,675	27,080	2,344	52,099	100

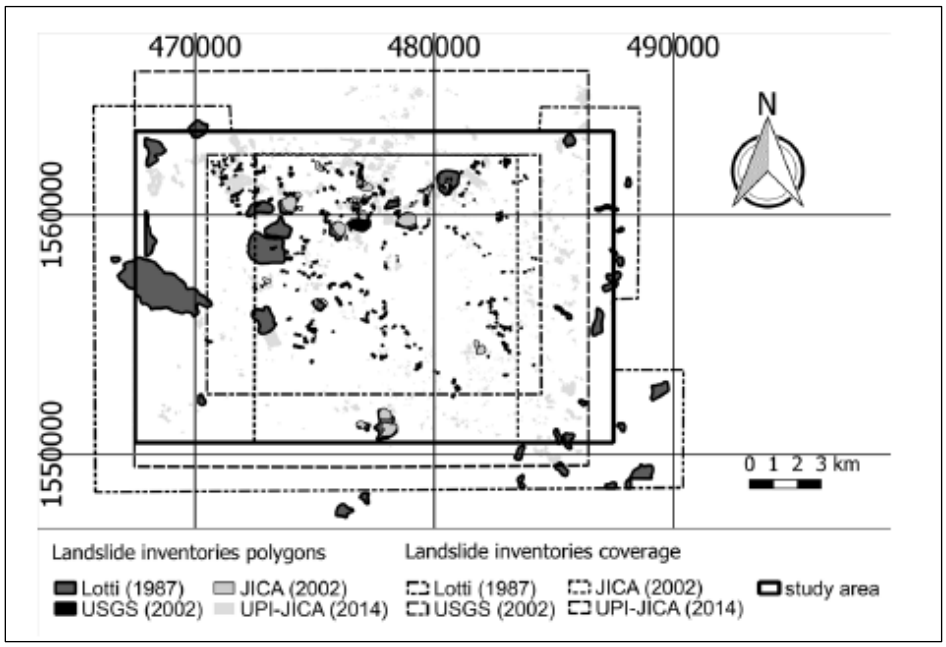
Nota. Adaptado del *Plan de Reconstrucción y Desarrollo Sostenible* (p. iiii), por Secretaría de Coordinación General del Gobierno, 2021, PNUD.

Lo anterior muestra que hay retos urgentes para proteger las vidas, los bienes, los servicios y todos los elementos expuestos, ante las diferentes amenazas que tiene el territorio y a nivel local en las comunidades donde más se sienten los impactos de los desastres. Se observa como el sector productivo es el que obtuvo el mayor porcentaje del total de los daños y pérdidas durante los huracanes Eta e Iota.

El MDC no es la excepción en el país ya que de acuerdo al Plan de Acción (Terraza et al., 2016) debido a la periurbanización que es la tendencia de los últimos años, durante los últimos diez años el consumo de suelo ha crecido a un ritmo de 4.4% anual, mientras que la población sólo lo ha hecho a 2.2% anual y de acuerdo a las proyecciones desde 2014 y hacia 2050 la población urbana total aumentará de 1.24 a 1.96 millones de habitantes, es decir 700 mil personas al territorio de influencia de la capital, y si lo hacen bajo el modelo de crecimiento actual, es previsible en esta nueva urbanización estarían 850 hectáreas adicionales de asentamientos humanos en alto riesgo a inundaciones y deslizamientos (pág. 25).

Amenaza y Susceptibilidad por Deslizamiento. Existen esfuerzos por fortalecer el conocimiento como un pilar de la GRD en el MDC, uno de los más importantes y recientes es la actualización del inventario de deslizamientos del DC realizado en el año 2021 por Ginés Suárez, autor de numerosos estudios de Gestión de Riesgos en Honduras y en el MDC, en su estudio realizó un análisis y metodología que le permitió la actualización del mapa inventario de deslizamientos traslacionales y rotacionales geomorfológico, utilizando como base del estudio los mapas existentes: Lotti de 1987, JICA del 2002, USGS del 2002, UPI/JICA del 2014 y mapeos realizados por el PNUD en el 2011, tal como se muestra en la Figura 4. El método de comparación se basó en técnicas directas como error de mapeo y comparación del número de deslizamientos que coinciden, y técnicas indirectas como la relación de densidad frecuencia, los mapas de densidad y los mapas de susceptibilidad.

Figura 4. Área de cobertura de los inventarios desarrollados en el MDC entre 1987 y 2014



Nota. Adaptado de *Mejorando del poder predictivo de susceptibilidad a movimientos de ladera a través del mapeo de coluvión en Tegucigalpa, Honduras* (pág. 51), por A. Suarez & Domínguez-Cuesta, 2020, Natural Hazards.

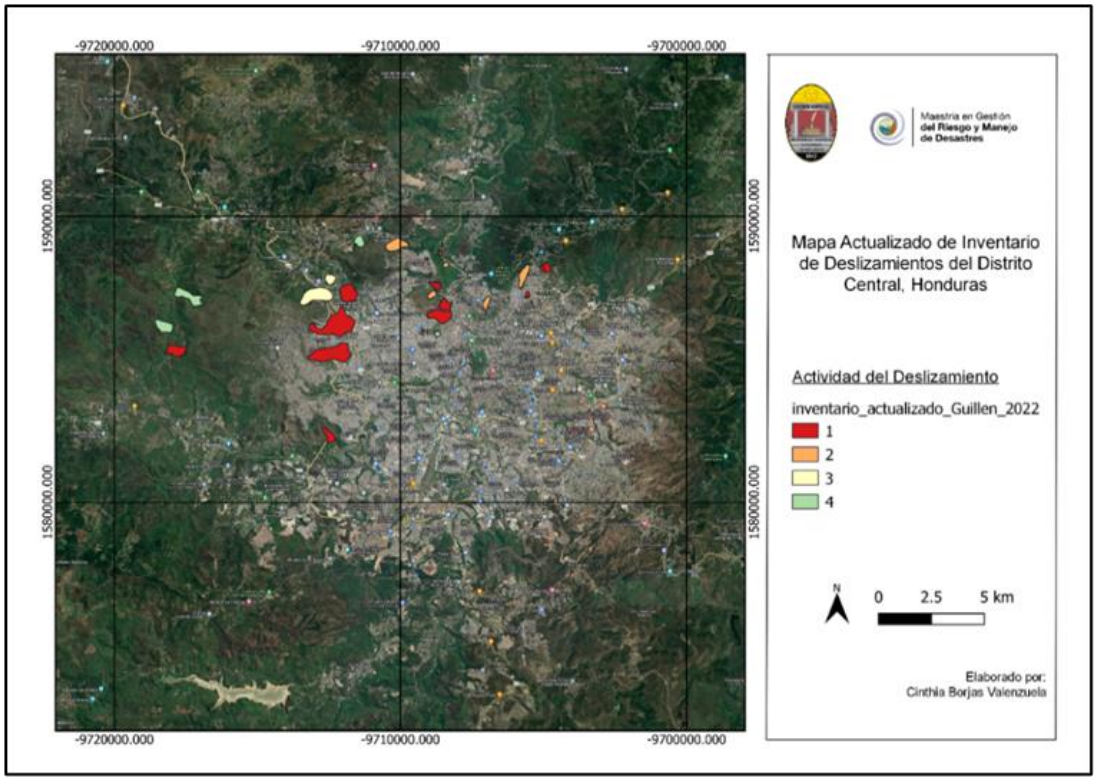
Como resultado de su investigación que resume en el artículo científico titulado "Mejorando del poder predictivo de susceptibilidad a movimientos de ladera a través del mapeo de coluvión en Tegucigalpa, Honduras", en donde Suarez & Domínguez-Cuesta (2020) expresa lo siguiente:

> Tegucigalpa, la capital de Honduras, tiene el mayor número de movimientos de ladera registrados en el país. En esta investigación, se compararon los cuatro inventarios de movimientos de ladera existentes y se elaboró un nuevo inventario. La importancia de cuatro capas de datos (litología, pendiente, distancia a los arroyos y mapa coluvión) al explicar la ocurrencia de movimientos de ladera se analizó utilizando el peso de la evidencia método, incluyendo el mapa de coluvión desarrollado en esta investigación.
>
> > Se produjo un nuevo mapa de susceptibilidad a los deslizamientos basado en el mapa de coluvión, y su precisión se estimó utilizando el Método de curva de tasa de éxito, la precisión del mapa de susceptibilidad a deslizamientos basado en el coluvión fue del 88,64%, frente al 79,79% y el 69,80% de los estudios previos. Éste estudio enfatiza la relevancia del mapeo del coluvión como insumo para la susceptibilidad a los deslizamientos análisis en Tegucigalpa (pág. 1).

El nuevo inventario contiene 28 deslizamientos rotacionales y traslacionales, y estos ocurrieron principalmente en depósitos de coluvión y suelos residuales, ubicados en lugares específicos del área de estudio como se muestran en la Figura 5. Es así como Suarez & Domínguez-Cuesta (2020)

concluyen que hay más similitudes con los inventarios de Lotti y JICA 2002, que con los inventarios USGS y UPI-JICA 2014 y este último pareciera que se mapeó caídas de roca y derrumbes también, además del inventario de USGS pareciera que el 75% se trata de flujo de detritos (pág. 57).

Figura 5. Mapa actualizado de inventario de deslizamientos del Distrito Central

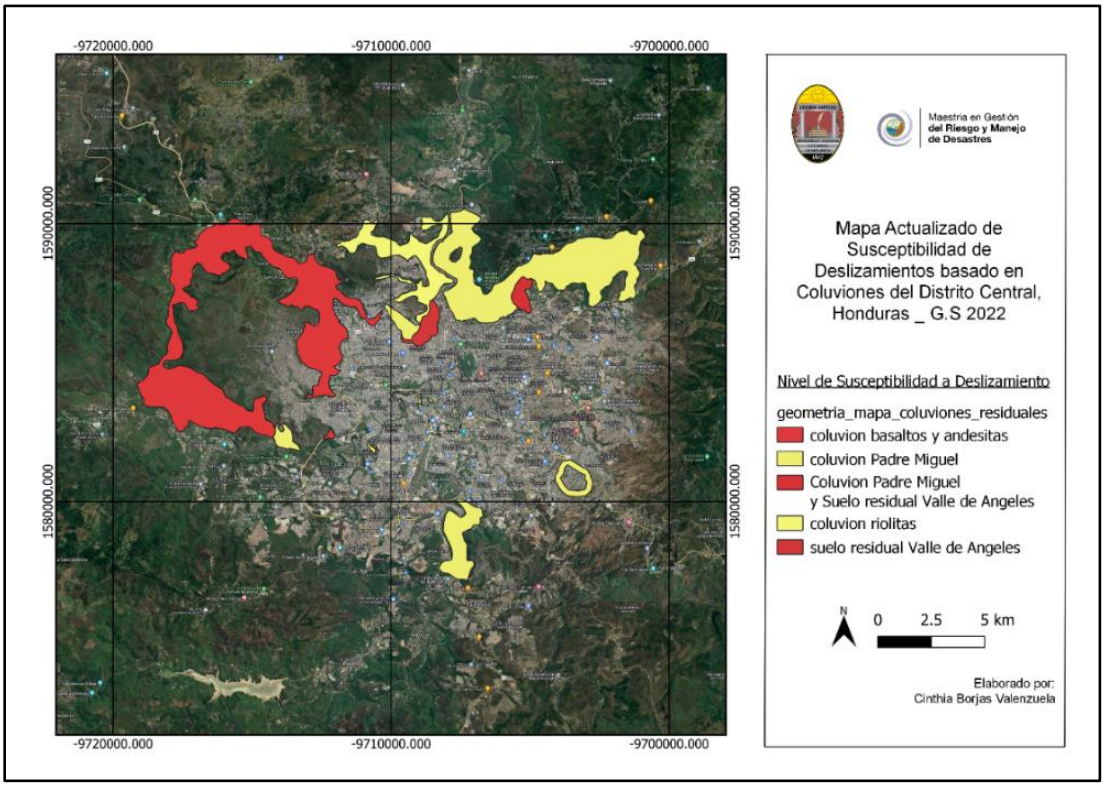


Nota. Elaboración propia

Suarez define que "Este nuevo mapa de inventario de deslizamientos contiene 85.6% macro deslizamientos (> 100,000 m2), 14% a grandes deslizamientos (10.000–100.000 m2), y 0,4% a pequeños deslizamientos (< 1000 m2). Estos ubicados en su mayoría en la parte noreste y noroeste del territorio del DC" (2020, pág. 57).

Asimismo, realizó la actualización del mapa de susceptibilidad a deslizamientos del DC con un análisis de los coluviones y suelos residuales durante el año 2018 por medio de trabajo de campo en los sitios de interés. Suarez & Domínguez-Cuesta (2020) manifiestan que los deslizamientos traslacionales y rotacionales activos se concentran en áreas específicas del DC y estas coinciden con áreas con suelos residuales y de tipo coluvión como se muestra en la Figura 6 en donde la división en categorías de susceptibilidad se realizó utilizando el método de rupturas naturales, evidenciando que el coluvión del Grupo Padre Miguel tiene menor susceptibilidad que los otros coluviones y suelos residuales. Además, se confirmó que la presencia de suelos residuales y de tipo coluvión es válida para explicar la ocurrencia de deslizamientos en el MDC (pág. 62).

Figura 6. Mapa actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del Distrito Central



Nota. Elaboración propia

Los nuevos mapas elaborados en el estudio son instrumentos importantes dada su confiablidad metodológica, verificación en campo y cálculos de confiabilidad, es si como Suárez Vázquez & Domínguez-Cuesta (2020) concluye que los mapas de coluvión son un insumo relevante para aumentar la confiabilidad de los inventarios (los deslizamientos traslacionales y rotacionales se concentran en los suelos de coluvión) y el poder predictivo de los mapas de susceptibilidad a movimientos de ladera, además que el mapa de susceptibilidad basado en la cartografía del coluvión y los suelos residuales muestra un mayor poder explicativo de la distribución espacial del nuevo inventario que el de los mapas anteriores de susceptibilidad a deslizamientos (88,64% del AUC frente al 79,79% y 69,80% de los estudios anteriores) (pág. 64).

La identificación de la relevancia del coluvión y el mapeo residual del suelo como una variable funcional para explicar la distribución espacial de los movimientos de ladera se llevó a cabo sobre la base de la opinión de expertos.

La mayoría de estudios y mapas existentes se refieren a las inundaciones y deslizamientos como los eventos que más afectan a los habitantes del DC. Algunos de esos estudios han estimado algunos porcentajes en que ocurren algunos eventos de riesgo de desastres, tal es el caso del Estudio base II cuyo tema fue Vulnerabilidad a los Desastres Naturales enfocándose en los eventos

de inundaciones y deslizamientos, en el marco de la Iniciática de Ciudades Sostenibles (ICES). En el Plan de Acción de la ICES para el DC, Terraza et al (2015) manifiesta que las inundaciones constituyen el 51% y los deslizamientos el 25% de los desastres naturales históricos en el MDC (pág. 23). Estos porcentajes pueden y deben ser validados mediante estudios más a detalle para que sean insumos más detallados que orienten las acciones, políticas, proyectos y programas enfocados en la RRD.

Asimismo, Terraza et al (2016) también expresa que la forma del territorio del DC a veces llamada "la hoya de Tegucigalpa" por su conformación geológica, llena de llanuras, lomas, cerros y mogotes, además de una compleja topografía, débiles marcos normativos que exigen evitar asentamientos en zonas con pendientes mayores a 30º, entre otros factores, ha provocado que en Tegucigalpa y Comayagüela exista una a alta vulnerabilidad a deslizamientos, importante que concluye que 80% de la huella urbana de la capital es mediana o altamente susceptible a este fenómeno; en el área de mayor susceptibilidad a deslizamientos se asientan más de 112 mil personas, 85% de las cuales habitan en asentamientos informales (pág. 24).

Exposición a la amenaza por deslizamiento. La exposición a la amenaza por deslizamiento en el MDC, en Honduras y la región centroamericana debe ser estudiada desde diferentes niveles, ya que están expuestas a diversas amenazas de origen natural. Tal como manifiesta Balzer & Jage (2010) que los deslizamientos han causado decenas de miles de muertes y miles de millones de dólares en pérdidas en todo el mundo, Centroamérica es una de las áreas mayormente sensible a los movimientos de masa, porque la geomorfología, la geología y el clima hacen que el área sea muy susceptible a los deslizamientos desencadenados por lluvias y sismos (pág. 10).

Por lo tanto, la exposición es un elemento como se mencionó anteriormente que está relacionado con la vulnerabilidad y consecuentemente con al riesgo de desastres. Además "El creciente aumento de la vulnerabilidad y la alta exposición al riesgo de deslizamientos en las áreas urbanas requiere tomar decisiones financieras mejor informadas y establecer prioridades de política con base en la investigación fundamentada en evidencia." (Banco Mundial, 2018, pág. 65).

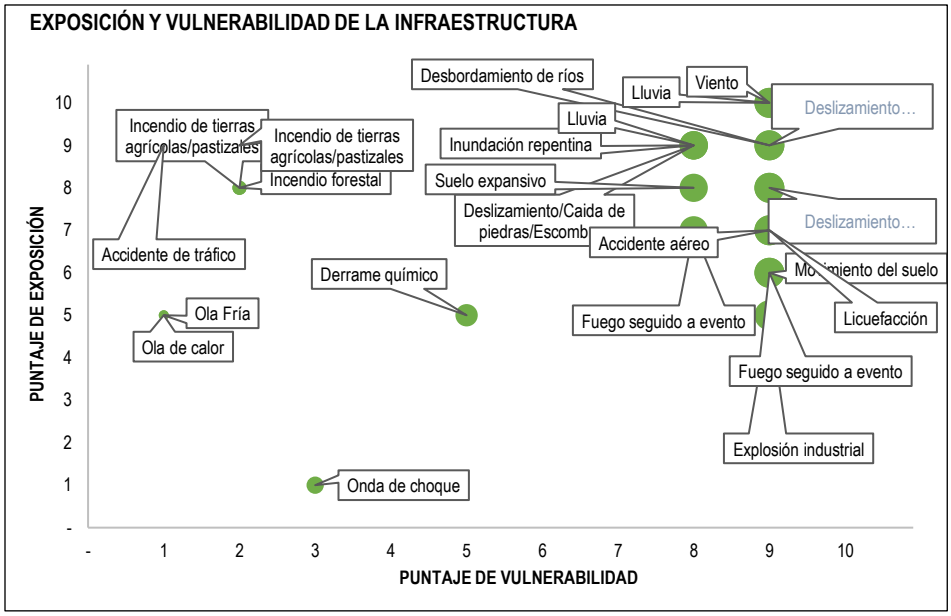
La urbanización juega un papel importante en la exposición, pues el crecimiento de las áreas urbanas conlleva una mayor necesidad de todos los servicios básicos, además de usos habitacionales, comerciales y otros, que se ubiquen en zonas seguras y que correspondan a una planificación urbana con enfoque de ordenamiento del territorio y Gestión Integral de Riesgo de Desatases (GIRD). La informalidad es un factor importante a considerar en la GIRD. Es así como Terraza et al (2016) afirma que "Los crecimientos informales ocupan un total de 2,400 hectáreas de suelo, sobre las cuales se asientan más de 57 mil viviendas; casi una tercera parte (29%) de éstas se ubica en zonas de alta exposición a inundaciones y deslizamientos" (pág. 115). Estas cifras denotan una preocupación porque las hace más vulnerables, dado que por lo general se trata de

construcciones precarias en donde no se consideran estabilizaciones de taludes ni drenajes para mitigar los riesgos de deslizamientos e inundaciones que puedan existir.

De igual manera, Terraza et al (2016) realizó un control de calidad de los inventarios de deslizamientos existentes en el MDC mediante un análisis estadístico bivariante asignando peso a las distintas variables asociadas a los deslizamientos, según su capacidad para explicar la distribución espacial de los deslizamientos actuales utilizando las siguientes capas explicativas: las pendientes, la geología, la proximidad al cauce de un rio y la proximidad a algunos contactos geológicos determinando que el área de mayor susceptibilidad corresponde a un 17% del área total de la capital, donde se localiza un 11% de la población es decir 112,150 habitantes, además destacable que la mayor parte de los asentamientos humanos en situación de alta susceptibilidad son de naturaleza informal (pág. 136).

En el MDC de acuerdo a la herramienta rápida de estimación de riesgo de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres (UNDRR) como se muestra en la Figura 7, los deslizamientos generan valores altos de exposición y vulnerabilidad de la infraestructura.

Figura 7. Mapa actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del Distrito Central

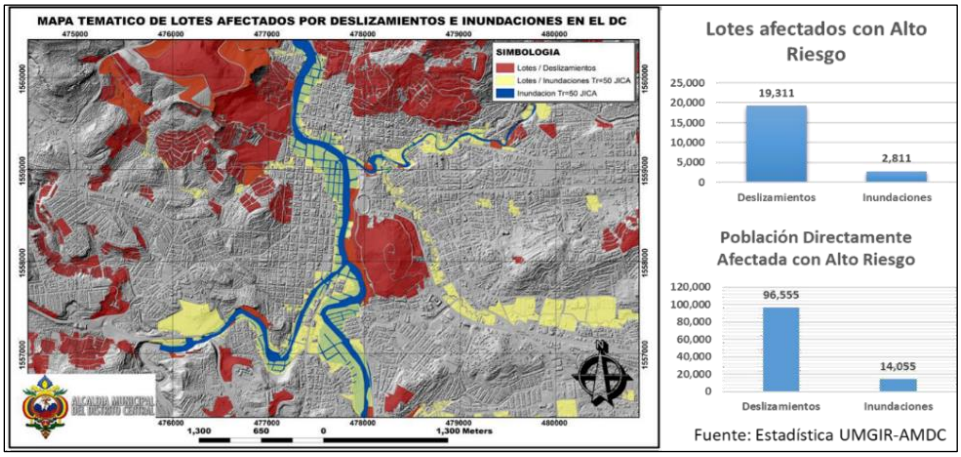


Nota. Adaptado de *Plan de Acción para la Reducción de Riesgos de Desastres y la Resiliencia*, por Alcaldía Municipal del Distrito Central, 2017, UNDRR.

La Unidad Municipal de Gestión Integral del Riesgo (UMGIR) encargada de la GIRD del Distrito AMDC y como parte de las acciones realizó un ejercicio en su Política Municipal de Gestión Integral de Riesgos de Desastres del Distrito Central (PMGIRD) para estimar los niveles de

vulnerabilidad por exposición de lotes y sus habitantes ver Figura 8, según la ubicación de los predios catastrados registrados por AMDC, del cual se desprende que “aproximadamente 55,000 lotes estarían Expuestos a Fenómenos de Deslizamientos e inundaciones y aproximadamente 350,000 Habitantes en Exposición ante Deslizamientos e Inundaciones” (Alcaldía Municipal del Distrito Central, 2018, pág. 29).

Figura 8. Lotes afectados por deslizamiento e inundaciones en el Distrito Central



Nota. Adaptado de *Política Municipal de Gestión Integral de Riesgos de Desastres del Distrito Central* (pág. 29), por Alcaldía Municipal del Distrito Central, 2018, AMDC.

Periodo de retorno de las precipitaciones. Los periodos de retorno de las precipitaciones nos muestran una óptica temporal de ocurrencia de determinado valor de lluvia. Barandiarán et al (2019) manifiesta que “la ocurrencia de movimientos de ladera en el futuro se verá afectada por las mayores intensidades de precipitaciones. Si bien las precipitaciones medias para una región pueden no modificarse de forma significativa, el rango superior de la distribución, y en particular los extremos, pueden aumentar de forma notoria”. (pág. 149). De igual manera el uso del suelo juega un papel muy importante, pues los cambios en este afectan los índices de ocupación, los índices de infiltración del agua, la estabilidad de las pendientes y los afectos relacionados los deslizamientos.

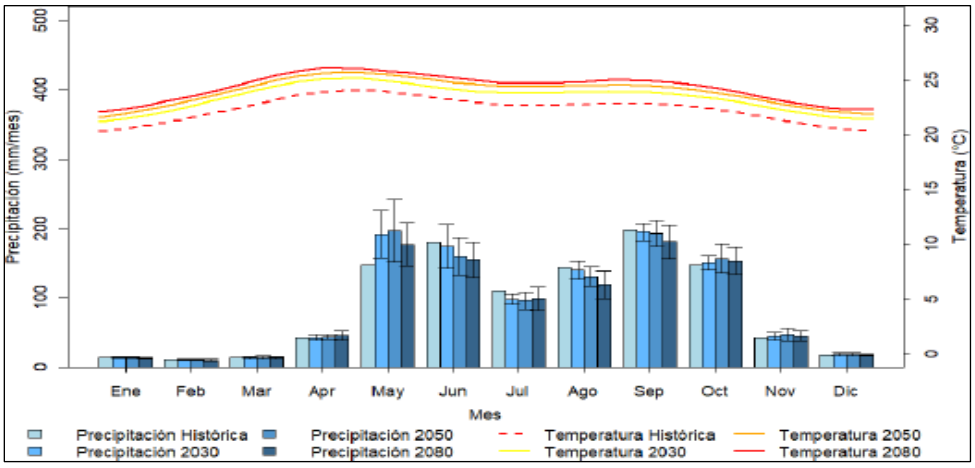
Alcaldía Municipal del Distrito Central (2020) manifiesta que clima de Honduras es propio de zonas tropicales, la sin embargo el clima histórico en el MDC ha tenido dos estaciones bien definidas; la época lluviosa, entre los meses de mayo a mediados de julio y entre septiembre y noviembre; y la época seca o verano, entre los meses de enero y abril, con una canícula entre mediados de julio y finales de agosto” (pág. 55). Sin embargo, en años recientes se aprecian algunos cambios en el comportamiento del clima y la variabilidad climática que tiene como variables; la intensidad, duración y frecuencia, por ejemplo, el atraso en el comienzo de la

temporada de lluvia, la cantidad de precipitación y la distribución de esta, entre otros parámetros climáticos importantes.

Es por esto, que los gobiernos locales deben poner atención y estudiar al comportamiento de esta variable climática de la precipitación por la influencia directa que esta tiene con los fenómenos naturales y en especial los deslizamientos. De esta forma la Alcaldía Municipal del MDC reconoce que "Los movimientos de ladera se verían asociados a deslizamiento/ caída de piedras/ escombros. Los ciclones tropicales y tormentas convectivas podrían generar fuertes vientos y lluvias intensas" (Alcaldía Municipal del Distrito Central, 2020, pág. 66).

Los escenarios climáticos para el MDC mostrados en la Gráfico 1 y desarrollados por Navarro et al (2018) indican que al igual que en otras regiones del país la tendencia de la precipitación es hacia el aumento leve en el escenario intermedio en toda la extensión geográfica de la región del DC, acentuándose hacia el oeste, donde se registran las mayores precipitaciones incluso por arriba de 1200 mm/año, tal incremento en la cantidad de precipitación durante el mes de octubre podría impactar en incrementar el riesgo de deslizamientos e inundaciones (pág. 77).

Gráfico 1. Proyección de precipitación mensual y temperatura según escenarios climáticos para el Distrito Central



Nota. Adaptado de *Desarrollo de Escenarios Climáticos de Honduras* (pág. 77), por Navarro et al, 2018, Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Es importante tomar en cuenta aspectos del cambio climático en los modelos, en especial actualizar los factores de precipitación e hidrológicos. Es por ello, que es más pertinente trabajar con los datos a una escala local, Barandiarán et al (2019) hacen énfasis en que el peligro reside en que las fuentes regionales brindan información climatológica promedio (tendencias muy generales) y pasan por alto la frecuencia e intensidad de los años húmedos en los que podrían originarse movimientos de ladera; esto es de particular importancia ya que se espera que los eventos de lluvias

más extremos aumenten y en consecuencia las condiciones para los movimientos de ladera pueden desencadenarse con mayor facilidad (pág. 51).

La probabilidad de excedencia es un parámetro directamente relacionado con los deslizamientos y con los periodos de retorno de las precipitaciones, el cual muestra en términos generales la probabilidad de tener uno o más deslizamientos, Suárez Vázquez (2022) en su tesis doctoral identifica dos aproximaciones para determinar la probabilidad temporal de los movimientos de ladera, uno de ellos la probabilidad de excedencia a partir del análisis temporal de los inventarios y frecuencia de los movimientos en donde se estima la probabilidad de excedencia de nuevos movimientos (la probabilidad de que se produzca uno o más movimientos) por medio de distribuciones de probabilidad, principalmente las funciones de probabilidad de Poisson y Binomial, elaborando mapas a partir de los valores puntuales de la función (pág. 36).

En los deslizamientos su análisis requiere determinar los parámetros a considerar de días de lluvia acumulados en los sitios de estudio, por lo que en un interesante estudio realizado por Garcia-Urquia & Axelsson (2015) resumen lo siguiente:

> La ocurrencia de movimientos de ladera en 134 días entre 1980 y 2005 en Tegucigalpa, Honduras ha sido analizada con el fin de determinar la contribución de las precipitaciones desencadenantes y antecedentes. Para cada uno de los 6344 días del periodo de estudio se ha determinado la precipitación antecedente para 19 duraciones que oscilan entre 1 y 60 días y se ha calculado el periodo de retorno correspondiente utilizando la distribución de valores extremos de Gumbel. La intensidad crítica de las precipitaciones para cada día de deslizamiento de tierra, que indica la cantidad de lluvia antecedente que produce el período de retorno más alto dividido por su duración anterior, se ha utilizado para la construcción de cuatro umbrales de lluvia con duraciones de 7, 15, 30 y 60 días. La precisión de cada umbral para discriminar entre días de deslizamiento de tierra y no movimientos de ladera se determina comparando las cantidades de lluvia precedentes de cada día en el período de estudio con los requisitos de lluvia del umbral.
>
> > Cuando se permite que las líneas de umbral subyacen al 15%, 50% y 85% de todos los días de deslizamiento de tierra, el mejor rendimiento en el espacio de características operativas del receptor se logra con el umbral de 7 días. Para mejorar el rendimiento del umbral, los días de deslizamiento de tierra cuya precipitación desencadenante tiene períodos de retorno más altos que sus correspondientes cantidades de lluvia antecedentes se representan en la línea x = 0.1 del gráfico de intensidad crítica de lluvia-duración del antecedente. Además, se ha establecido una región crítica donde se necesitan cantidades mínimas de activación y precipitaciones previas para que ocurran movimientos de ladera para reducir el número de falsas alarmas. No obstante, los bajos requisitos de lluvia del umbral

> sugieren que la intervención humana ha predispuesto significativamente las laderas de Tegucigalpa al fracaso. (pág. 1)

También Valenzuela (2017) en el estudio realizado en donde seleccionaron un total de 74 de los 246 pluviómetros de la red regional como distancia representativa del área de estudio; la distancia deslizamientos-pluviómetro oscila entre 0,2 y 24 km, aunque en el 87% de los casos (489 deslizamientos) la distancia es inferior a 10 km y en el 97% (540 deslizamientos) es inferior a 15 km; la distancia media es de 6,4 km. En el 83% del conjunto de datos de deslizamientos (463 registros), la precipitación acumulada durante el lapso de 5 días previo a la ocurrencia de cada inestabilidad fue superior a 20 mm; este hecho fue considerado una evidencia del papel de las lluvias en el desencadenamiento de estos deslizamientos y, en consecuencia, fueron considerados para el análisis, es decir que el 17% restante (96 deslizamientos), con valores de precipitaciones acumuladas anteriores inferiores a 20 mm, la relación lluvia-deslizamiento se consideró dudosa y, por ello, se descartaron (pág. 102).

En otro estudio Zêzere et al (2004), los periodos de retorno fueron analizados dentro de la definición de escenarios probabilísticos de peligro mediante análisis de frecuencia de deslizamientos de la metodología elaborada. En dicho estudio se plantea que teniendo en cuenta tanto la susceptibilidad a los movimientos de ladera como la inestabilidad que desencadena los factores, principalmente las precipitaciones, para la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos de ladera, se supone que los movimientos de ladera futuros pueden predecirse mediante la relación estadística entre movimientos de ladera pasados y el conjunto de datos espaciales de los factores predisponentes (ángulo de pendiente, aspecto de pendiente, perfil de pendiente transversal, litología, depósitos superficiales, geomorfología y uso de la tierra). La integración de la información de activación en la evaluación de peligros incluye: i) la definición de umbrales de lluvia (cantidad-duración) responsables de movimientos de ladera pasados; ii) la determinación de los periodos de retorno correspondientes; iii) la suposición de que los mismos patrones de precipitación (cantidad/duración) que produjeron inestabilidad de taludes en el pasado producirán los mismos efectos en el futuro (es decir, los mismos tipos de movimientos de ladera y la misma superficie total afectada) (pág. 133).

Marco Conceptual

Generalidades. Los conceptos básicos relativos al riesgo de desastres se muestran a continuación. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) en su Informe del grupo de trabajo intergubernamental de expertos de composición abierta sobre los indicadores y la terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres (2016) define lo siguiente:

> Amenaza: Proceso, fenómeno o actividad humana que puede ocasionar muertes, lesiones u otros efectos en la salud, daños a los bienes, disrupciones sociales y económicas o daños ambientales. Comentario: Las amenazas pueden tener origen natural, antropógeno

sosocionatural. Las amenazas naturales están asociadas predominantemente a procesos y fenómenos naturales. Las amenazas antropógenas o de origen humano son las inducidas de forma total o predominante por las actividades y las decisiones humanas. Este término no abarca la existencia o el riesgo de conflictos armados y otras situaciones de inestabilidad o tensión social que están sujetas al derecho internacional humanitario y la legislación nacional. Varias amenazas son socionaturales, en el sentido de que se asocian a una combinación de factores naturales y antropógenos, como la degradación ambiental y el cambio climático.

Desastre: Disrupción grave del funcionamiento de una comunidad o sociedad en cualquier escala debida a fenómenos peligrosos que interaccionan con las condiciones de exposición, vulnerabilidad y capacidad, ocasionando uno o más de los siguientes: pérdidas e impactos humanos, materiales, económicos y ambientales. Comentario: El efecto de un desastre puede ser inmediato y localizado, pero con frecuencia tiene gran extensión y puede prolongarse durante mucho tiempo. El efecto puede poner a prueba o superar la capacidad de una comunidad o una sociedad para afrontar la situación por sus propios medios y, a raíz de ello, puede necesitar asistencia de fuentes externas, sean las jurisdicciones vecinas o las de los niveles nacional o internacional.

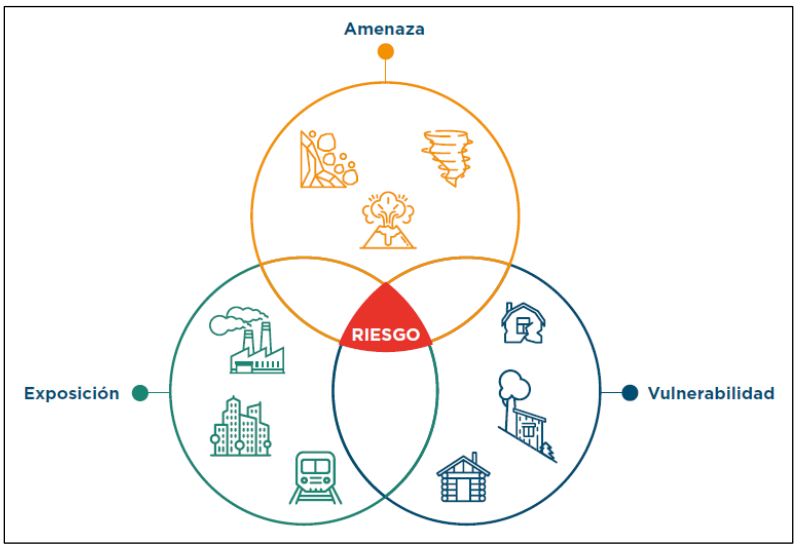
Evaluación del riesgo de desastres: Enfoque cualitativo o cuantitativo para determinar la naturaleza y el alcance del riesgo de desastres mediante el análisis de las posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de exposición y vulnerabilidad que conjuntamente podrían causar daños a las personas, los bienes, los servicios, los medios de vida y el medio ambiente del cual dependen. Comentario: Las evaluaciones del riesgo de desastres incluyen: la identificación de las amenazas; un examen de las características técnicas de los peligros, como su ubicación, intensidad, frecuencia y probabilidad; el análisis del grado de exposición y vulnerabilidad, incluidas las dimensiones físicas, sociales, de salud, ambientales y económicas, y la evaluación de la eficacia de las capacidades de afrontamiento tanto existentes como alternativas con respecto a los escenarios de riesgo probables.

Exposición: Situación en que se encuentran las personas, las infraestructuras, las viviendas, las capacidades de producción y otros activos humanos tangibles situados en zonas expuestas a amenazas. Comentario: las medidas de la exposición pueden incluir el número de personas o los tipos de bienes que hay en una zona. Pueden combinarse con la vulnerabilidad y la capacidad específicas de los elementos expuestos a cualquier amenaza concreta para estimar los riesgos cuantitativos asociados a esa amenaza en la zona de que se trata.

> Gestión del riesgo de desastres: La gestión del riesgo de desastres es la aplicación de políticas y estrategias de reducción del riesgo de desastres con el propósito de prevenir nuevos riesgos de desastres, reducir los riesgos de desastres existentes y gestionar el riesgo residual, contribuyendo con ello al fortalecimiento de la resiliencia y a la reducción de las pérdidas por desastres. Comentario: las medidas de gestión del riesgo de desastres pueden diferenciarse en gestión prospectiva del riesgo de desastres, gestión correctiva del riesgo de desastres y gestión compensatoria del riesgo de desastres, también denominada gestión del riesgo residual.
>
> Infraestructuras vitales: Conjunto de estructuras físicas, instalaciones, redes y otros activos que proporcionan servicios indispensables para el funcionamiento social y económico de una comunidad o sociedad.
>
> Riesgo de desastres: Posibilidad de que se produzcan muertes, lesiones o destrucción y daños en bienes en un sistema, una sociedad o una comunidad en un período de tiempo concreto, determinados de forma probabilística como una función de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad. Comentario: La definición de riesgo de desastres refleja el concepto de sucesos peligrosos y desastres como resultado de condiciones de riesgo constantemente presentes. El riesgo de desastres incluye diferentes tipos de pérdidas posibles que a menudo resultan difíciles de cuantificar. No obstante, conociendo las amenazas predominantes y las pautas de desarrollo humano y socioeconómico, los riesgos de desastres se pueden evaluar y cartografiar, al menos en líneas generales.
>
> Vulnerabilidad: Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad, los bienes o los sistemas a los efectos de las amenazas. Comentario: En cuanto a los factores positivos que aumentan la capacidad de las personas para hacer frente a las amenazas, véanse también las definiciones de “capacidad” y “capacidad de afrontamiento”. (págs. 15, 19, 20, 21, 25)

La Figura 9 muestra los 3 elementos de amenaza, exposición y vulnerabilidad que se conjugan y deben estar presentes para que exista el riesgo, la magnitud de cada uno de ellos tiene su impacto en el riesgo dependiendo de diversos aspectos que determinan un escenario de riesgo especifico en donde coexisten los 3 elementos.

Figura 9. Elementos que componen el riesgo de desastres



Nota. Adaptado de *Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático para Proyectos del BID* (pág. 11), por Barandiarán et al, 2019, BID.

Para definir la exposición a la amenaza por deslizamiento será necesario determinar el enfoque y el método de la evaluación del riesgo mismos que serán extensivos al abordaje y detalles de la exposición en el área de estudio. Por lo que la evaluación del riesgo de desastres puede tener dos enfoques; cualitativo o cuantitativo dependiendo del propósito de la evaluación, de la información existente, de los recursos con que se cuenta, entre otros aspectos.

Estos enfoques según la ONU (2016) sirven para determinar la naturaleza y el alcance del riesgo de desastres mediante el análisis de las posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de exposición y vulnerabilidad que conjuntamente podrían causar daños a las personas, los bienes, los servicios, los medios de vida y el medio ambiente del cual dependen (pág. 15). Tal como se mencionó, el enfoque de la investigación es cuantitativa. Tomando como base la clasificación del párrafo anterior, es importante definir que se estará abordando el riesgo desde el enfoque cuantitativo, de ahí que se mantendrá este en el desarrollo de la investigación.

Respecto al método para realizar la evaluación del riesgo, este estará definido por el grado de detalle que se desea, existencia de incertidumbre, datos existentes para desarrollar un análisis probabilístico, entre otros aspectos. Estos métodos los clasifica Barandiarán et al (2019) en; evaluación probabilística (totalmente probabilista, probabilista simplificada, mixta probabilista-determinista), y evaluación determinista (evento histórico pasado y caso pesimista), además de otros métodos como; la toma de decisiones robustas, el análisis histórico de línea de tiempo y la evaluación de exposición (págs. 102-103).

De manera tal, que en esta investigación la evaluación del riesgo se abordara mediante el enfoque cuantitativo y el método mixto probabilista-determinista. Manifiesta Barandiarán et al (2019) que en este método algunos componentes del riesgo son modelados de manera probabilista y otros de manera determinista. Por ejemplo, suelen darse los siguientes casos: (i) la amenaza se modela de manera probabilista y se utilizan solo algunos periodos de retorno (probabilista simplificado) y la vulnerabilidad se evalúa de manera determinista, o (ii) la amenaza se modela de manera determinista y la vulnerabilidad de manera probabilista, un enfoque común para evaluar el riesgo por deslizamientos. Asimismo, en la modelación de modelos de riesgo complejos, es más viable utilizar una combinación de los métodos probabilistas y deterministas (pág. 102).

Amenaza y susceptibilidad por deslizamiento. Según el concepto anteriormente descrito, y de acuerdo a nuestro caso se trata de una amenaza geológica por movimiento en masa de tipo deslizamiento, y se trata de un fenómeno que pueden ocasionar muertes, lesiones u otros efectos en la salud, daños a los bienes, disrupciones sociales y económicas o daños ambientales. Existen diferentes tipos de amenazas las cuales según su naturaleza la ONU (2016) las clasifica de la siguiente manera:

> Las amenazas pueden ser únicas, secuenciales o combinadas en su origen y sus efectos. Cada amenaza se caracteriza por su ubicación, intensidad o magnitud, frecuencia y probabilidad. Las amenazas dependerán de su origen e incluyen (como se indica en el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, enumerados por orden alfabético) procesos y fenómenos biológicos, ambientales, geológicos, hidrometeorológicos y tecnológicos tal como se ilustra en la Tabla 3 según Organización de las Naciones Unidas (2016) estos tipos son:
>
> 1. Las amenazas biológicas son de origen orgánico o transmitidas por vectores biológicos, como microorganismos patógenos, toxinas y sustancias bioactivas. Algunos ejemplos son bacterias, virus o parásitos, así como animales e insectos ponzoñosos, plantas venenosas y mosquitos portadores de agentes causantes de enfermedades.
> 2. Las amenazas ambientales pueden incluir amenazas químicas, naturales y biológicas. Pueden ser creadas por la degradación ambiental o por la contaminación física o química en el aire, el agua y el suelo. Sin embargo, muchos de los procesos y fenómenos que entran en esta categoría pueden calificarse de factores impulsores de amenazas y riesgos, más que de amenazas en sí mismos, como la degradación del suelo, la deforestación, la pérdida de diversidad biológica, la salinización y el aumento del nivel del mar.
> 3. Las amenazas geológicas o geofísicas se originan en procesos internos de la tierra. Algunos ejemplos son los terremotos, la actividad y las emisiones volcánicas, y los procesos geofísicos, como movimientos de masas, desprendimientos de tierra, desprendimientos de rocas, derrumbes en superficie y corrientes de lodo o detritos. Los factores hidrometeorológicos contribuyen de manera importante a algunos de estos

procesos. Los tsunamis son difíciles de clasificar: aunque son provocados por terremotos y otros fenómenos geológicos submarinos, básicamente se convierten en un proceso oceánico que se manifiesta en forma de amenaza costera relacionada con el agua.

4. Las amenazas hidrometeorológicas son de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico. Cabe citar como ejemplo los ciclones tropicales (también conocidos como tifones y huracanes); las inundaciones, incluidas las crecidas repentinas; la sequía; las olas de calor y de frío, y las mareas de tormenta en las zonas costeras. Las condiciones hidrometeorológicas también pueden ser un factor que interviene en otras amenazas, como los desprendimientos de tierras, los incendios forestales, las plagas de langostas, las epidemias y el transporte y dispersión de sustancias tóxicas y materiales de erupciones volcánicas.
5. Las amenazas tecnológicas se derivan de condiciones tecnológicas o industriales, procedimientos peligrosos, fallos de infraestructuras o determinadas actividades humanas. Entre los ejemplos cabe citar la contaminación industrial, la radiación nuclear, los desechos tóxicos, las roturas de presas, los accidentes de transporte, las explosiones en fábricas, los incendios y los derrames químicos. Las amenazas tecnológicas también pueden surgir directamente como resultado de los efectos de un suceso debido a una amenaza natural. (págs. 19-21)

Tabla 3. Ejemplos de tipos de amenazas de acuerdo a su origen

Biológicas	Bacterias, virus o parásitos, así como animales e insectos ponzoñosos, plantas venenosas y mosquitos portadores de agentes causantes de enfermedades.
Ambientales	Degradación del suelo, la deforestación, la pérdida de diversidad biológica, la salinización y el aumento del nivel del mar.
Geológicas o geofísicas	Terremotos, la actividad y las emisiones volcánicas, y los procesos geofísicos, como movimientos de masas, desprendimientos de tierra, desprendimientos de rocas, derrumbes en superficie y corrientes de lodo o detritos.
Hidrometeorológica	Ciclones tropicales (también conocidos como tifones y huracanes); las inundaciones, incluidas las crecidas repentinas; la sequía; las olas de calor y de frío, y las mareas de tormenta en las zonas costeras.
Tecnológica	Contaminación industrial, la radiación nuclear, los desechos tóxicos, las roturas de presas, los accidentes de transporte, las explosiones en fábricas, los incendios y los derrames químicos

Nota. Elaboración propia

Según el Servicio Geológico Colombiano (2017) la amenaza por deslizamiento es un proceso que requiere de la interacción e intervención de diferentes disciplinas temáticas, los elementos que no

pueden faltar en el análisis de la amenaza por deslizamiento entre otras son las disciplinas relacionadas con las ciencias de la tierra, registro de eventos de deslizamientos ocurridos en el pasado y un conocimiento de la zona de estudio, además del juicio experto en cada una de sus etapas (pág. 17). Los mapas de amenaza nos llevan obligatoriamente a utilizar datos geoespaciales los cuales se obtienen mediante el levantamiento en campo y uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Movimientos en masa

Los deslizamientos forman parte de la clasificación de los movimientos en masa, es así como el Servicio Geológico Colombiano (2017) define el sistema de clasificación de Cruden & Varnes en su artículo de 1996 que recoge gran parte de la clasificación de Varnes de 1978 define 6 tipos de movimientos de masas (págs. 48-59):

1. Caída (fall)
2. Volcamiento (topple)
3. Propagación (spread)
4. Flujo (flow)
5. Reptación (creep)
6. Deslizamiento (slide)

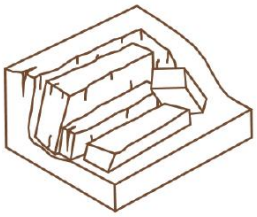
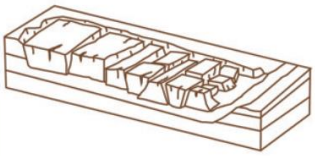
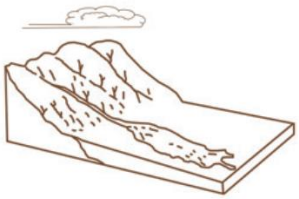
Esta clasificación de los movimientos en masas y deslizamientos se muestra en la Tabla 4, y se basa en Cruden & Varnes (1996), lo definiremos según (Suarez, 2009):

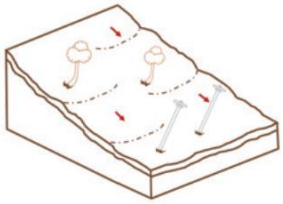
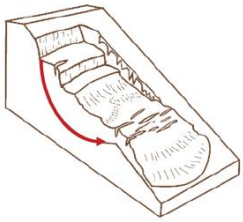
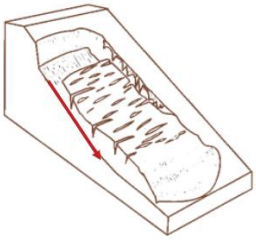
> Caída. Caído es el desprendimiento y caída de materiales del talud. En los caídos se desprende una masa de cualquier tamaño desde un talud de pendiente fuerte a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da. Este desplazamiento se produce principalmente por caída libre, a saltos o rodando.
>
> Volcamiento. Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad. Generalmente los volcamientos ocurren en las formaciones rocosas, pero también, se presentan en suelos cohesivos secos y en suelos residuales.
>
> Propagación. Se denomina extensión o esparcimiento lateral a los movimientos con componentes, principalmente laterales, en taludes de baja pendiente. En los esparcimientos laterales el modo del movimiento dominante, es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión (sobre roca o sobre suelos plásticos).
>
> Flujo. En un “flujo” ocurren movimientos relativos de las partículas, o bloques pequeños, dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie. La ocurrencia de lujos

puede estar relacionada con los siguientes factores; lluvias, deshielo de nevados, sismos, alteración de suelos sensitivos y deslizamientos en zonas de alta pendiente.

Reptación. La reptación o “creep” consiste en movimientos del suelo subsuperficial desde muy lentos a extremadamente lentos sin una superficie definida de falla. La reptación comúnmente ocurre en las laderas con pendiente baja a media. Se les atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en los suelos, usualmente arcillosos, muy blandos o alterados, con características expansivas. (Págs. 8-21)

Tabla 4. Tipos de movimientos en masa

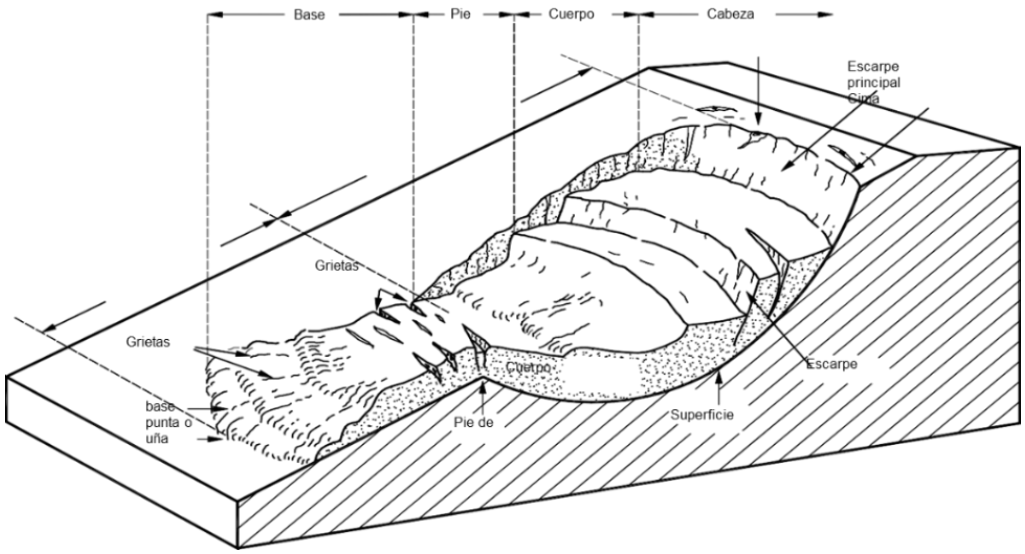
Caída (fall)		
Volcamiento (topple)		
Propagación (spread)		
Flujo (flow)		

Reptación (creep)		
Deslizamiento rotacional		
Deslizamiento de traslación		

Nota. Elaboración propia

Los deslizamientos tienen una estructura como se muestra en la Figura 10, y de acuerdo a Suárez (2009) consisten en movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud, es decir en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada, estos pueden ser de una sola masa coherente o pueden comprender varias unidades o masas semindependientes y ocurren generalmente a lo largo de las superficies de falla ya sea por caída libre, movimientos en masa, erosión o flujos. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la que sería la superficie de falla, sino que se va generando en un proceso gradual (pág. 5).

Figura 10. Partes que conforman un deslizamiento

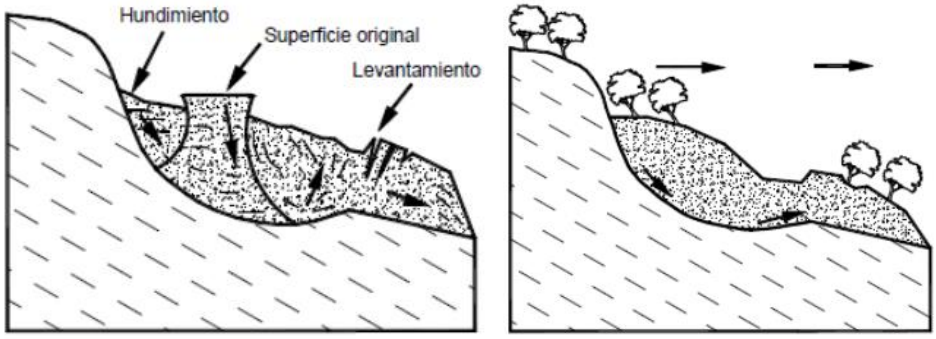


Nota. Adaptado de *Landslides Types and Processes* (pág. 40), por Cruden & Varnes, 1996, Washington D.C.

Los deslizamientos se pueden subdividir en los subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación y traslación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear. La clasificación de los mismos según Suarez (2009) la siguiente:

- Deslizamiento rotacional: En un deslizamiento rotacional, como se nuestra en la Figura 11, la superficie de falla es cóncava hacia arriba y el movimiento es rotacional con respecto al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento. El centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta, el deslizamiento rotacional posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, lo cual genera, comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento, la cabeza del movimiento bascula hacia atrás y los árboles se inclinan, de forma diferente, en la cabeza y en el pie del deslizamiento. En la mayoría de los desplazamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”.

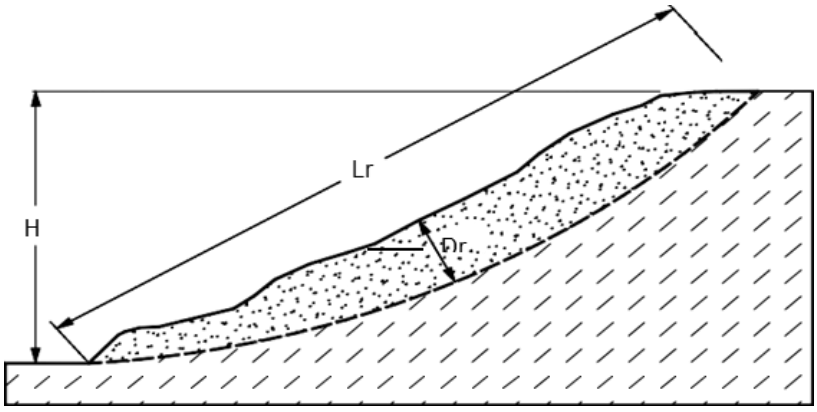
Figura 11. Deslizamiento rotacional típico



Nota. Adaptado de *Deslizamientos: Análisis Geotécnico* (pág. 14), por J. Suarez, 2009, Ingeniería de Suelos Ltda.

Los deslizamientos rotacionales generalmente tienen una relación Dr/Lr entre 0.15 y 0.33, asimismo para los deslizamientos traslacionales Dr/Lr < < 0.10. Como se muestra en la Figura 12, donde Dr es la profundidad de la superficie de falla, es decir la máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno; y Lr es la longitud de la superficie de falla, es decir la distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.

Figura 12. Relaciones Dr/Lr para deslizamientos de traslación y rotación



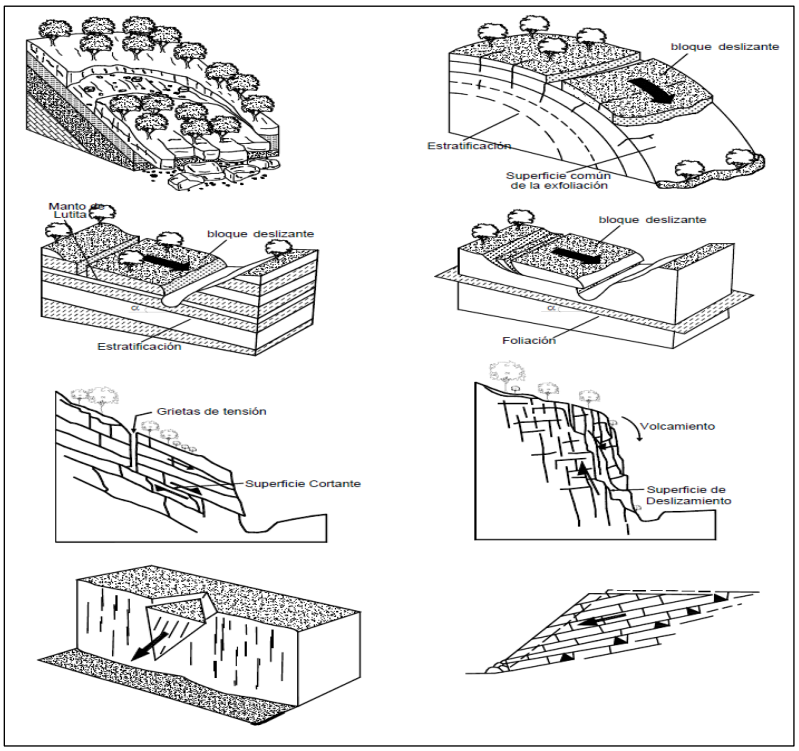
Nota. Adaptado de *Deslizamientos: Análisis Geotécnico* (pág. 20), por J. Suarez, 2009, Ingeniería de Suelos Ltda.

En la cabeza del movimiento, el desplazamiento aparentemente es semi- vertical y tiene muy poca rotación. No obstante, se puede observar que la superficie original del terreno gira en la dirección de la corona del talud, aunque otros bloques giren en la dirección opuesta. La formación de los escarpes semi verticales en los deslizamientos de rotación facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos o progresivos hacia arriba. Dentro del deslizamiento ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y ocasionalmente, ocurren varios desplazamientos sucesivos en su origen pero que conforman una zona de desplazamientos rotacionales independientes. Los casos más

conocidos de deslizamientos de rotación, se presentan en suelos arcillosos blandos con perfil profundo y en suelos residuales con perfiles meteorizados de gran espesor.

- Deslizamiento de traslación: En el desplazamiento de traslación la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Los movimientos traslacionales generalmente, tienen una relación Dr/Lr de menos de 0.1. En muchos desplazamientos de traslación, la masa se deforma y/o se rompe y puede convertirse en lujo, especialmente en las zonas de pendiente fuerte. Los movimientos de traslación como se muestra en la Figura 13, son comúnmente controlados por superficies débiles tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación, foliación, "slickensides" o por el contacto entre la roca y los suelos blandos o coluviones. (págs. 14-17, 20)

Figura 13. Tipos de deslizamientos traslacionales



Nota. Adaptado de *Deslizamientos: Análisis Geotécnico* (pág. 19), por J. Suarez, 2009, Ingeniería de Suelos Ltda.

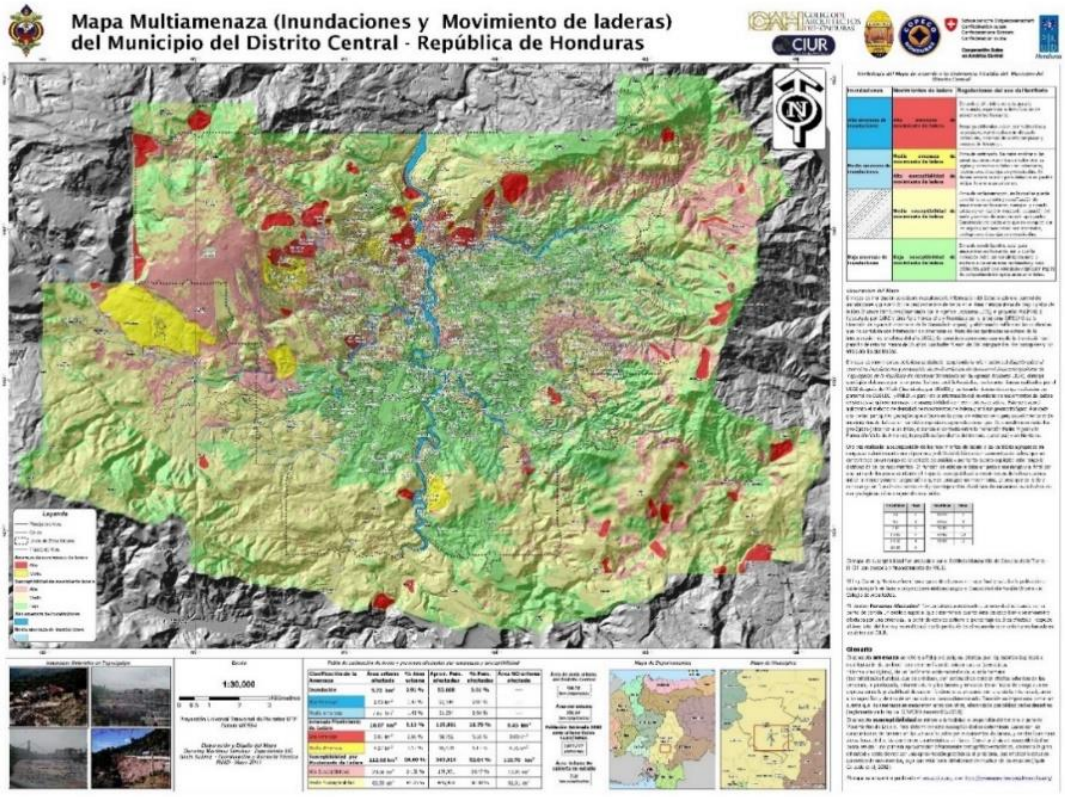
Existen diferentes métodos y modelos para definir la amenaza por deslizamiento y "se han desarrollado numerosos enfoques para el mapeo de la amenaza por deslizamiento de tierra, como los mapas basados en inventarios, enfoques heurísticos, evaluaciones probabilistas, evaluaciones deterministas, análisis estadísticos y enfoques de toma de decisiones basadas en múltiples criterios" (Barandiarán et al, 2019, pág. 147)

En el caso del MDC en el 2011 con el apoyo del Programa de las Naciones unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación – Departamento Federal de Asuntos Exteriores (COSUDE) se elaboró el Mapa multiamenaza el cual se muestra en la Figura 14. En este se recopiló información del Estudio sobre el control de inundaciones y prevención de movimientos de ladera en el área metropolitana de Tegucigalpa de la República de Honduras financiado por la Agencia de Cooperación Japonesa (JICA), el mapa geológico elaborado por la empresa italiana Lotti & Asociados, los levantamientos realizados después del Huracán Mitch por el Servicio Geológico de Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés y los levantamientos de campo realizados por personal de COSUDE y PNUD.

El mapa de susceptibilidad de movimientos de ladera contenido en el de Mapa multiamenaza fue elaborado por la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) a partir del Inventario de movimientos de ladera y aplicando el método de densidad de movimiento de ladera y análisis geomorfológico. Para cada una de las geologías que afloran en la zona de estudio se superpuso el inventario de movimientos de ladera con variables espaciales agrupadas en rangos, se consideraron variables geológicas (distancia a las fallas, distancia al contacto entre la formación de Padre Miguel y la formación Valle de Ángeles), topográficas (pendiente del terreno y curvatura) y ambientales. Además, se clasificaron los niveles de amenaza por deslizamientos de ladera en alta y media.

Otro mapa importante con que cuenta el MDC se basa en el modelo de distribución inventario también llamado “inventario de movimientos de ladera” el cual es uno de los enfoques más simples para elaborar mapas de deslizamientos. Este modelo Barandiarán et al (2019) muestra patrones espaciales y temporales de la distribución de los deslizamientos, tipo de movimiento, velocidad de movimiento, tipo de material desplazado (tierra, escombros o roca), etc., y los datos sobre deslizamientos se obtienen mediante mapas de agrimensura, registros históricos, imágenes satelitales e interpretación de fotografías aéreas, además que los mapas de distribución y densidad de deslizamientos constituyen la base para la aplicación de otros métodos de susceptibilidad a movimientos de ladera. (pág. 149)

Figura 14. Mapa multiamenaza (Inundaciones y Movimientos de Ladera) del Distrito Central

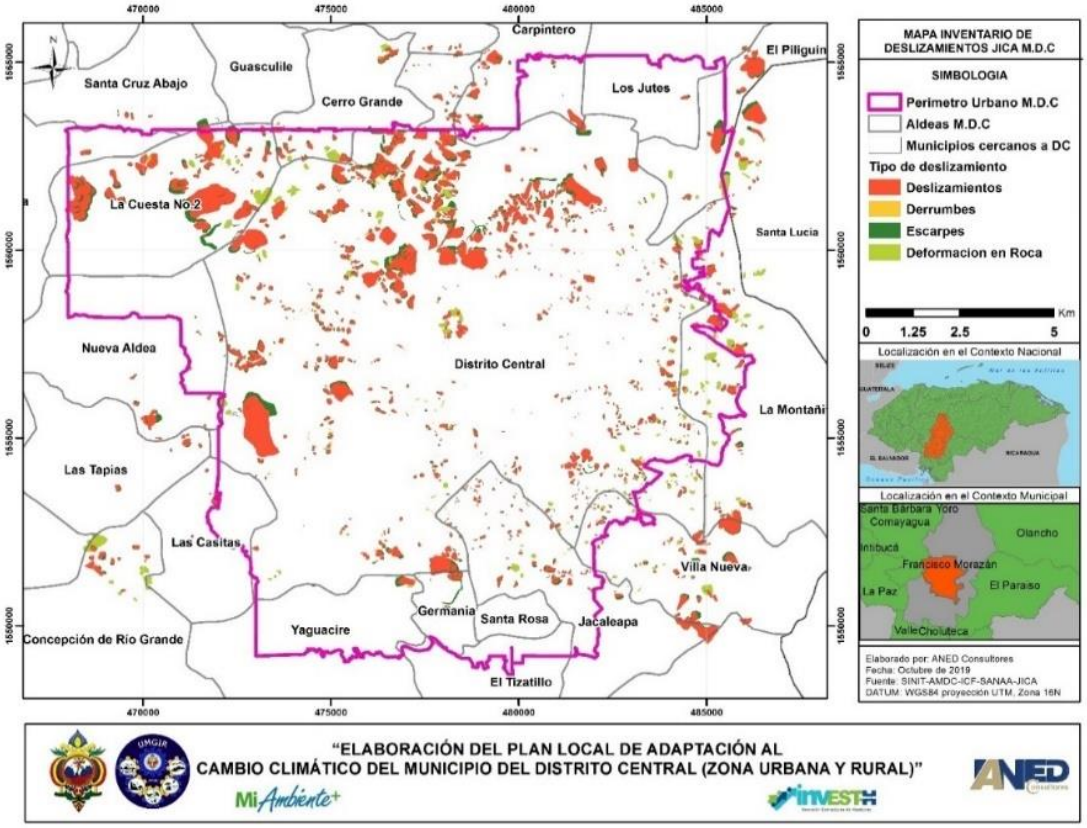


Nota. Adaptado del *Mapa Multiamenaza (Inundaciones y Movimientos de Ladera) del Municipio del Distrito Central*, República de Honduras", por Martínez & Suárez, (2011), PNUD.

El mapa de inventario de movimientos de ladera presentado en el 2014 elaborado por la JICA con ayuda de la UPI Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI) mostrado en la Figura 15, cuyo trabajo se realizó durante el 2013, describe y localiza espacialmente zonas de deslizamientos, derrumbes, escarpes, y grietas, dentro del territorio del Municipio del MDC. El mapa se preparó con la metodología de foto interpretación con la ayuda de ortofotos tomadas en vuelo en el año 2013.

La amenaza por movimientos de ladera representa es una de las más recurrentes, siendo ocasionada principalmente por la temporada de lluvias en el DC. JICA (2014) indica que para elaborar el mapa de inventario de movimientos de ladera utilizó la metodología de interpretación de fotografías aéreas mejor conocido como fotointerpretación, que es un método económico para cubrir grandes áreas en poco tiempo, logrando una exactitud de aproximada del 80%. Este método es realizado por un equipo de 3 personas debidamente capacitadas para interpretar las fotografías, de manera tal que utilizando SIG se elabora el mapa con la información y atributos trabajados por los equipos (pág. 10).

Figura 15. Mapa de inventario de movimientos de ladera del Distrito Central JICA 2014

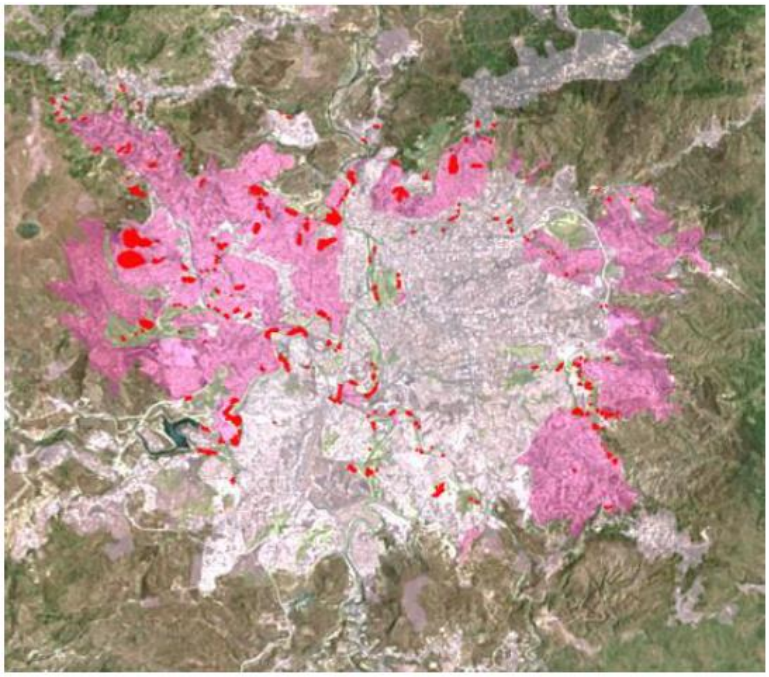


Nota. Adaptado de *Plan Local de Adaptación al Cambio Climático del Municipio del Distrito Central*, por AMDC, 2020, Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente.

Los deslizamientos activos son aquellos que se encuentran en los barrios y colonias susceptibles a deslizamientos y que han tenido actividad de movimiento en un periodo reciente. En uno de los estudios realizados en el MDC los definen como "Los deslizamientos activos marcan zonas donde ya se han producido movimientos de tierras en los últimos 12 meses. Por tanto, son terrenos donde habrá que prestar una especial atención" (Terraza et al, Plan de Acción de Tegucigalpa y Comayaguela, 2016, pág. 150), en este mismo estudio considera 12 meses anteriores al desarrollo del mismo, sin embargo, el periodo anterior de la actividad de movimiento a considerar depende del análisis que se desee realizar, de los alcances y la metodología que se realice.

A menudo se realiza una depuración de la información, para efectos de contar con aquellos eventos de deslizamientos que mejor se acuden a los objetivos del estudio, la Figura 16 muestra un mapa del resultado de un ejemplo de este tipo de análisis, donde en un primer paso de depuración de los deslizamientos activos, se realiza dividiendo en construidos y no construidos.

Figura 16. Deslizamientos activos de acuerdo al estudio de crecimiento urbano de Tegucigalpa



Nota. Adaptado de *Estudio de Crecimiento Urbano de Tegucigalpa, Honduras* (pág. 150), por Terraza et al, 2015, BID.

Exposición a la Amenaza por Deslizamiento. En sintonía con los conceptos descritos anteriormente y definidos por la ONU el grado de exposición se refiere a las personas (población), las propiedades (bienes), los sistemas (servicios) y otros elementos que se encuentran en las zonas donde existen las amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales al ocurrir un evento potencialmente dañino (la amenaza).

García et al (2019) definen la exposición como la coincidencia, en tiempo y espacio, de una amenaza y un receptor susceptible de sufrir daños debido a ella, es una condición binaria (el receptor está expuesto o no lo está), necesaria, pero no suficiente, para que se produzcan riesgos; los parámetros de exposición reflejan un máximo potencial de los daños, que puede estar más o menos alejado de las pérdidas probables, es decir, del riesgo (pág. 109). Existen diferentes enfoques para determinar la exposición, algunos van desde un listado de personas y activos, hasta algunos más complejos que incluyen una descripción completa del entorno físico y el detalle de todos los elementos expuestos dentro del área de estudio. En la Tabla 5 se muestra los diferentes enfoques.

Tabla 5. Enfoques para analizar la exposición

Método	*Descripción*	
Detallado: activos individuales	Este enfoque se utiliza para activos individuales que requieren una evaluación detallada del riesgo. La información sobre las características físicas de los activos puede proceder de documentos de diseño, planos finales conforme a obra y dibujos estructurales. Puede obtenerse información comercial detallada para determinar las pérdidas por interrupción operativa e información sobre los empleados para determinar las pérdidas sociales. Pueden realizarse encuestas al personal de planta.	
Representativo: activos agregados	Este enfoque se utiliza para grupos de activos que no requieren una evaluación individual y detallada del riesgo. Nivel de análisis agregado significa que la caracterización de los activos se realiza agrupando las tipologías. La información sobre las características físicas de los activos puede proceder de imágenes satelitales y datos secundarios existentes como encuestas y censos. La información comercial puede aproximarse utilizando datos sobre la superficie de uso comercial y parámetros comerciales locales. La población expuesta puede estimarse a partir de la superficie. Los contenidos pueden aproximarse con base a la ocupación de la estructura: para uso residencial suele ser ½x del valor de la estructura; para comercial, industrial y agrícola suele ser 1x el valor de la estructura y para escuelas y hospitales 2x el valor de la estructura. Este enfoque debe utilizarse para evaluar a las comunidades en o cerca del área del proyecto (para evaluar riesgo de exacerbación a terceros).	**Individualización espacial:** si bien los activos se agrupan por tipologías, es necesario identificar y asignar una tipología a los activos individuales (por ej., edificio por edificio). **Agregación espacial:** además de agrupar los activos por tipología, éstos son agregados espacialmente conforme a un nivel mayor, como una manzana en una ciudad. La unidad de agrupación tendrá una única característica que represente las características más comunes de los activos individuales que incluye.

Nota. Adaptado de Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático, (pág. 167), por Barandiarán et al, 2019, BID.

Es así, como utilizaremos el enfoque de agregación espacial "además de agrupar los activos por tipología, éstos son agregados espacialmente conforme a un nivel mayor, como una manzana en una ciudad. La unidad de agrupación tendrá una única característica que represente las características más comunes de los activos individuales que incluye" (Barandiarán et al, 2019, pág. 167). Además, se realizará una evaluación topológica para múltiples activos, esta se utiliza cuando los activos expuestos tienen una mayor agregación espacial (por ej., en manzanas, barrios, municipalidades), en lugar de asignar curvas a estructuras individuales, los tipos de edificios son agrupados por superficie y se asignan funciones de vulnerabilidad a las unidades agrupadas que representan la tipología promedio o más representativa presente dentro del grupo.

Por ello la AMDC (2018) en su PMGIRD manifiesta, que si bien las condiciones particulares de su ubicación y sus características fisiográficas representan aspectos que contribuyen a generar susceptibilidades ante deslizamientos e inundaciones, la construcción de vulnerabilidades como consecuencia de los procesos sociales agudiza su problemática, por ejemplo el incremento de la población por efectos del crecimiento vegetativo y la migración del campo a la ciudad, mismos que a su vez dan origen a la demanda de vivienda, dichas demandas, juntamente con la falta de una adecuada planificación del uso de territorio y la carencia de vigilancia histórica por los entes responsables, facilita la constitución de asentamientos humanos y urbanizaciones en zonas de riesgos (pág. 25).

Además, Terraza et al (2016) manifiestan que la evaluación de la exposición engloba la identificación y caracterización de los elementos expuestos; conocer la densidad de población para saber cuántas personas serían afectadas, clasificar las viviendas por tipología constructiva para estimar el valor de las edificaciones afectadas, y localizar las infraestructuras críticas para ubicar cuáles puentes, escuelas, hospitales y otros elementos podrían ser afectados (pág. 126). También es importante recordar que la exposición es una condición binaria como se mencionó anteriormente (se está o no está expuesto), además que es necesaria, pero no suficiente, para que se produzcan riesgos. La exposición da una aproximación del potencial de daño que podrían tener los elementos dentro de la zona de la amenaza, de suceder un evento potencialmente dañino.

Los parámetros de exposición más comunes y aplicables a la información disponible en el DC, que además ya han sido así estudiados se muestran en la Tabla 6. Manifiesta Garcia et al (2019) que pueden existir otros en función de los datos de partida y los objetivos específicos de cada estudio. Estos parámetros son:

1. Exposición física de edificaciones
2. Exposición física de infraestructuras criticas
3. Exposición humana (pág. 94).

Tabla 6. Parámetros de exposición más habituales

Exposición física de edificaciones	**Superficie urbana expuesta (ha)**
	Superficie edificada expuesta (ha)
	Valor total expuesto (MUSD)
	Superficie o valor expuestos por tipología de edificación
Exposición física de infraestructura critica	Número de elementos expuestos por categoría
	Superficie expuesta por categoría (ha)
	Capacidad expuesta por categoría
Exposición humana	Número de personas totales expuestas
	Número de ancianos, niños y enfermos expuestos
	Número de personas expuestas en riesgo de exclusión social

Nota. Adaptado de *Bases generales para el desarrollo de estudios reducción de riesgos hidroclimáticos en cuidades*, (pág. 94), por García et al, 2019, BID.

Sin embargo, en ocasiones los parámetros de exposición, sin más cálculos a detalle, son empleados como estimadores o incluso sustitutos de los parámetros de riesgo, esto no es correcto, dado que las relaciones intensidad de la amenaza son muy variables y pueden conducir a error, ya que un alto nivel de exposición no conlleva necesariamente el equivalente a un alto nivel de daños, sin antes estudiar y definir el otro componente del riesgo: la vulnerabilidad.

Exposición física de edificaciones. Para el cálculo de la exposición física de las edificaciones "es necesario conocer la escala disponible (individualmente o por manzanas), las características de los edificios que constituyen la trama urbana en cuanto a tipología estructural, altura uso dominante y valor monetario de reposición, es decir a los activos individuales y activos agregados" (García et al, 2019, pág. 54).

De lo anterior este segundo término "activos agregados", existe a su vez la opción de Individualización espacial y la de agregación espacial, y como se definió a anteriormente, este es el enfoque utilizado en esta investigación,

En el análisis de las Lecciones aprendidas de la iniciativa ICES Garcia et al (2019) expresa que cuando se trata de edificios, infraestructuras, instalaciones, equipamientos, etc., se habla de exposición física, mientras que cuando se refieren a personas, se habla de exposición humana; en términos generales, la exposición física se refiere activos inmovilizados, que no tienen capacidad de desplazarse, por el contrario, dada la naturaleza móvil de los receptores, el cálculo de la exposición humana puede resultar erróneo si se basa en la imagen estática que proporcionan los censos demográficos, ya que ciertas zonas de las ciudades sufren grandes variaciones de ocupación temporales en función de los usos (pág. 94). Este parámetro de exposición física de edificaciones se refiere a las edificaciones de uso residencial (número de casas).

Exposición física de infraestructura critica. Además del cálculo de los edificios de uso general principalmente viviendas, García et al (2019) expresa que es conveniente identificar, ubicar y caracterizar los edificios y centros orientados a usos específicos como son: centros educativos, hospitales y residencias de ancianos, áreas de refugio, elementos de transporte (estaciones, intercambiadores, puentes, carreteras y vías principales, etc.), centros comerciales, mercados, estaciones de bomberos, comisarías, instalaciones energéticas clave, etc. Estos se denominarán infraestructura crítica, servirá no sólo para evaluar los daños directos, sino los posibles efectos sistémicos (García et al, 2019, pág. 54). Este parámetro de exposición física de infraestructura critica se refiere a las siguientes categorías con algunos ejemplos de acuerdo a la existencia, nomenclatura y usos utilizados en MDC.

1. Edificaciones o instalaciones de agua potable y saneamiento; porcentaje de cobertura o cantidad, tanques de almacenamiento, oficinas de juntas de agua, etc.
2. Edificaciones de asistencia de salud; hospitales, centros de salud, clínicas, etc.
3. Edificaciones de centros educativos; universidades, colegios, escuelas, etc.

4. Edificaciones de uso comercial; mercados, supermercados, plazas comerciales, centros comerciales y comercios diversos, etc.
5. Edificaciones de la administración pública; edificios instituciones públicas, descentralizadas y de gobierno, etc.
6. Edificaciones o Instalaciones de energía; porcentaje de cobertura o cantidad, subestaciones eléctricas, postes de transmisión y alumbrado, etc.
7. Edificaciones o Instalaciones industriales; plantas industriales, maquilas, etc.
8. Edificaciones o Instalaciones de trasporte; porcentaje de cobertura o cantidad de la red de transporte, estaciones, etc.
9. Edificaciones o Instalaciones telecomunicaciones; porcentaje de cobertura o cantidad de la red de telecomunicaciones, estaciones, etc.

Exposición humana. Es conveniente tener en cuenta en cada caso el carácter dinámico de la exposición humana y no adoptar de forma indiscriminada los datos censales para estimarla, dado que las personas responden ante una amenaza con determinadas conductas, que llevan asociadas unas pautas de desplazamiento, este aspecto no se considera en esta investigación como un factor de exposición, pero si deberá de ser considerado en los cálculos del riesgo, como un factor de vulnerabilidad. Este parámetro de exposición humana se refiere a la población (número de personas). Tomando como referencia la base teórica descrita y las clasificaciones necesarias para cada tipo de exposición, así como de los estudios ya cuantificados de exposición y la información existente en el DC, se ha definido la siguiente clasificación de categorías mostrada en la Tabla 7.

Tabla 7. Clasificación de la exposición

Exposición física de edificaciones	Edificaciones de uso residencial
Exposición física de infraestructura crítica	Edificaciones o instalaciones de agua potable y saneamiento
	Edificaciones de asistencia de salud
	Edificaciones de centros educativos
	Edificaciones de uso comercial
	Edificaciones de la administración pública
	Edificaciones o Instalaciones de energía
	Edificaciones o Instalaciones industriales
	Edificaciones o Instalaciones de trasporte
	Edificaciones o Instalaciones telecomunicaciones
Exposición humana	Población

Nota. Elaboración propia

Periodo de retorno de las precipitaciones. Existen diferentes modelos para definir los umbrales de lluvia para el análisis de riesgo de deslizamientos, este análisis no forma parte de esta investigación, sin embargo, es importante conocerlos, y según Barandiarán et al (2019) uno de ellos el modelo de umbral de lluvias con relación al deslizamiento de tierras que se refiere a la intensidad o duración mínima de lluvias necesaria para causar un deslizamiento de tierra. Los parámetros más comúnmente utilizados son lluvias acumuladas, lluvias antecedentes, intensidad de lluvias y duración de lluvias. Otro modelo es el de umbral crítico de lluvias (Qcr) se basa en las propiedades del suelo, el ángulo de la pendiente, drenaje pendiente arriba, densidad aparente del suelo húmedo y densidad del agua (pág. 148).

La probabilidad de excedencia, como parámetro importante para analizar los deslizamientos y los periodos de retorno de las precipitaciones. Suárez Vázquez (2022) en su estudio define una aproximación para determinar la probabilidad temporal de los movimientos de ladera a partir del análisis temporal de los inventarios y frecuencia de los movimientos en donde se estima la probabilidad de excedencia de nuevos movimientos por medio de distribuciones de probabilidad, principalmente las funciones de probabilidad de Poisson y Binomial, elaborando mapas a partir de los valores puntuales de la función (pág. 36). En sintonía con este esquema, también el estudio de Coe et al (2004) manifiesta:

> Que, si se considera la posible ocurrencia de movimientos de ladera durante un tiempo futuro específico en un área en particular, denotamos N(t) como el número de movimientos de ladera o grupos de movimientos de ladera que ocurren durante el tiempo futuro t y la probabilidad de que ocurran uno o más movimientos de ladera o grupos de movimientos de ladera durante el tiempo futuro especificado t, es decir, P $\{N(t) \geq 1\}$.
>
> Utilizando el modelo de probabilidad de Poisson:
>
> $$P\{N(t) \geq 1\} = 1 - \exp[-t/\mu] \qquad \textbf{\textit{Ecuación 1}}$$
>
> Donde t; Tiempo futuro. μ; Intervalo de recurrencia media futura, y
>
> μ = Número de eventos / Años de observación del registro de eventos
>
> donde μ es el intervalo de recurrencia media futura que se estima mediante el intervalo de recurrencia media histórico calculado a partir de la base de datos y t es un período de tiempo en el futuro para el que se calcula la probabilidad de superación (por ejemplo, t 1 año para la probabilidad de excedencia anual). Además, el intervalo de recurrencia media histórica se utiliza para estimar el intervalo de recurrencia media futura bajo el supuesto de que la ocurrencia futura de movimientos de ladera será similar a la ocurrencia histórica de movimientos de ladera. (pág. 111)

El método adoptado para relacionar la ocurrencia histórica de movimientos de ladera con las precipitaciones en su estudio Zêzere et al (2004) incluye la reconstrucción de las lluvias acumuladas, en donde se aplicó una ley de Gumbel para calcular el período de retorno de las combinaciones de intensidad y duración de lluvia obtenidas. Los pares críticos de cantidad-duración de la lluvia se definieron según lo propuesto por asumiendo como valores críticos las combinaciones extremas desde el punto de vista estadístico (pág. 143).

Tabla 8. Distribución de probabilidades utilizadas en hidrología

Nombre	**Acrónimo**	**Referencia**
Normal	(N)	Gauss
Log Normal	(LN)	Hazen, 1914
Pearson Tipo III	(P3)	Foster, 1924
Valor Extremo Tipo 1	(EV1)	Gumbel, 1941
Valor Extremo Tipo 2	(EV2)	Gumbel, 1941
Valor Extremo Tipo 3	(EV3)	Jenkinson, 1969
Gamma o Pearson Tipo 3	(G)	Morán, 1957
Gamma 3 parámetros		
Log Pearson Tipo 3	(LP3)	U.S Water Resources Council, 1981
Valor extremo generalizado	(VEG)	Jenkinson, 1969
Logística Generalizada	(GLG)	(GLG)
Nombre	Acrónimo	Referencia
Normal	(N)	Gauss
Log Normal	(LN)	Hazen, 1914

Nota. Adaptado de *Tesis Análisis Regional de Crecidas máximas para Honduras* (pág. 12), por Sierra, 2010.

Los acumulados de precipitación máximos anuales son datos que pueden ser representados mediante la Distribución de valores extremos de Gumbel "El estudio de eventos hidrológicos extremos incluye la selección de una secuencia de observaciones máximas o mínimas de conjuntos de datos" (Chow et al, 1994, pág. 396). De manera tal que este método será el utilizado en esta investigación. Además, Chow (1994) define:

La función de distribución de probabilidad de Gumbel o Valor Extremo Tipo I (EVI) es:

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\mu}{\alpha}\right)\right] \quad -\infty \leq x \leq \infty \qquad \textbf{\textit{Ecuación 2}}$$

Los parámetros se estiman de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}s}{\pi} \qquad \textbf{\textit{Ecuación 3}}$$

$$\mu = X - 0.5772\,\alpha \qquad \textbf{\textit{Ecuación 4}}$$

Donde s; Desviación estándar. X; Media

Una variable reducida y, puede definirse como:

$$y = \left(\frac{x - \mu}{\alpha}\right) \qquad \textbf{\textit{Ecuación 5}}$$

Sustituyendo la variable reducida y en (Ecuación 1) se encuentra:

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-y\right)\right] \qquad \textbf{\textit{Ecuación 6}}$$

El periodo de retorno en términos hidrológicos a menudo es utilizado para el cálculo en el diseño de infraestructuras, en este estudio se utiliza respecto a un evento, es así como Sierra (2010) lo define como el número promedio de años dentro del cual se espera que el evento sea igualado o excedido sólo una vez; es decir que el evento que se espera sea igualado o excedido cada N años, de manera tal que período de retorno es igual al inverso de la probabilidad de excedencia en un solo año (pág. 12).

$$T = \frac{1}{P} = \left(\frac{1}{1-p}\right) \qquad \textbf{\textit{Ecuación 7}}$$

Donde T; Periodo de retorno. P; Probabilidad. p; Probabilidad de excedencia F(x)

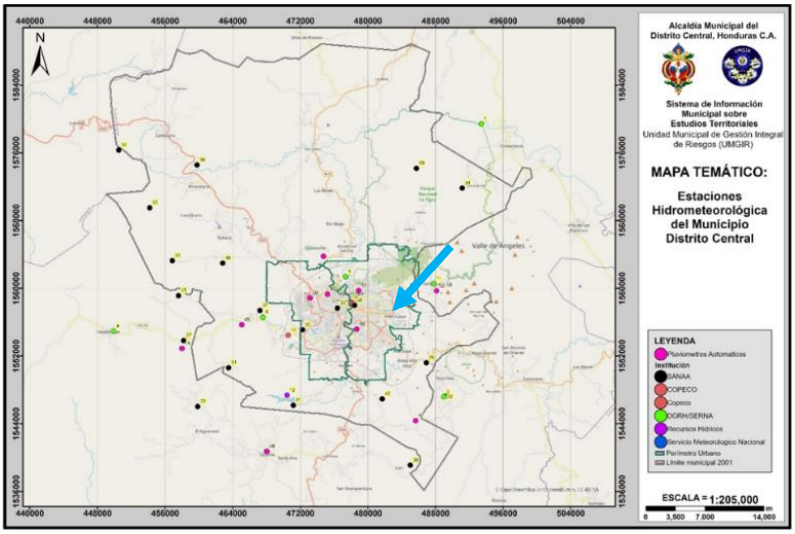
Además, para la selección del periodo de retorno de los eventos de deslizamientos, de entre los acumulados utilizados, Suárez (2022), con base a Zêzere et al (2004), define que la probabilidad temporal se obtiene de eventos históricos, para cada uno de los cuales se estima su periodo de retorno, a partir de estos de distintos parámetros de lluvia antecedente (1 día, 5, 10, 15, 40, etc.) atribuyendo al evento de deslizamiento el mayor periodo de retorno que arrojan los distintos parámetros de lluvia antecedente (pág. 38).

Para efectos de esta investigación como se mencionó anteriormente, se utilizarán los datos de acumulados de precipitación máximos anuales, para acumulados de 2, 5, y 10 días. El uso de indicadores de lluvia acumulada se basa en el análisis de Garcia-Urquia & Axelsson (2015), que identificó que es la lluvia acumulada en torno a 7 días de duración la que mejor explica la generación de movimientos de ladera en el DC (pág.1). El DC tiene diferentes estaciones hidrometeorológicas según se muestra en la Figura 17, una de ellas es la Estación Meteorológica Experimental Nabil Kawas de la UNAH, la cual es la más próxima la zona de estudio.

Asimismo, Valenzuela (2017) en su estudio concluye que el 83% del conjunto de datos de deslizamientos (463 registros), la precipitación acumulada durante el lapso de 5 días previo a la ocurrencia de cada inestabilidad fue superior a 20 mm; este hecho fue considerado una evidencia del papel de las lluvias en el desencadenamiento de estos deslizamientos y, en consecuencia, fueron considerados para el análisis, es decir que el 17% restante (96 deslizamientos), con valores de

precipitaciones acumuladas anteriores inferiores a 20 mm, la relación lluvia-deslizamiento se consideró dudosa y, por ello, se descartaron (pág. 102).

Figura 17. Estaciones hidrometeorológicas del Distrito Central



Nota. Adaptado de *Sistema de Información Municipal sobre Estudios Territoriales SIMRET* por UMGIR, 2018, AMDC.

Marco Legal

Normativa de Gestión Integral del Riesgo de Desastres. La base legal de la Gestión del Riesgo de Desastres debe estar interrelacionada entre los diferentes niveles para que no sean esfuerzo aislados sino se complemente en función de las áreas de sus competencias y actores involucrados, estos niveles son:

- Internacional
- Regional
- Nacional
- Municipal

Siendo esta ultima la más importante para efectos de la investigación, además de ser la más cercana a las comunidades vulnerables y expuestas a la amenaza por deslizamiento. En la Tabla 9 se muestra un resumen de esos niveles de normativas.

Tabla 9. Niveles normativos de la Gestión del Riesgo de Desastres para el Distrito Central

Internacional	Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030
	La Agenda 2030 y los Objetivos para el Desarrollo Sostenible
	Acuerdo de Paris
	Nueva Agenda Urbana - Hábitat III

Regional	Política Centroamericana de Gestión Integral de Riesgo de Desastres
	Estrategia Regional del Cambio Climático
Nacional	Constitución de la República
	Ley del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos
	Ley de Visión de País 2010-2038
	Ley de Cambio Climático
	Ley de Municipalidades
	Ley de Ordenamiento Territorial
	Ley General del Ambiente
	Ley Forestal
	Ley del Agua
Municipal	Política Municipal de Gestión Integral de Riesgos de Desastres
	Política Municipal de Agua, Saneamiento y Drenaje Pluvial
	Plan de Desarrollo Municipal con enfoque en Ordenamiento Territorial
	Plan de Acción Local para la Reducción del Riesgo de Desastres y la Resiliencia UNDRR
	Plan Local de Adaptación al Cambio Climático
	Plan de Acción de Tegucigalpa y Comaguela BID-ICES
	Plan Maestro del Centro Histórico
	Reglamento de la Zonificación, Obras y Usos de suelo
	Reglamento para la Reducción de Riesgo de Desastres
	Manual para la Evaluación de Riesgo para el Emplazamiento y del Medio Construido
	Código Verde de Construcción

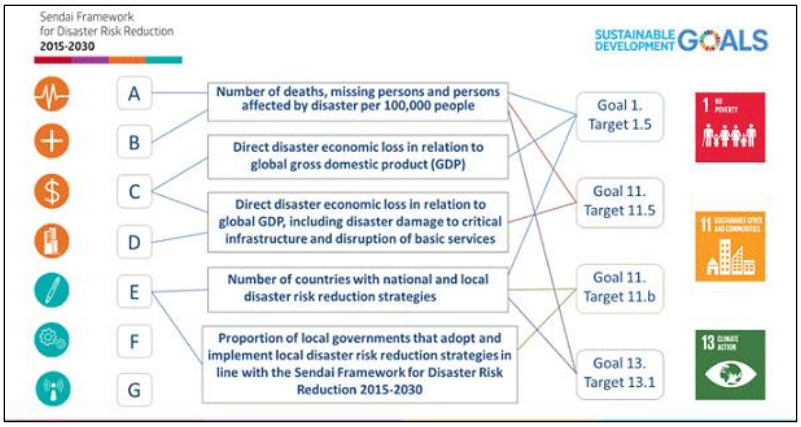
Nota. Elaboración propia

Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Se adoptó en la tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Reducción del Riesgo de Desastres celebrada en Sendai (Japón) el 18 de marzo de 2015. ONU (2015) expresa que este es el instrumento sucesor del Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015 cuyo objetivo era el aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres. El marco de Sendai se basa en elementos que garantizan la continuidad del trabajo hecho y presenta una serie de innovaciones que se solicitaron durante las consultas y las negociaciones de los Estados miembros como el marcado énfasis puesto en la gestión del riesgo de desastres en lugar de en la gestión de desastres, la definición de siete objetivos mundiales, la reducción del riesgo de desastres como resultado esperado, un objetivo centrado en evitar que se produzcan nuevos riesgos, la reducción del riesgo existente y reforzar la resiliencia, así como un conjunto de principios rectores, incluida la responsabilidad primordial de los Estados de prevenir y reducir el riesgo de desastres, y la participación de toda la sociedad y todas las instituciones del Estado (Pág. 5). Además, la ONU (2015) reconoce que la información existente indica que, en todos los países, el grado de exposición de las personas y los bienes ha aumentado con más rapidez de lo que ha disminuido la

vulnerabilidad, con un considerable impacto en los ámbitos económico, social, sanitario, cultural y ambiental a corto, medio y largo plazo, en especial a nivel local y comunitario (pág. 10).

La Agenda 2023 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Es en el año 2015 donde se pactan importantes acuerdos en la temática de Gestión de Riesgos y Desarrollo Sostenible, es así como la ONU (2018) estableció con los 193 Estados Miembros y un gran número de actores de todo el mundo un proceso de negociación abierto, democrático y participativo, que resultó en la proclamación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, con sus Objetivos de Desarrollo Sostenible, en septiembre de 2015, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluye 18 Objetivos y 169 metas, presenta una visión ambiciosa del desarrollo sostenible e integra sus dimensiones económica, social y ambiental; es un compromiso universal adquirido tanto por países desarrollados como en desarrollo, en el marco de una alianza mundial reforzada, que toma en cuenta los medios de implementación para realizar el cambio y la prevención de desastres por eventos naturales extremos, así como la mitigación y adaptación al cambio climático (pág. 7). La figura 19 muestra la vinculación grafica del Marco de Sendai con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Figura 18. Vinculación grafica del Marco de Sendai con los Objetivos de Desarrollo Sostenible



Nota. Adaptado de "El Marco de Sendai y los Objetivos de Desarrollo Sostenible" [Vinculación Marco de Sendai con Objetivos de Desarrollo Sostenible], por Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres, (2023), UNDRR, (https://www.undrr.org/sites/default/files/inline-images/SF%20and%20SDGs%20-%202.png).

Acuerdo de Paris. Este es otro compromiso mundial y de acuerdo a la ONU (2023) es un tratado internacional sobre el cambio climático jurídicamente vinculante que fue suscrito por 196 Partes en la COP21 en París, el 12 de diciembre de 2015. Su objetivo es limitar el calentamiento mundial a muy por debajo de 2, preferiblemente a 1,5 grados centígrados, en comparación con los niveles preindustriales; para ello los países se proponen alcanzar el máximo de las emisiones de gases de efecto invernadero lo antes posible para lograr un planeta con clima neutro para mediados de siglo. El Acuerdo de París es un hito en el proceso multilateral del cambio climático porque, por primera

vez, un acuerdo vinculante hace que todos los países se unan en una causa común para emprender esfuerzos ambiciosos para combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos.

Política Centroamericana de Gestión Integral de Riesgo de Desastres. La región centroamericana comparte importantes características, desafortunadamente una de ellas es la vulnerabilidad ante diferentes riesgos, es así como Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central CEPREDENAC (2017) manifiesta que esta política regional fue aprobada en la XXXV Reunión Ordinaria de Jefes de Estado y de Gobierno de los países del SICA, el 30 de junio de 2010 como un proceso innovador y participativo que convocó en el 2016 a diferentes actores internacionales para su revisión, ajuste y armonización con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Tierne como desafío general una Región Resiliente en armonía con el ambiente con perspectiva holística, integradora y multidimensional, pretende ser el marco orientador para las acciones de gestión integral de riesgo de desastres en la región y para cada uno de los países. Además, destaca como una medida de su eje articulador generación de información basada en estudios de vulnerabilidad y exposición, y su difusión es fundamental para la toma de decisiones a nivel político (págs. 7, 22).

Ley del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos. Bajo el Decreto Legislativo de fecha 26 de diciembre del 2009 se crea la Ley del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos (SINAGER) como la primera y más importante instancia nacional para la RRD en Honduras, la cual según la República de Honduras (2009) tiene por objeto crear el Sistema Nacional de Gestión de Riesgos, el cual también será conocido con las siglas de SINAGER", constituyendo el marco legal hondureño orientado a que el país cuenta y desarrolle la capacidad de prevenir y disminuir los riesgos de potenciales desastres. Además, de prepararnos, responder y recuperarnos de los daños reales provocados por los fenómenos naturales que nos impacten por aquellos generados por las actividades humanas. También establece que el Gobierno central y los Gobierno locales a través de sus instancia técnicas, están obligados a emitir disposiciones de cumplimiento obligatorio relacionado con la reducción del riesgo y las acciones concretas para reducir el posible daño, a fin de que las personas naturales y jurídicas estén obligadas a su acatamiento y cumplimiento y lograr con ello la reducción continua de la vulnerabilidad de la sociedad frente a los distintos fenómenos que nos amenazan (págs. 1, 2)

Política Municipal de Gestión Integral de Riesgos de Desastres. Como una política pública que oriente la temática y asegure la incorporación de la Gestión de Riesgos de desastres en el DC, la Corporación municipal de la Alcaldía Municipal del MDC mediante el Acuerdo 033 contenido en el Acta No. 020 de fecha 12 de septiembre del 2018 aprueba la Política Municipal de Gestión Integral de Riesgos de Desastres. La AMDC (2018) manifiesta los retos de controlar y reducir el riesgo actual, evitar riesgos futuros y tendenciales, además de encarar las amenazas de origen natural con altas condiciones de vulnerabilidad y exposición, obligan a tomar decisiones y definir opciones realistas que incluyen: profundizar el conocimiento científico del riesgo actual y

tendencial, contar con mecanismos regulatorios y de control para una mejor gobernanza del riesgo ante desastres, invertir para reducir los riesgos, fortalecer las capacidades de respuesta y recuperación de forma resiliente (pág. 4).

Plan de Acción Local para la Reducción del Riesgo de Desastres y la Resiliencia. En el marco de la iniciativa de las Organización Naciones Unidas "Mi Ciudad se está preparando", el Distrito Central en el 2018 realizó este Plan de Acción que "representa una oportunidad para el municipio, de analizar sus vulnerabilidades y retos; evaluar su capacidad de respuesta frente a estos; y aplicar una metodología de planificación bajo un lente de resiliencia, dentro de los marcos generales del gobierno local" (Alcaldía Municipal del Distrito Central, 2018, pág. 4), como un instrumento útil y práctico para las acciones de RRD del territorio.

Es importante mencionar que según la AMDC en el Pilar C "Resiliencia Espacial", el Plan recomienda la acción de Identificar, cuantificar y caracterizar la población bajo riesgo de desastres, así como, los elementos expuestos y su nivel de vulnerabilidad, para comprender la vulnerabilidad y analizar la exposición de las personas, los hogares, las comunidades y los territorios para darle más fuerza a la preparación y prevención y la atención a las emergencia, además el conocimiento de la exposición y de los potenciales impactos sobre los sectores productivos, así como aquellos que ellos generan, contribuirán a una mejor planificación del desarrollo (pág. 81).

Plan Local de Adaptación al Cambio Climático. Con el apoyo ya acompañamiento del Ministerio de Ambiente en el 2020 se aprueba este Plan cuyo proceso es liderado por la AMDC dada la importancia y preocupación que tiene el gobierno local acerca de los impactos y la adaptación al Cambio Climático. El plan tiene como objetivo general "Reducir la vulnerabilidad al Cambio Climático de la población urbana y rural del Municipio del Distrito Central, articulando la gestión del desarrollo sostenible a través de un instrumento de planificación para aumentar la resiliencia y la capacidad de adaptación al Cambio Climático, con enfoque de cuenca hidrográfica" (Alcaldía Municipal del Distrito Central, 2020, pág. 44).

Reglamento para la Reducción de Riesgo de Desastres del Distrito Central. Es este el primer reglamento creado por la AMDC en el 2017 que aborda los temas de RRD de manera específica, en primera instancia para regular las evaluaciones de riesgo para fines de obtener la licencia de construcción, pero se logra incorporar aspectos de cambios de transferencia de responsabilidad de los estudios especializados en que se basan las evaluaciones y contempla algunos cambios de uso de suelo para zonas de riesgo. El reglamento tiene como objetivo "establecer la normativa municipal orientada a la reducción del riesgo de desastres dentro de la geografía del Municipio del Distrito Central; en apego a los principios de la Reducción del Riesgo de Desastres, la adaptación al cambio climático y el ordenamiento del territorio" (Repúiblica de Honduras, 2017, pág. 4). Siendo este según su publicación por la República de Honduras de obligatorio cumplimiento para

todas aquellas personas naturales o jurídicas, ya sean públicas o privadas que se dedican principalmente a procesos constructivos o de operación y en donde se requieran evaluaciones de riesgo definidas tanto por la Municipalidad y/o el Gobierno Central, previo a la obtención de licencias, permisos o cualquier otro acto administrativo que emita la Alcaldía Municipal (pág. 4).

Manual para la Evaluación de Riesgo para el Emplazamiento y del Medio Construido. Es este el primer instrumento de carácter técnico que orienta las evaluaciones de riesgo en el MDC, elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD y actualizado en el 2013. De acuerdo al PNUD (2013) está estructurado en 2 etapas orientadas a la evaluación del riesgo; la primera corresponde a la evaluación preliminar y está dirigida a los profesionales que emiten los certificados de riesgo solicitados por la Alcaldía o entidades, la segunda corresponde al Anexo 3 "Términos de referencia para estudios especiales en zonas de movimientos de ladera; el cual incluye la metodología para realizar un estudio detallado de Riesgo (pág. 1). Además, Suárez en el manual afirma algo que es importante remarcar en el marco de esta investigación "Sin exposición no hay riesgo. La existencia o probabilidad de un evento físico potencialmente dañino constituye una amenaza únicamente cuando hay población o intervenciones sociales ubicadas en el área de influencia del evento" (pág. 5).

Proyectos e Iniciativas Municipales de Gestión Integral de Riesgo de Desastres. Complemento de la normativa legal de la GIRD resumidos en la Tabla 10 son aquellos proyectos que generan normativa especial de RRD e iniciativas que se vuelven normativa o parte de ella. La AMDC en los últimos años desarrolló un robusto esquema normativo y de inversión para complementar los instrumentos técnicos y normativos descritos en la sección anterior. A continuación, describiremos algunos de esos proyectos e iniciativas.

El Proyecto para el Control y Mitigación de Desastres en Laderas del Distrito Central. Como parte del acompañamiento que la JICA ha venido realizando en MDC, este proyecto según la Agencia de Cooperación Japonesa (2017) tiene como objetivo general realizar las acciones necesarias para el control y mitigación de los riesgos de desastres en laderas en el municipio del Distrito Central, cuyo resultado No. 4 es que se fortalece la capacidad de regular el ordenamiento territorial en las áreas en riesgo de desastres en laderas, es decir la creación de un reglamento para el ordenamiento territorial para zonas de régimen especial del DC, basado en el Plan de acción (pág. 7).

Programa de Adaptación Urbana al Cambio Climático en Centroamérica componente Honduras fase I y II. Una de las más importantes gestiones del gobierno local se traduce en este Programa en donde la Cooperación Alemana a través del Banco de Desarrollo Alemán Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) aprueba para el MDC una cooperación financiera No Reembolsable (donación) en dos fases simultaneas que suman 23 millones de euros. Según el KfW (2018) el objetivo general es la mitigación del riesgo de la población en zonas precarias del área metropolitana del MDC de Honduras anta inundaciones y deslizamientos, y dentro de sus alcances

esta la creación del Plan de Ordenamiento Territorial del MDC para garantizar el uso adecuado de los espacios en el área urbana, así como la actualización y creación de normativa para zonas no aptas para desarrollo urbano y construcción segura, mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y deslizamientos, además de estudios, modelos y escenarios de cambio climático (págs. 2, 4, 6, 13).

Comité Municipal de Datos Espaciales COMUDE. Como un esquema para oficializar los datos espaciales con que cuenta la AMDC y que sustentan diferentes normativas, la Corporación Municipal crea mediante Acuerdo No. 014 de fecha 13 de julio del 2017 el Comité Municipal de Datos Espaciales (COMUDE) y según la AMDC (2017) es una instancia dependiente del Despacho Municipal, con carácter permanente, cuyo propósito es administrar y coordinar el desarrollo, intercambio, revisión, validación, oficialización, el uso de datos y los servicios de información espacial a todo nivel de la AMDC (pág. 2). Este Comité en su reglamento de funcionamiento según el Acuerdo Municipal No. 015 del 13 de julio del 2017 indica que "las dependencias de la AMDC sean estas generadoras o usuarias de la información, deberán cumplir con los lineamientos que sean establecidos por el COMUDE, para los procesos de generación, adquisición y almacenamiento de datos, su manejo y procesamiento y análisis o estudios en los temas de Gestión del Riesgo de Desastres, Ordenamiento del Territorio, el Cambio Climático y cualquier otro que sea definido por este comité" (Alcaldía Municipal del Distrito Central, 2017, pág. 11).

Tabla 10. Proyectos e Iniciativas Municipales de Gestión Integral de Riesgo de Desastres

Proyectos e Iniciativas Municipales de Gestión Integral de Riesgo de Desastres	Proyecto para el Control y Mitigación de Desastres en Laderas del Distrito Central (JICA).
	Programa de Adaptación Urbana al Cambio Climático en Centroamérica componente Honduras fase I y II (KfW)
	Proyecto de Fortalecimiento de la AMDC para la Gestión del Cambio Climático ECA (KfW)
	Proyecto para fortalecer los servicios de Agua Potable de Tegucigalpa - Préstamo Banco Mundial CR-6460-HN
	Comité Municipal de Datos Espaciales COMUDE
	Sistema de Información Municipal sobre Estudios Territoriales SIMET-DC
	Mejoramiento del Sistema de Alerta Temprana SAT
	Actualización del Plan Municipal de Preparación y Respuesta.

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO III

Metodología de Investigación

En esta sección se aborda aspectos que nos darán los lineamientos necesarios para definir la metodología de la investigación, estos aspectos son; método, enfoque, técnica, fuentes, recursos y finalmente un análisis metodológico. Manifiesta Bastar que la metodología de la investigación es "la disciplina que se encarga del estudio crítico de los procedimientos, y medios aplicados por los seres humanos, que permiten alcanzar y crear el conocimiento en el campo de la investigación científica." (2012, pág. 12). La metodología servirá para elaborar los esquemas, procedimientos ordenados para describir los elementos que determinan la exposición a la amenaza por deslizamiento en los barrios y colonias del sector 9 del Municipio del MDC, se sistematizan las técnicas de recolección de datos para fortalecer las variables objeto de estudio para aportar al conocimiento del problema de los deslizamientos y como estos se relacionan con los periodos de retorno de las precipitaciones. Intentaremos aclarar estos conceptos metodológicos, así como las relaciones que existen entre ellos de una manera ordenada, clara y precisa, metodológicamente correcta y comprensible para lograr el objetivo principal, y que tenga una validez científica para obtener un aporte social.

Método

La investigación se fundamentó en el método; sin método no hay ciencia, no hay conocimiento científico. El método usado en la investigación que busca medir variables es el hipotético deductivo; este método es llamado "método de inferencia se basa en la lógica y estudia hechos particulares, aunque es deductivo en un sentido (parte de lo general a lo particular) e inductivo en sentido contrario (va de lo particular a lo general)". (Bernal, 2010, pág. 60). En esta investigación se hace uso de este método, porque mediante procedimientos metodológicos se parte una hipótesis que se contrasta con la realidad para aceptarse o rechazarse en un contexto determinado de aseveraciones, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos. Se realizó partiendo de conceptos generales que componen la temática de la gestión de riesgo de desastres, luego a detalle las variables de estudio y sus relaciones, para finalmente deducir que la exposición a la amenaza por deslizamiento tiene relación con los periodos de retorno de las precipitaciones en el área objeto de estudio.

Enfoque y Tipo

El enfoque se refiere al tipo de la investigación, el utilizado en esta investigación es el cuantitativo, "El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías." (Sampieri, et al; 2014, pág. 4). Esta investigación es carácter de medida

cuantitativa porque el orden es secuencial y apegado estricto, parte de una idea que se va acotando de donde se originan los objetivos y el resto de elementos, es decir que tiene un patrón predecible y estructurado, cuyo orden es riguroso.

Se realizó estableciendo la hipótesis y determinando variables; se traza un plan para probarlas; se midieron las variables, se analizaron las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrajo una serie de conclusiones con la observación de los elementos para evaluar la exposición a la amenaza por deslizamiento y los periodos de retorno de las precipitaciones, estas son variables cuantitativas porque pueden ser medidas.

La investigación aplicada es la que busca resolver los problemas que aquejan a una sociedad en particular, por lo que su justificación como investigación siempre es la relevancia social que presenta, además es propia en ella las investigaciones realizadas por todas las especialidades de la ingeniería, mercadólogos, financistas, psicólogos, trabajadores sociales, comunicadores sociales, pedagogos. (Barahona, 2009, pág. 80). Esta investigación es aplicada, porque busca entender la problemática que representan los deslizamientos en los barrios y colonias del sector 9 del MDC se basa en investigaciones básicas como por ejemplo estudios de deslizamiento en todo el territorio del MDC, las estadísticas socioeconómicas del sector 9; adicionalmente, también se utiliza toda la información disponible para la crear conocimiento que pueda transformando la sociedad en al área de estudio.

La investigación longitudinal, este se refiere a que; “en la investigación longitudinal se obtienen datos de la misma población en distintos momentos durante un período determinado, con la finalidad de examinar sus variaciones en el tiempo.” (Bernal, 2010, pág. 119). Esta investigación es longitudinal porque toma datos durante el periodo de estudio que está definido de 1979 al 2019, es decir 40 años. Se realizó mediante el análisis de la documentación acerca de las variables y su comportamiento durante ese periodo, así como la interrelación que puedan tener para ciertos momentos de interés que llamamos fechas de deslizamiento activo.

La investigación descriptiva conlleva a realizar una reseña de las características del fenómeno que es objeto de estudio. “Busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.” (Sampieri, et al; 2014, pág. 98). Esta investigación es descriptiva porque utilizó la interpretación concreta de la naturaleza del territorio del sector 9 del M. D. C. se trabaja con realidades del fenómeno de deslizamientos, este tipo de investigación nos permite mostrar las dimensiones de los fenómenos y situaciones con cierto grado precisión. Se realiza describiendo los conceptos relacionados con el título de la investigación, describiéndolos más allá de los conceptos textuales, con algunos detalles para mejor comprensión, una de las variables es la exposición y la componen varios elementos como ser; exposición física de edificaciones,

exposición física de infraestructura crítica y exposición humana las otras variables son la amenaza por deslizamiento y los periodos de retorno de las precipitaciones.

La investigación explicativa es aquella que analiza las causas y efectos de las variables estudiadas. Así expresa Sampieri, que ésta está dirigida a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables. (2014, pág. 98). Esta investigación es explicativa porque nos proporciona un sentido de entendimiento de los fenómenos relacionados como amenaza por deslizamiento, la exposición a la amenaza por deslizamiento y los periodos de retorno de las precipitaciones asociadas a los deslizamientos registrados; estos tres conceptos son ampliamente explicados para comprender como se constituyen y funcionan entre ellos.

La línea de investigación de esta tesis es la "Evaluación de riesgo de desastres" porque tiene como tema la evaluación de la exposición a la amenaza por deslizamiento y su relación con los periodos de retorno de las precipitaciones en los barrios y colonias del sector 9 del MDC de Honduras durante el periodo 1979-2019, y esta exposición es un elemento intrínseco del riesgo de desastres.

Variables

Por tratarse de una investigación cuantitativa, tal como se describió en el apartado de enfoque y tipo, se estudió y midió las siguientes variables:

1. Amenaza por deslizamiento
2. Exposición a la amenaza por deslizamiento
3. Periodos de retorno de las precipitaciones

Técnicas de Recolección

En las técnicas de recolección de datos cuantitativos, la recolección de información en la investigación se basa en instrumentos estandarizados, y según Sampieri los datos se obtienen por observación, medición y documentación, y otras técnicas, también se utilizan instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables en estudios previos o se generan nuevos basados en la revisión de la literatura y se prueban para ajustar las preguntas, ítems o indicadores utilizados son específicos con posibilidades de respuesta o categorías predeterminadas. (2014, pág. 12).

Las técnicas de esta investigación, son el conjunto de procedimientos e instrumentos que se emplearon para obtener información y conocimiento, definir los instrumentos es clave para obtener la información de manera clara y correcta en la investigación.

Para soportar los datos utilizados se hizo uso de las técnicas de recolección; bases de datos y revisión documental; y los instrumentos de recolección serán; mapas y hojas de cálculo, respectivamente.

Sistemas de información geográfica SIG, como técnica de recolección de base de datos permitió obtener datos geo referenciados, la AMDC manifiesta que es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real, que están vinculados a una referencia espacial. (2017, pág. 3). En la investigación se recolectaron diferentes bases de datos geo referenciados que tienen información localizada, para el caso de la amenaza por deslizamientos, el instrumento que se utilizó fue el mapa, la información espacial en digital en formato Shape, vectorial conformado por elementos, puntos, líneas o polígonos cada uno georreferenciado en el sistema cartesiano, y son capas de información que tiene tener atributos relacionados con las variables que fueron también los que se serán georreferenciados para el sector 9 del MDC.

La revisión documental, es la técnica de recolección mediante hojas de cálculo en formato Excel, que contienen la información que permite organizar y registrar datos de manera ordenada, sistemática y eficiente. En esta investigación se utilizó para la exposición a la amenaza por deslizamiento y periodo de retorno de las precipitaciones en donde se pudo incluir columnas para diferentes categorías de datos y filas para cada entrada de interés; además para los periodos de retorno de las precipitaciones se utilizó para aplicar comandos de funciones, gráficas y fórmulas para realizar cálculos que sirvieron de base para el análisis sobre los datos recolectados, lo que permitió realizar análisis, resultados, discusión y extraer conclusiones.

Fuentes y Recursos

Las fuentes primarias son todas aquellas que se obtienen por uno mismo por medio de diferentes esquemas. “Para que desarrolles la investigación es aconsejable localizar fuentes primarias, no basta solo que te fundamentes en la síntesis de otros investigadores sobre tesis escritas con anterioridad.” (Schmelkes & Elizondo, 2010, pág. 67). Esta investigación no hizo uso de información primaria, por motivos de inseguridad y violencia en la zona de estudio, lo cual imposibilitó ir a campo.

Las fuentes secundarias se obtuvieron mediante consultas a las instituciones que rectoran y están relacionadas con cada variable de la investigación. “Las fuentes de información secundaria es cuando se recurre a la revisión de documentos, archivos, fuentes de la historia como monedas, utensilios entre otros, que sirven para reconstruir un hecho determinado en una investigación científica.” (Barahona, 2009, pág. 110). En estas se basaron las dos técnicas de recolección; bases de datos y revisión documental.

Los recursos materiales utilizados en la investigación son los instrumentos y equipo a utilizar; computadora portátil con alta capacidad, impresora multifuncional y vehículo en buenas condiciones. Los recursos financieros utilizados en la investigación están compuestos por la fuente de financiamiento que es propia y el presupuesto que contiene las siguientes actividades;

honorarios profesionales estimado conforme al tiempo dedicado, materiales como ser; papelería, tinta impresiones, bibliografía compra de documentos, incluyendo bases de datos, servicios técnicos como ser; impresiones de mapas, finalmente imprevistos del 10% del total. Este presupuesto será de aproximadamente 100,000 Lempiras.

Análisis de la Metodología

La investigación se realizó en al área geográfica que corresponde a los barrios y colonias del sector 9 del MDC de Honduras. En donde se evaluó la exposición a la amenaza por deslizamiento y su relación con los periodos de retorno de las precipitaciones en los deslizamientos activos en el sector 9 del MDC, analizando un periodo del 1979 al 2019.

Para efectos de esta investigación se tienen las siguientes consideraciones que ya sea por motivos de existencia de información oficial, accesibilidad a las comunidades y seguridad personal, se determinó:

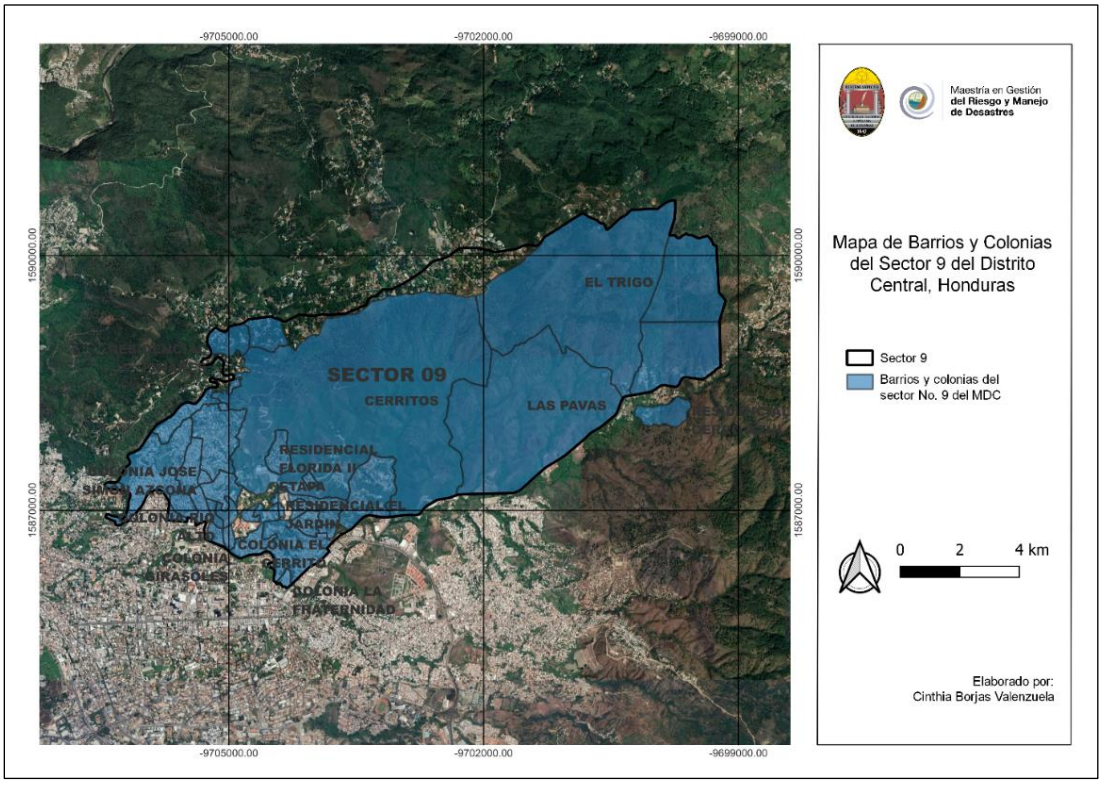
1. Que se estudiaran los barrios y colonias del sector 9 del MDC que son intersectados por al menos un polígono de deslizamiento en el Mapa Consolidado de los 3 mapas: (i) Multiamenaza (amenaza a movimiento de ladera) del DC, (ii) Actualizado de inventario de deslizamientos del DC y (iii) Actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del DC; debidamente identificado de acuerdo a la revisión de fuentes oficiales existentes. Los cuales llamaremos barrios y colonias susceptibles a deslizamientos.
2. A partir de los barrios y colonias susceptibles a deslizamientos contenidos en el Mapa consolidado de los 3 mapas, se estudiarán los barrios y colonias del sector 9 del MDC que tenga por lo menos un registro de deslizamiento, de acuerdo a la verificación de fuentes oficiales existentes. Los cuales llamaremos “deslizamientos registrados”.
3. Se realizará un cruce de información entre los barrios y colonias susceptibles a deslizamientos y los deslizamientos registrados, para obtener los polígonos, de los barrios y colonias que tienen ambos aspectos. Esos los llamaremos barrios y colonias con “deslizamientos activos”.
4. Para efectos del cálculo de la exposición se asumirá que la información socioeconómica, se distribuye de manera homogénea espacialmente en los polígonos de cada barrio y colonia.
5. La investigación se desarrolló en las siguientes etapas; a) recopilación de la información, b) definición del área de estudio, c) identificación de la amenaza y susceptibilidad e inventario de deslizamientos, d) creación del registro de deslizamientos, e) definición de los deslizamientos activos, f) clasificación de la exposición, g) cálculo de la probabilidad de excedencia, h) cálculo de los periodos de retorno y i) definición de la relación de la exposición con la probabilidad de excedencia y periodos de retorno.

Recopilación de la Información. Se comenzará recopilando y enriqueciendo la bibliografía referente a las variables identificadas; amenaza por deslizamiento, exposición a la amenaza por deslizamiento y periodo de retorno de las precipitaciones, en las fuentes oficiales y las instituciones responsables de la temática de cada variable.

La recopilación de información en diferentes formatos; físicos, digitales, audiovisuales, formatos de información georreferenciada deberán ser oficiales, científicos y veraces; este será un punto de partida importante y determinante para el desarrollo de la investigación. Se organizará la información física en un lugar determinado, de manera tal que se pueda acudir a ella con facilidad cuando se necesite, también la información digital en carpetas y que se crearan en la computadora un folder llamado bibliografía de tesis.

Definición del área de estudio. Son los barrios y colonias del sector 9 del MDC el área de estudio que se detalló en la Tabla 1 y con los GIS y Excel obtenidos de la AMDC se elaboró el respectivo mapa de la Figura 19 con la localización y el listado en la Tabla 11 que muestra el listado de todos los barrios y colonias del sector 9.

Figura 19. Mapa de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



Nota. Elaboración propia

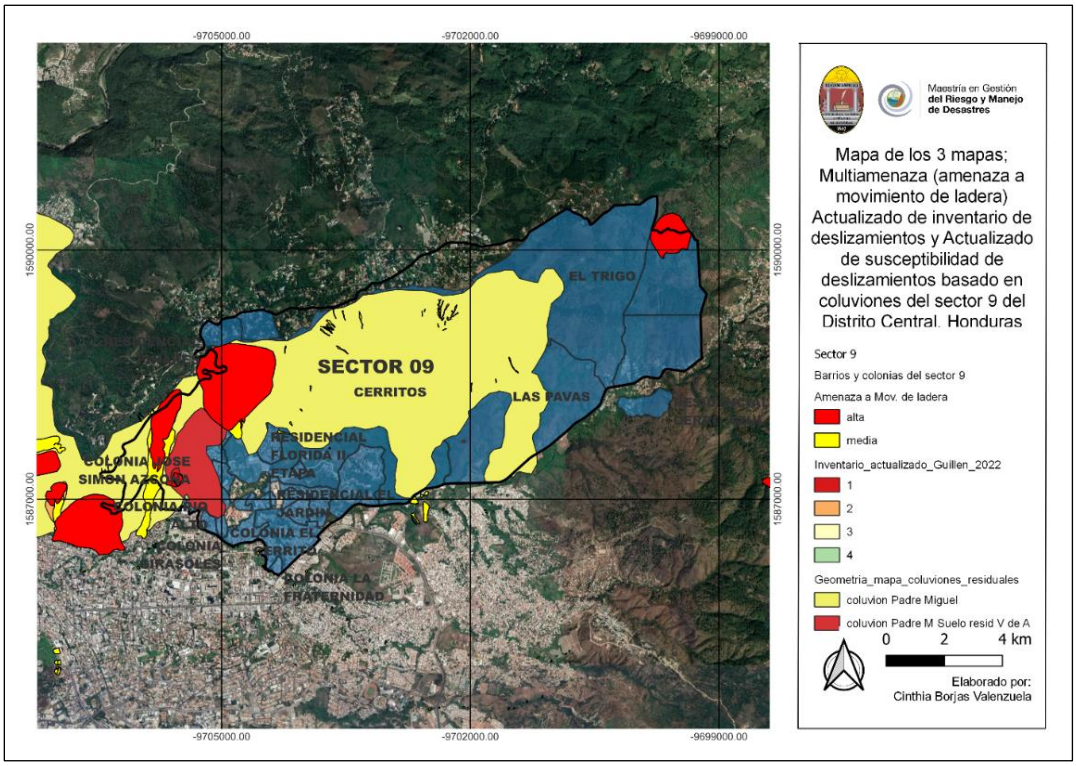
Tabla 11. Barrios y colonias del Sector 9 del MDC

No.	Nombre del Barrio o Colonia
1	Res. Rafael Bardales Bueso Inprema /Col Rio Alto
2	21 De Octubre
3	Bolívar
4	Camino Al Hatillo
5	Canaán
6	Cerritos
7	Col Nueva Santa Rosa
8	El Chimbo
9	El Piliguín (Colonia El Trigo)
10	El Reparto
11	El Rincón
12	El Trigo
13	Fernando Calderón
14	Girasoles
15	Guillen
16	Independencia Portillo
17	Jardín
18	José Simón Azcona
19	La Florida
20	La Joya
21	La Leona Del Rincón
22	La Tigra
23	Las Joyas
24	Las Pavas
25	Lomas De Las Minitas
26	Marichal
27	Modesto Rodas Alvarado
28	Reparto Por Arriba
29	Reparto Por Bajo
30	Res. Pinares
31	Res. Villa Delmy
32	Rio Alto 2004
33	Sabana Del Rincón
34	Santa Margarita
35	Sitio Arriba
36	Suazo Córdoba
37	Villa Delmy
38	Villa La Estanzuela
39	Villa Santa Margarita
40	Villas Del Rio

Nota. Elaboración propia

Identificación de la amenaza y susceptibilidad e inventario de deslizamientos. La amenaza y susceptibilidad se analizó mediante la unión de los 3 mapas ilustrados en la Figura 20: (i) Mapa multiamenaza (amenaza a movimientos de ladera) del Distrito Central el cual contiene niveles de amenaza por deslizamientos de ladera en alta y media; (ii) Mapa actualizado de inventario de deslizamientos del Distrito Central, el cual fue elaborado mediante el análisis de los diferentes mapas e inventarios (Suárez & Cuesta, 2020); Lotti de 1987, JICA del 2002, USGS del 2002, UPI/JICA del 2014 y mapeos realizados por el PNUD en el 2011 expuesto en la Figura 4, que concluyó en un inventarios con 28 deslizamientos rotacionales y traslacionales que ocurrieron principalmente en depósitos de coluvión y suelos residuales, y que contiene la actividad del deslizamiento clasificada como alta, media y baja (Figura 5) y (iii) Mapa actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del Distrito Central (Suárez & Cuesta, 2020) en donde se concluyó que los deslizamientos activos se concentran en áreas específicas del DC y estas coinciden con áreas con suelos de tipo coluvión y suelos residuales, expuesto en la Figura 6, en donde la división en categorías de susceptibilidad alta media y baja, evidenció que el coluvión del Grupo Padre Miguel tiene menor susceptibilidad que los otros coluviones, y esto confirmó que la presencia de suelos de tipo coluvión y suelos residuales es válida para explicar la ocurrencia de deslizamientos en el MDC. La Figura 21 muestra el consolidado de los 3 mapas.

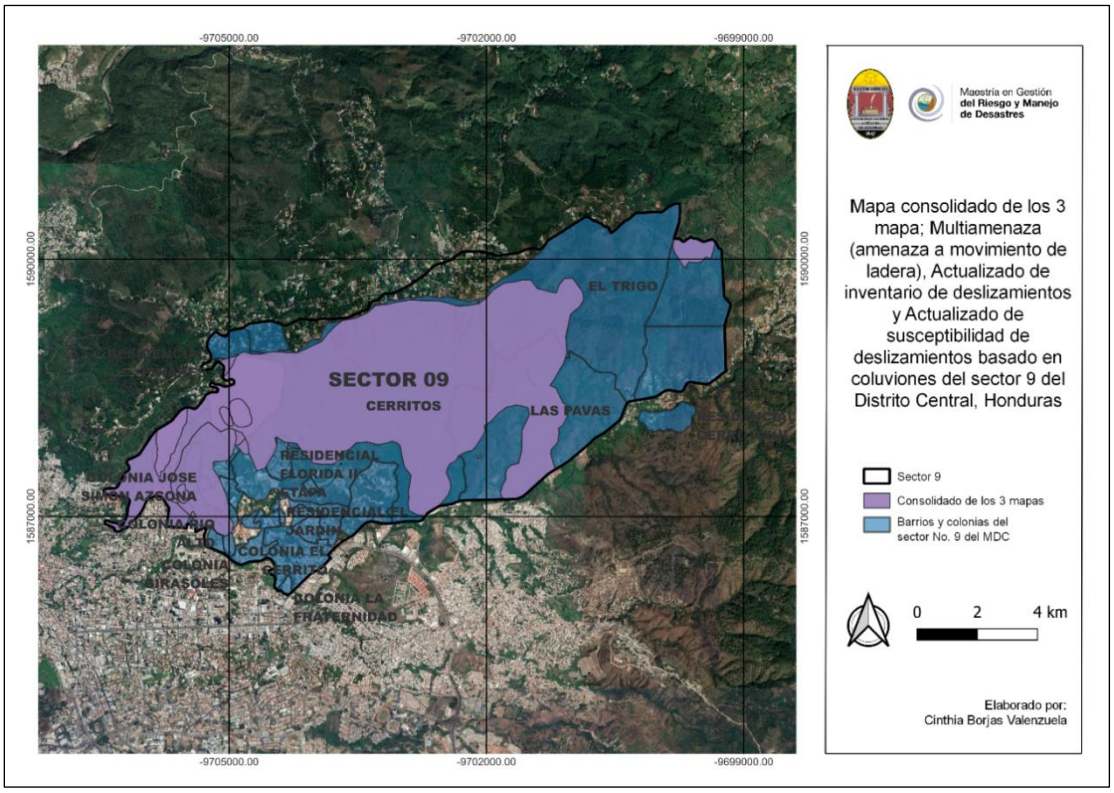
Figura 20. Mapa de los 3 mapas; Multiamenaza (amenaza a movimiento de ladera) Actualizado de inventario de deslizamientos y Actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del sector 9 del MDC



Nota. Elaboración propia

Los barrios y colonias susceptibles a deslizamientos resultan del análisis de aquellos barrios y colonias mostrados en la Figura 19 que son intersectados parcialmente por al menos un polígono del Mapa consolidado (Figura 21), por lo cual se creó la Tabla 12 donde se encontraron 20 barrios y colonias susceptibles a deslizamiento. De manera tal que, se definieron aquellos barrios y colonias susceptibles a deslizamientos las que se muestran en el mapa de la Figura 22, con este análisis se elaboró la Tabla 12 en donde existen 20 barrios y colonias susceptibles a deslizamientos.

Figura 21. Mapa consolidado de los 3 mapas; Multiamenaza (amenaza a movimiento de ladera) Actualizado de inventario de deslizamientos y Actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del sector 9 del MDC



Nota. Elaboración propia

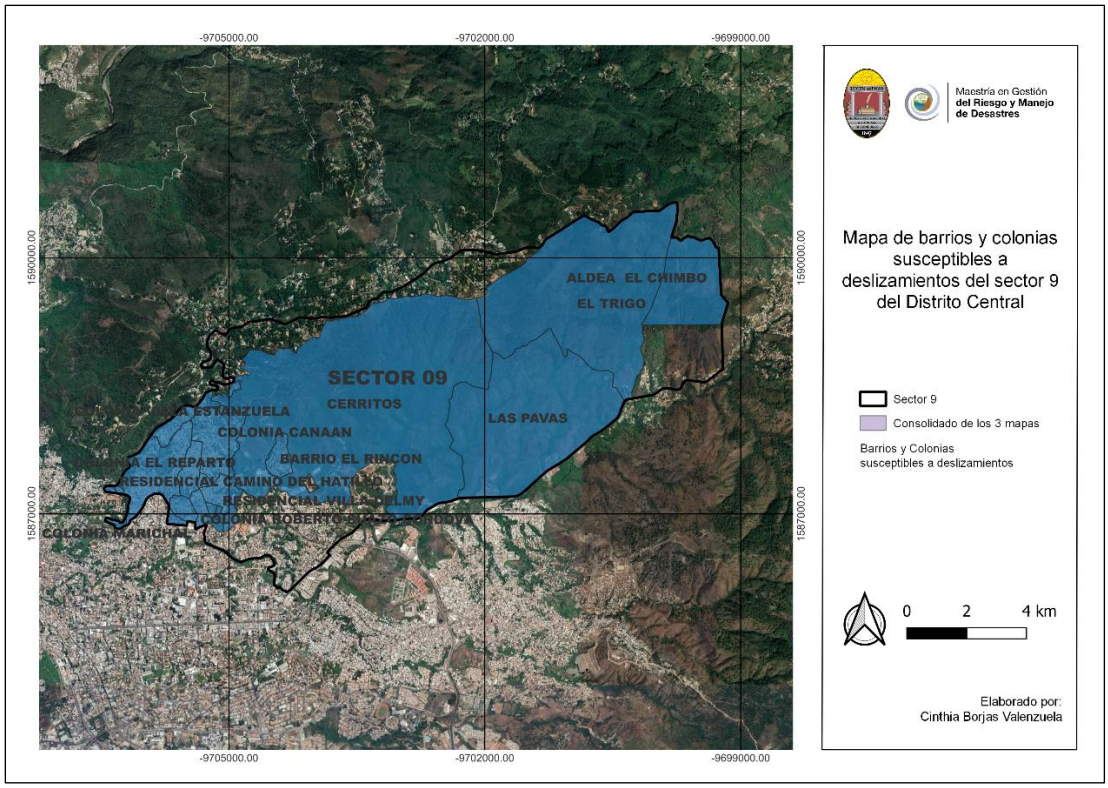
Tabla 12. Barrios y colonias susceptibles a deslizamientos del sector 9 del MDC

No.	Barrio o Colonia
1	Aldea El Chimbo
2	Barrio El Rincon
3	Cerritos
4	Colonia Canaan
5	Colonia El Mirador
6	Colonia El Reparto
7	Colonia Guillen

8	Colonia Jose Simon Azcona
9	Colonia Marichal
10	Colonia Nueva Santa Rosa
11	Colonia Rio Alto
12	Colonia Roberto Suazo Cordova
13	Colonia Vieja Santa Rosa
14	Colonia Villa Estanzuela
15	Condominios Monte Vista
16	El Trigo
17	Las Pavas
18	Propiedad de Cohdefor
19	Residencial Camino del Hatillo
20	Residencial Villa Delmy

Nota. Elaboración propia

Figura 22. Mapa de barrios y colonias susceptibles a deslizamientos del sector 9 del MDC



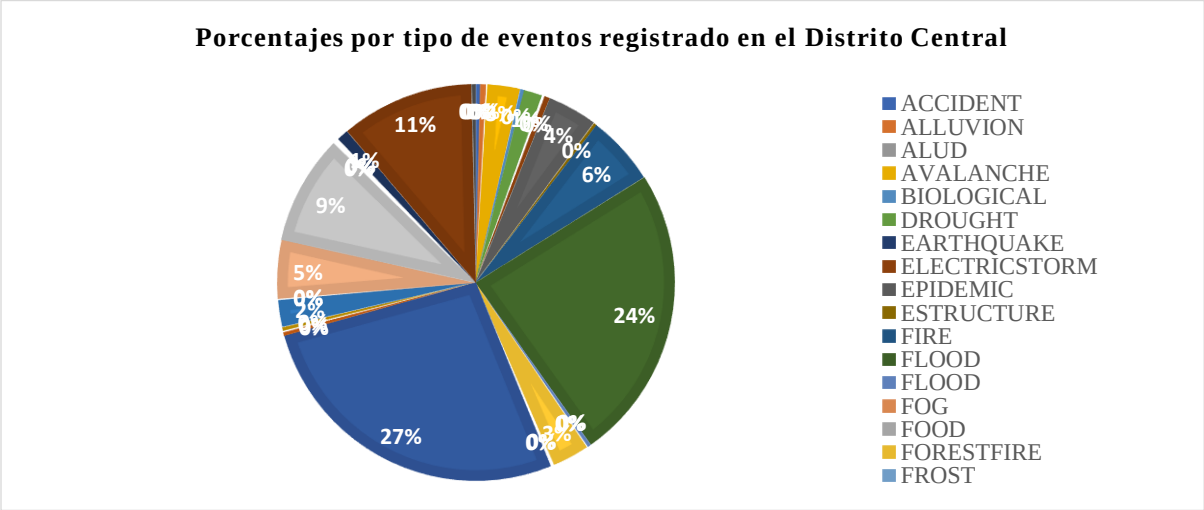
Nota. Elaboración propia

Creación del registro de deslizamientos. Se realizó una Tabla de registro de eventos ocurrido en el MDC provenientes de fuentes oficiales y veraces como la AMDC-Desinventar, la cual sirvió de formato para agregar las demás fuentes, procurando que estas tuvieran como mínimo; barrio y colonia, evento de deslizamiento y fecha del evento de deslizamiento. Las fechas en donde se obtuvo registros fueron entre 1905 y 2022, siendo un total consolidado de 2,429 eventos ocurridos y registrados en el MDC mostrados en el Anexo1 en digital, de los cuales 659 son deslizamientos. Las fuentes utilizadas fueron;

1. AMDC-Desinventar
2. UNAH-Desinventar
3. CODEM
4. Reporte de ticket diario CODEM
5. Línea 100 CODEM
6. Afectaciones ETA y afectaciones IOTA
7. USGS
8. Periódicos El Heraldo y La Tribuna

El Gráfico 2 fue realizado a partir del Anexo 1 en digital, es decir con todos los datos de eventos registrados del MDC, da como resultado que el 27% son deslizamientos, seguido por el 24% de Inundación y 11% Estructural. Encontrándose que algunos barrios y colonias susceptibles a deslizamientos del sector 9 no tenían registro de evento registrado; Cerritos, Colonia El Mirador, Colonia Rio Alto, Colonia Villa Estanzuela, Condominios Monte Vista y Propiedad de Cohdefor. La Tabla 13 muestra el listado 14 barrios y colonias del sector 9 con “deslizamientos registrados” para el periodo de 1979-2019, elaborado a partir del listado de 20 barrios y colonias susceptibles a deslizamientos.

Gráfico 2. Porcentajes por tipo de evento registrados en el Distrito Central durante 1905-2022



Nota. Elaboración propia

Tabla 13. Barrios y colonias con deslizamientos registrados para el periodo de 1979-2019 del sector 9 del MDC

No.	Barrio o Colonia
1	Aldea El Chimbo
2	Barrio El Rincón
3	Colonia Canaán
4	Colonia El Reparto
5	Colonia Guillen
6	Colonia José Simón Azcona
7	Colonia Marichal
8	Colonia Nueva Santa Rosa
9	Colonia Roberto Suazo Córdova
10	Colonia Vieja Santa Rosa
11	El Trigo
12	Las Pavas
13	Residencial Camino del Hatillo
14	Residencial Villa Delmy

Nota. Elaboración propia

Definición de los deslizamientos activos. Es así como se realizó un listado por barrio y colonia susceptibles a deslizamientos y las fechas de eventos de "deslizamientos registrados", el Anexo 2 muestra estas fechas que serán las de interés. Esto con el objetivo de establecer los barrios y colonias con "deslizamientos activos", en la Tabla 14 se resumen por número de eventos de deslizamientos encontrados por barrio o colonia susceptible a deslizamiento, estos definidos anteriormente, son aquellos que son susceptibles a deslizamientos y han tenido actividad de movimiento en un periodo reciente. Siendo un total de 14 barrios y colonias que contienen "deslizamientos activos" en el sector 9 para el periodo de 1979-2019.

Tabla 14. Barrios y colonias con número de eventos de deslizamientos activos del sector 9 del MDC

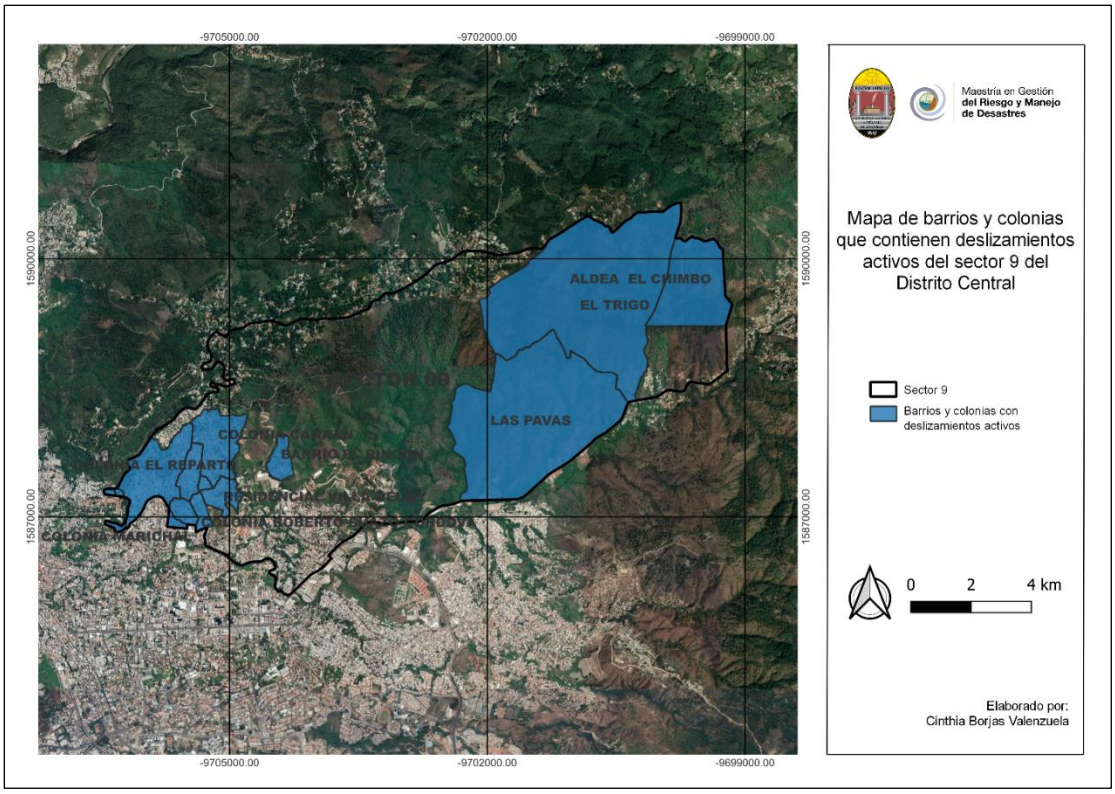
No.	Barrio o Colonia	No. de Eventos
1	Aldea El Chimbo	7
2	Barrio El Rincón	3
3	Colonia Canaán	18
4	Colonia El Reparto	53
5	Colonia Guillen	5
6	Colonia José Simón Azcona	1
7	Colonia Marichal	1
8	Colonia Nueva Santa Rosa	7
9	Colonia Roberto Suazo Córdova	5
10	Colonia Vieja Santa Rosa	1

11	El Trigo	1
12	Las Pavas	1
13	Residencial Camino del Hatillo	1
14	Residencial Villa Delmy	2

Nota. Elaboración propia

Los deslizamientos activos en el sector 9 como se explicó anteriormente, son aquellos que se encuentran que se encuentran en barrios y colonias susceptibles a deslizamientos y han tenido actividad de movimiento en un periodo reciente debidamente registrado, como se muestra en la Figura 23 barrios y colonias del sector 9 que contienen deslizamientos activos para fines de esta investigación se encontraron 14 barrios y colonias. Vale la pena mencionar que se pasó de 40 barrios y colonias en total para el sector 9, a 14 barrios y colonias con deslizamientos registrados (deslizamientos activos).

Figura 23. Mapa de barrios y colonias que contienen deslizamientos activos del sector 9 del MDC



Nota. Elaboración propia

Clasificación de la exposición. La información socioeconómica de los barrios y colonias del sector 9 se muestra en el Anexo 3. Esta fue obtenida en el 2021 por el Instituto de desarrollo Municipal IDEM de la AMDC, y contiene los datos que serán ordenados según la clasificación de la exposición explicada anteriormente y descrita en la Tabla 7. La Tabla 15 se elaboró con dicha información de los barrios y colonias del sector 9 que contienen deslizamientos activos, aclarando que 6 de ellos; Aldea El Chimbo, Colonia Marichal, Colonia Vieja Santa Rosa, El Trigo, Las Pavas y Residencial Camino del Hatillo no tenían información socioeconómica u otra información sobre las edificaciones o instalaciones, tampoco fue posible encontrar una fuente que tuviera información de las edificaciones de la administración pública en el DC, además se creó la categoría Edificaciones de uso social, y también se separó una categoría en dos; en Edificaciones instalaciones de agua potable y Edificaciones e instalaciones de saneamiento. Es así como se tienen 8 barrios y colonias con información de exposición.

Esta información socioeconómica fue elaborada a partir de la fuente mencionada anteriormente y se ilustra en la Figura 24, por lo que, para efectos de esta investigación y la tabulación de las edificaciones, se realizaron las siguientes determinaciones:

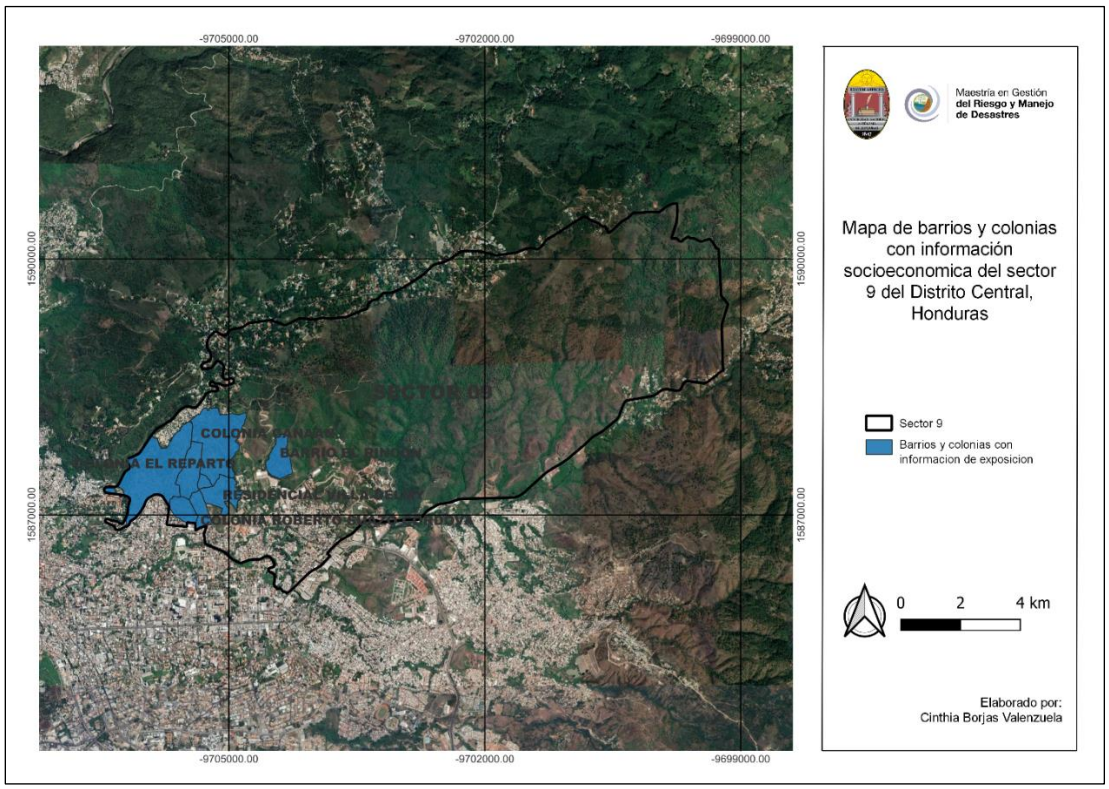
1. Edificaciones de uso residencial. Se refiere al número de viviendas.
2. Población. Se refiere al número total de personas.
3. Edificaciones de asistencia de salud. Se refiere al número de centros de salud.
4. Edificaciones de centros educativos. Se refiere al número de centros educativos.
5. Edificaciones de uso social. Esta categoría se agregó, y se refiere al número de iglesias.
6. Edificaciones de uso comercial. Se refiere al número de comercios.
7. Edificaciones o Instalaciones industriales. Se refiere al número de comercios de tipo; bodegas, recicladoras, talleres de carpintería, enderezado, motos, electrónica y mecánica.
8. Instalaciones de agua potable. Esta categoría se segregó de otra, y se refiere al porcentaje de agua distribuida por acueducto.
9. Instalaciones de saneamiento. Esta categoría se segregó de otra, y se refiere al porcentaje total de alcantarillado.
10. Edificaciones o Instalaciones de energía. Se refiere al porcentaje de electricidad.
11. Edificaciones o Instalaciones de trasporte. Se refiere al porcentaje de trasporte público sean estos buses urbanos o taxis colectivos.
12. Edificaciones o Instalaciones telecomunicaciones. Se refiere al porcentaje de telefonía, Tv cable e internet.

Tabla 15. Información socioeconómica de los barrios y colonias del sector 9 que contienen deslizamientos activos

No.	Barrio o Colonia	Área en metros cuadrados (km2)	Exposición física de edificaciones	Exposición humana	Exposición física de infraestructura crítica									
			Edificaciones de uso residencial	Población	Edificaciones de asistencia de salud	Edificaciones de centros educativos	Edificaciones de Social	Edificaciones de uso comercial	Edificaciones industriales	Instalaciones de agua potable	Instalaciones de saneamiento	Instalaciones de energía	Instalaciones de trasporte	Edificaciones Instalaciones telecomunicaciones
1	Barrio El Rincón	0.10070652	50	250	0	0	0	2	0	0%	100 %	100 %	100 %	100 %
2	Colonia Canaán	0.34467864	2500	10000	1	3	9	19	0	0%	0%	100 %	100 %	0%
3	Colonia El Reparto	0.46988701	1390	6925	0	4	5	33	2	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
4	Colonia Guillen	0.11947806	636	3180	0	2	3	32	1	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
5	Colonia José Simón Azcona	0.01875291	250	1000	0	1	2	9	0	100 %	100 %	100 %	0%	100 %
6	Colonia Nueva Santa Rosa	0.06675049	249	996	0	0	0	15	1	100 %	100 %	100 %	100 %	41 %
7	Colonia Roberto Suazo Córdova	0.06052155	450	2250	0	2	0	10	0	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
8	Residencial Villa Delmy	0.11916553	190	950	0	1	2	10	0	100 %	100 %	100 %	0%	100 %

Nota. Elaboración propia

Figura 24. Mapa de barrios y colonias con información socioeconómica del sector 9 del MDC



Nota. Elaboración propia

Para el cálculo de la exposición como tal, se realizaron algunas estimaciones a partir de las áreas totales de cada barrio y colonia, la información socioeconómica y el área afectada por el polígono consolidado de los 3 mapas, que se resumen en la Tabla 16. Estos son:

1. Se calculó la densidad promedio de vivienda, dividiendo el número de edificaciones de uso residencial entre el área de cada polígono de barrio o colonia dividiendo el número de viviendas entre el área entre kilómetro cuadrado de cada polígono de barrio o colonia., y de igual manera se calculó la densidad de población promedio de cada barrio y colonia dividiendo el número de personas entre el área entre kilómetro cuadrado de cada polígono de barrio o colonia.
2. Se calculó para las edificaciones de asistencia de salud, centros de educación, uso social, uso comercial y uso industrial las proporciones por kilómetro cuadrado, dividiendo las cantidades de estos entre el área entre kilómetro cuadrado de cada polígono de barrio o colonia.
3. Se calculó para las instalaciones de agua potable, saneamiento, energía, trasporte y telecomunicaciones los porcentajes de estos por metro cuadrado, dividiendo los porcentajes de estos entre el área entre kilómetro cuadrado de cada polígono de barrio o colonia.

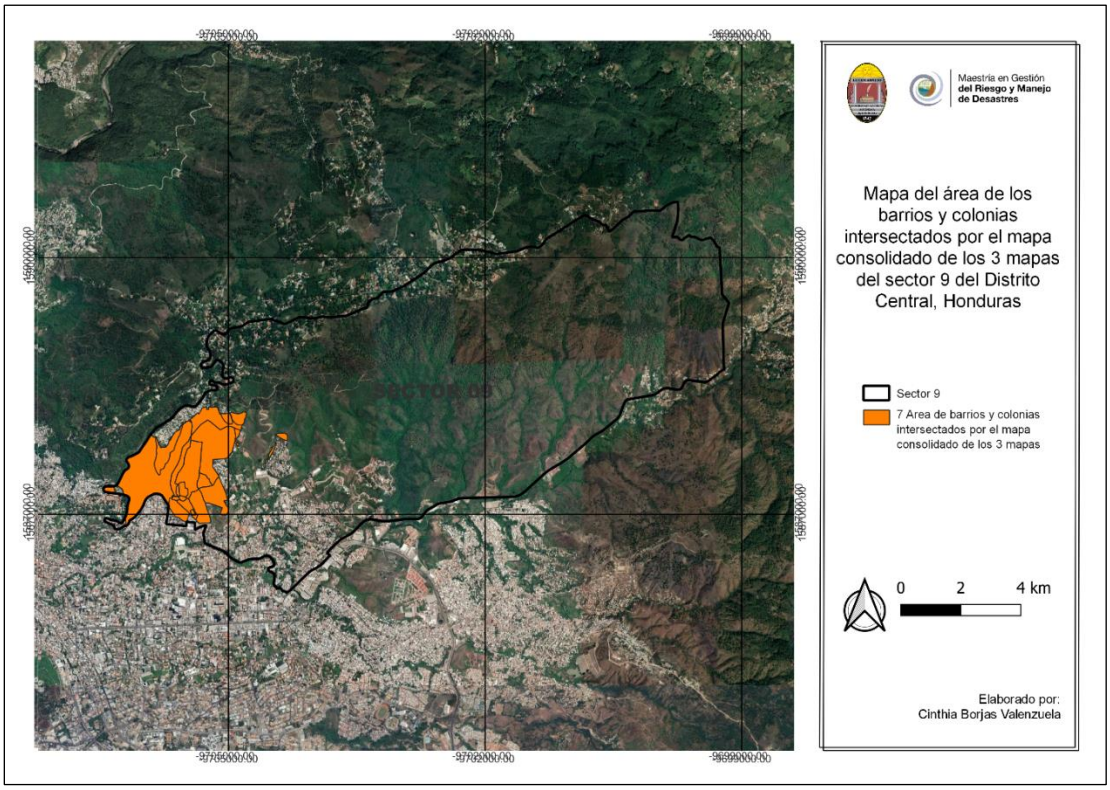
Tabla 16. Densidades, proporciones y porcentajes promedio de la información socioeconómica de los barrios y colonias del sector 9 del MDC

No.	Barrio o Colonia	Área en kilómetros cuadrados (km2)	Densidad promedio viviendas / km2	Densidad promedio personas / km2	Asistencia de salud / km2	Centros educativos / km2	Uso social / km2	Comercios / km2	Industrias / km2	% Instalaciones agua potable / km2	% saneamiento / km2	% Instalaciones energía / km2	% Instalaciones transporte / km2	% Instalaciones telecomunicaciones / km2
1	**Barrio El Rincón**	0.1007 0652	496.4 9	2482. 46	0	0	0	19. 86	0	0	9.92 984	9.92 984	9.92 984	9.92 984
2	**Colonia Canaán**	0.3446 7864	7253. 13	2901 2.53	2. 9	8.7 04	26 .1	55. 12	0	0	0	2.90 125	2.90 125	0
3	**Colonia El Reparto**	0.4698 8701	2958. 16	1473 7.59	0	8.5 13	10 .6	70. 23	4. 26	2.128 171	2.12 817	2.12 817	2.12 817	2.12 817
4	**Colonia Guillen**	0.1194 7806	5323. 15	2661 5.77	0	16. 74	25 .1	26 7.8	8. 37	8.369 738	8.36 974	8.36 974	8.36 974	8.36 974
5	**Colonia José Simón Azcona**	0.0187 5291	1333 1.26	5332 5.06	0	53. 33	10 7	47 9.9	0	53.32 506	53.3 251	53.3 251	0	53.3 251
6	**Colonia Nueva Santa Rosa**	0.0667 5049	3730. 31	1492 1.24	0	0	0	22 4.7	15	14.98 116	14.9 812	14.9 812	14.9 812	6.14 228
7	**Colonia Roberto Suazo Córdova**	0.0605 2155	7435. 37	3717 6.84	0	33. 05	0	16 5.2	0	16.52 304	16.5 23	16.5 23	16.5 23	16.5 23
8	**Residencial Villa Delmy**	0.1191 6553	1594. 42	7972. 10	0	8.3 92	16 .8	83. 92	0	8.391 688	8.39 169	8.39 169	0	8.39 169

Nota. Elaboración propia

Asimismo, se elaboró la Tabla 17 con del área de los barrios y colonias del sector 9 intersectados por el mapa consolidado de los 3 mapas; Multiamenaza (amenaza a movimiento de ladera) Actualizado de inventario de deslizamientos y Actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del Distrito Central, las Figuras 21 y 24 muestran los mapas utilizados para este análisis. Es decir, se estimó el área de los barrios y colonias con deslizamientos que contienen información socioeconómica, mostrada en la Tabla 15, que es intersectada por el mapa consolidado de los 3 mapas; Multiamenaza (amenaza a movimiento de ladera) del DC, Actualizado de inventario de deslizamientos del DC y Actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del DC.

Figura 25. Mapa del área de los barrios y colonias del sector 9 intersectados por el mapa consolidado de los 3 mapas



Nota. Elaboración propia

La Tabla 17 muestra que los polígonos del mapa de los barrios y colonias del sector 9 intersectados por el mapa consolidado de los 3 mapas de la Figura 25 están superpuestos, es decir que algunos barrios y colonias son intersectados por más de una capa de los 3 mapas, por lo que fue necesario unir los polígonos en uno solo, como se ilustra en la Figura 26.

Tabla 17. Áreas del mapa de los barrios y colonias del sector 9 intersectados por el mapa consolidado de los 3 mapas

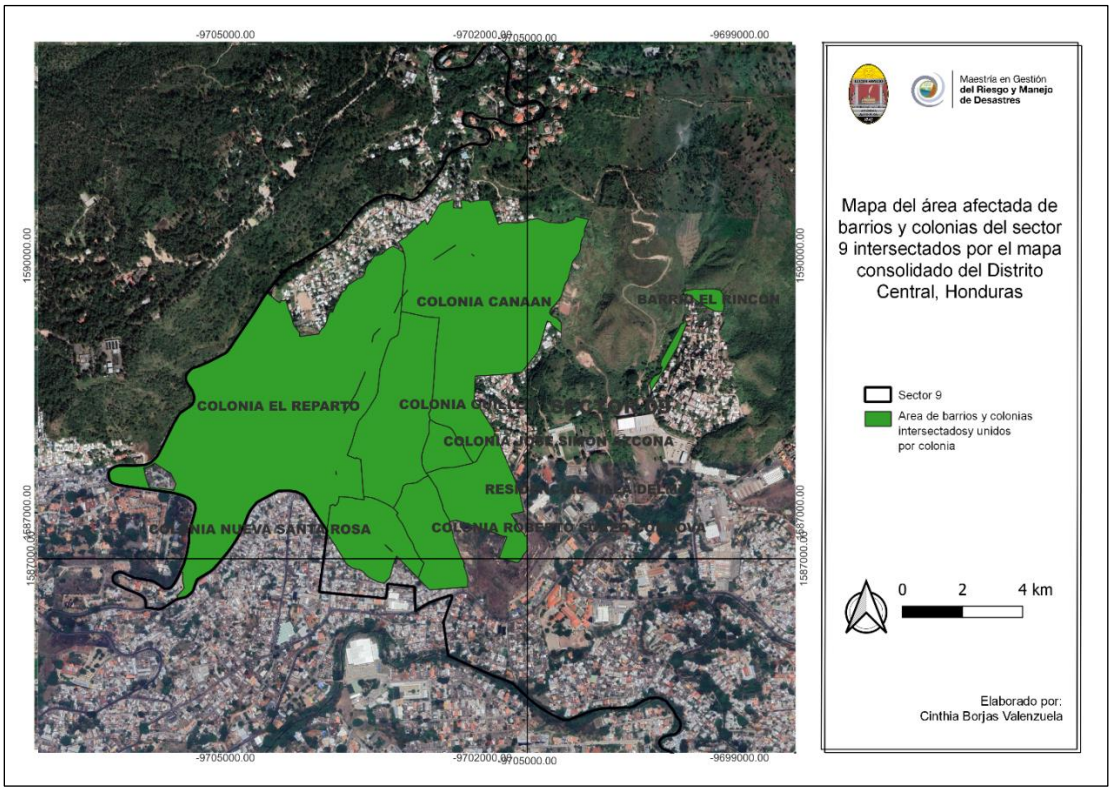
Barrio O Colonia	Area_m2	Definición	Volumen_m3	Amenaza	Desc_Tipo	Area m2	Área(m2)	Actividad	Área Afectada km2
Barrio El Rincón	5990.55	movimiento ladera	11981.1	media					8.33408E-05
Barrio El Rincón					coluvión Padre Miguel	1169 3853			0.011708172
Colonia Canaán	25891.71	movimiento la	51783.42	alta					0.096607329
Colonia Canaán	5990.55	movimiento ladera	11981.1	media					0.000851992
Colonia Canaán					coluvión Padre Miguel	1169 3853			0.10293291

Colonia Canaán					coluvión Padre Miguel Suelo residual Valle de Ángeles	580271			0.189890391
Colonia Canaán							60806.99066	1	0.018609539
Colonia Canaán							20190.34009	1	0.010783853
Colonia El Reparto	25891.71	movimiento la	51783.42	alta					0.077129971
Colonia El Reparto	5990.55	movimiento ladera	11981.1	media					0.074999985
Colonia El Reparto					coluvión Padre Miguel	11693853			0.429352008
Colonia El Reparto					coluvión Padre Miguel Suelo residual Valle de Ángeles	580271			0.040931579
Colonia El Reparto							153400.1354	2	0.058254319
Colonia El Reparto							20783.89606	1	0.003875049
Colonia Guillen	25891.71	movimiento la	51783.42	alta					0.008917107
Colonia Guillen					coluvión Padre Miguel Suelo residual Valle de Ángeles	580271			0.119572515
Colonia Guillen							20783.89606	1	0.013240226
Colonia José Simón Azcona					coluvión Padre Miguel Suelo residual Valle de Ángeles	580271			0.01876774
Colonia Nueva Santa Rosa	25891.71	movimiento la	51783.42	alta					0.007144206
Colonia Nueva Santa Rosa					coluvión Padre Miguel	11693853			0.034317002
Colonia Nueva Santa Rosa					coluvión Padre Miguel Suelo residual Valle de Ángeles	580271			0.026381347
Colonia Nueva Santa Rosa							2310.00043	4	0.002311827
Colonia Nueva							3071.43958	2	0.003073867

Santa Rosa					
Colonia Nueva Santa Rosa			20783.89606	1	0.00368505
Colonia Roberto Suazo Córdova	coluvión Padre Miguel Suelo residual Valle de Ángeles	580271			0.053383153
Residencial Villa Delmy	coluvión Padre Miguel Suelo residual Valle de Ángeles	580271			0.069084155

Nota. Elaboración propia

Figura 26. Área afectada de barrios y colonias del sector 9 intersectados por el mapa consolidado



Nota. Elaboración propia

Es así como se obtuvieron las áreas afectadas (intersectadas) por el mapa consolidado para cada barrio y colonia del sector 9, la Tabla 18 muestra los porcentajes respecto al área total de cada uno de ellos.

Tabla 18. Porcentaje de afectación por deslizamientos de los barrios y colonias con deslizamientos activos del sector 9 del MDC

No.	Barrio o Colonia	Área en kilómetros cuadrados (km2)	Área intersectada por el mapa consolidado (km2)	Porcentaje de afectación
1	Barrio El Rincón	0.10070652	0.01179151	11.71%
2	Colonia Canaán	0.34467864	0.2990393	86.76%
3	Colonia El Reparto	0.47021591	0.47021591	100.00%
4	Colonia Guillen	0.11957252	0.11957252	100.00%
5	Colonia José Simón Azcona	0.01876774	0.01876774	100.00%
6	Colonia Nueva Santa Rosa	0.06675049	0.06064021	90.85%
7	Colonia Roberto Suazo Córdova	0.06052155	0.05338315	88.21%
8	Residencial Villa Delmy	0.11916553	0.06908415	57.97%

Nota. Elaboración propia

Finalmente, en la Tabla 19 se muestra el cálculo de la exposición de los barrios y colonias con deslizamientos activos en el sector 9 del MD, como resultado de las estimaciones que se resumen en las Tablas 16 y 18. La exposición se analizó utilizando las densidades, cantidades y porcentajes promedio de la información socioeconómica por kilómetro cuadrado (km2), y las áreas afectadas por el mapa consolidado en km2.

Tabla 19. Exposición de los barrios y colonias con deslizamientos activos en el sector 9 del MDC

No.	Barrio o Colonia	Edificaciones de uso residencial	Población	Edificaciones de asistencia de	Edificaciones de centros educativos	Edificaciones de Social	Edificaciones de uso comercial	Edificaciones industriales	Instalaciones de agua potable	Instalaciones de saneamiento	Instalaciones de energía	Instalaciones de trasporte	Instalaciones telecomunicacione
1	Barrio El Rincón	6	29	0	0	0	0	0	0%	12%	12%	12%	12%
2	Colonia Canaán	2169	8676	1	3	8	16	0	0%	0%	87%	87%	0%
3	Colonia El Reparto	1391	6930	0	4	5	33	2	100%	100%	100%	100%	100%
4	Colonia Guillen	637	3183	0	2	3	32	1	100%	100%	100%	100%	100%
5	Colonia José Simón Azcona	250	1001	0	1	2	9	0	100%	100%	100%	0%	100%
6	Colonia Nueva Santa Rosa	226	905	0	0	0	14	1	91%	91%	91%	91%	37%
7	Colonia Roberto Suazo Córdova	397	1985	0	2	0	9	0	88%	88%	88%	88%	88%
8	Residencial Villa Delmy	110	551	0	1	1	6	0	58%	58%	58%	0%	58%

Nota. Elaboración propia

Probabilidad de excedencia. Utilizando la Ecuación 1 mostrada anteriormente, se elaboró la Tabla 20 donde se muestra la probabilidad de excedencia (porcentaje de probabilidad de uno o más deslizamientos ocurran durante un tiempo específico) utilizando la fórmula de Poisson, para el cálculo de μ que es el intervalo de recurrencia; el número de eventos de deslizamientos por barrio y colonia mostrado en la Tabla 14 y 40 años de observación del registro de eventos ocurridos según la base de datos utilizada van de 1979 a 2019, también se utilizó t tiempo futuro periodos de 5, 25 y 50 años.

Tabla 20. Probabilidad de excedencia de deslizamientos utilizando la fórmula de Poisson en los barrios y colonias con exposición en el sector 9 del MDC

No.	Barrio o Colonia	No. de Eventos de deslizamientos registrados	Intervalo de recurrencia media futura (μ)	Tiempo futuro t=5	Tiempo futuro t=25	Tiempo futuro t=50
1	Barrio El Rincón	3	13.33	31.3%	84.7%	97.6%
2	Colonia Canaán	18	2.22	89.5%	100.0%	100.0%
3	Colonia El Reparto	53	0.75	99.9%	100.0%	100.0%
4	Colonia Guillen	5	8.00	46.5%	95.6%	99.8%
5	Colonia José Simón Azcona	1	40.00	11.8%	46.5%	71.3%
6	Colonia Nueva Santa Rosa	7	5.71	58.3%	98.7%	100.0%
7	Colonia Roberto Suazo Córdova	5	8.00	46.5%	95.6%	99.8%
8	Residencial Villa Delmy	2	20.00	22.1%	71.3%	91.8%

Nota. Elaboración propia

Cálculo de los periodos de retorno. Con la información obtenida de la Estación climatológica de la UNAH se obtuvo el Anexo 4 que contiene los valores de precipitación diaria de los años 1979 al 2019. Tomando en consideración la investigación de Garcia-Urquia & Axelsson (2015) que encontró que el umbral de 7 días tuvo el mejor rendimiento para distinguir entre días con y sin movimientos de ladera (Pág. 1), se consideraron los indicadores de lluvia antecedente de 2, 5 y 10 días.

Para verificar que tan cercanos y parecidos son los datos entre los métodos de Weibull y Gumbel, se elaboraron las gráficas de la distribución ambos, utilizando los máximos diarios y acumulados anuales para 2, 5 y 10 días de toda la data, organizados en las Tablas 21, 22, 23 y 24 e ilustrados en las Gráficos 3, 4, 5 y 6 en las cuales se observó que estos se distribuyen de mamera similar. De esta forma y considerando que es ampliamente empleado en literatura, se optó por emplear la distribución de probabilidad de Gumbel para el cálculo de los periodos de retorno.

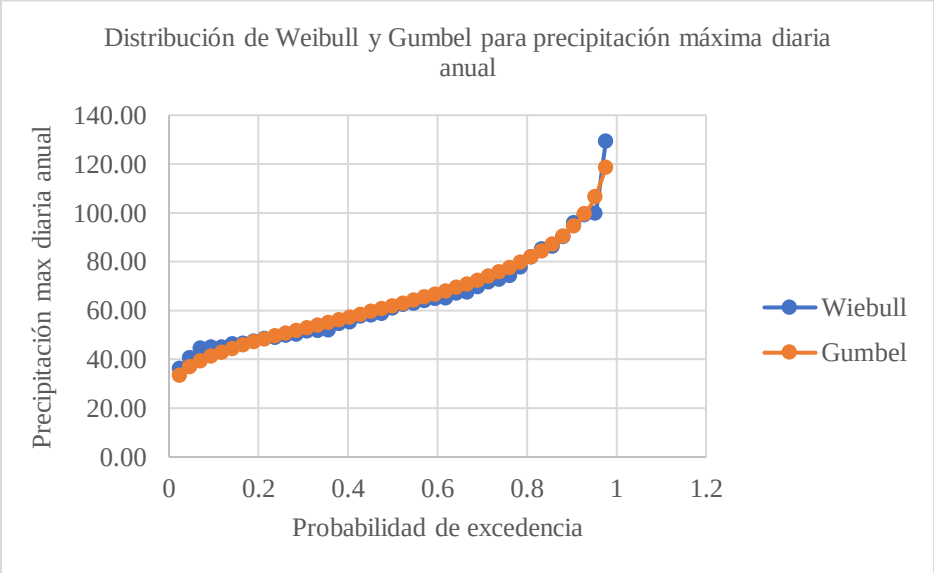
Tabla 21. Datos de precipitación diaria máxima anual y cálculo de Weibull y Gumbel

AÑO	FECHA	MAX DIA (mm)	Weibull	No de orden	P mayor que x	F (x)	X (Gumbel)
1979	1/5/1979	68.30	129.30	1	0.02380952	0.97619048	118.39
1980	3/10/1980	67.30	99.70	2	0.04761905	0.95238095	106.49
1981	9/6/1981	51.50	99.10	3	0.07142857	0.92857143	99.44
1982	27/5/1982	48.80	95.70	4	0.0952381	0.9047619	94.36
1983	19/6/1983	62.40	90.10	5	0.11904762	0.88095238	90.38
1984	30/7/1984	51.60	86.20	6	0.14285714	0.85714286	87.08
1985	12/5/1985	40.50	85.00	7	0.16666667	0.83333333	84.24
1986	26/9/1986	44.80	81.70	8	0.19047619	0.80952381	81.75
1987	20/9/1987	95.70	77.70	9	0.21428571	0.78571429	79.52
1988	15/9/1988	99.10	74.20	10	0.23809524	0.76190476	77.50
1989	30/9/1989	46.50	72.70	11	0.26190476	0.73809524	75.63
1990	5/11/1990	99.70	71.50	12	0.28571429	0.71428571	73.90
1991	17/5/1991	65.00	69.60	13	0.30952381	0.69047619	72.28
1992	21/4/1992	47.40	67.30	14	0.33333333	0.66666667	70.76
1993	31/5/1993	44.80	66.90	15	0.35714286	0.64285714	69.31
1994	17/5/1994	66.90	65.00	16	0.38095238	0.61904762	67.92
1995	31/8/1995	51.90	64.70	17	0.4047619	0.5952381	66.60
1996	16/10/1996	81.70	63.90	18	0.42857143	0.57142857	65.32
1997	12/6/1997	49.70	62.90	19	0.45238095	0.54761905	64.08
1998	30/10/1998	129.30	62.40	20	0.47619048	0.52380952	62.88
1999	23/9/1999	77.70	60.90	21	0.5	0.5	61.71
2000	15/5/2000	69.60	58.60	22	0.52380952	0.47619048	60.56
2001	22/8/2001	55.10	57.90	23	0.54761905	0.45238095	59.43
2002	28/5/2002	60.90	57.50	24	0.57142857	0.42857143	58.32
2003	29/5/2003	74.20	55.10	25	0.5952381	0.4047619	57.22
2004	27/4/2004	72.70	54.60	26	0.61904762	0.38095238	56.12
2005	20/5/2005	86.20	51.90	27	0.64285714	0.35714286	55.03
2006	24/6/2006	58.60	51.60	28	0.66666667	0.33333333	53.93
2007	14/6/2007	71.50	51.50	29	0.69047619	0.30952381	52.83
2008	27/9/2008	54.60	50.10	30	0.71428571	0.28571429	51.72
2009	21/6/2009	44.50	49.70	31	0.73809524	0.26190476	50.59
2010	6/8/2010	57.90	48.80	32	0.76190476	0.23809524	49.43
2011	14/9/2011	63.90	48.30	33	0.78571429	0.21428571	48.23
2012	7/8/2012	62.90	47.40	34	0.80952381	0.19047619	46.99
2013	25/3/2013	57.50	46.50	35	0.83333333	0.16666667	45.68
2014	29/4/2014	36.20	46.10	36	0.85714286	0.14285714	44.29
2015	2/10/2015	64.70	44.80	37	0.88095238	0.11904762	42.78

2016	29/8/2016	50.10	44.80	38	0.9047619	0.0952381	41.09
2017	10/9/2017	46.10	44.50	39	0.92857143	0.07142857	39.14
2018	16/6/2018	85.00	40.50	40	0.95238095	0.04761905	36.73
2019	2/6/2019	90.10	36.20	41	0.97619048	0.02380952	33.27

Nota. Elaboración propia

Gráfico 3. Distribución de Weibull y Gumbel para precipitación máxima diaria anual



Nota. Elaboración propia

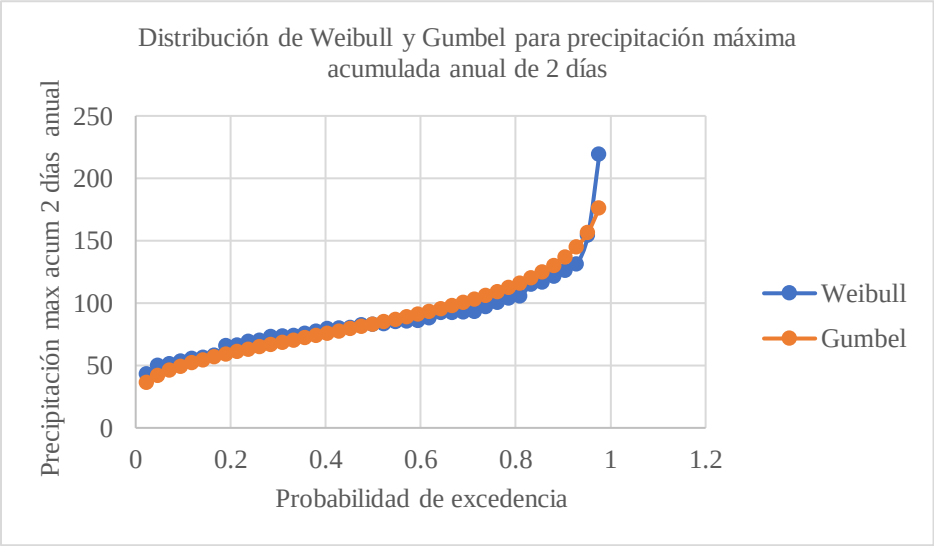
Tabla 22. Datos de precipitación máxima acumulada anual de 2 días y cálculo de Weibull y Gumbel

AÑO	FECHA	MAX ACUM 2 DIAS (mm)	Weibull	No de orden	P mayor que x	F (x)	X (Gumbel)
1979	9/5/1979	92.3	219	1	0.02380952	0.97619048	176.07
1980	4/10/1980	114.8	154.2	2	0.04761905	0.95238095	156.53
1981	10/6/1981	53.3	131	3	0.07142857	0.92857143	144.95
1982	25/5/1982	66.3	126.2	4	0.0952381	0.9047619	136.62
1983	21/6/1983	85.5	121.2	5	0.11904762	0.88095238	130.07
1984	31/7/1984	92.3	116.5	6	0.14285714	0.85714286	124.65
1985	26/4/1985	43.3	114.8	7	0.16666667	0.83333333	120.00
1986	16/5/1986	55.5	105.6	8	0.19047619	0.80952381	115.91
1987	21/9/1987	103.8	103.8	9	0.21428571	0.78571429	112.25
1988	16/9/1988	116.5	100.2	10	0.23809524	0.76190476	108.92
1989	27/9/1989	69.4	96.9	11	0.26190476	0.73809524	105.86
1990	6/11/1990	131	93.2	12	0.28571429	0.71428571	103.02
1991	19/5/1991	86	92.7	13	0.30952381	0.69047619	100.36

1992	27/9/1992	51.3	92.3	14	0.33333333	0.66666667	97.85
1993	1/6/1993	70.1	92.3	15	0.35714286	0.64285714	95.47
1994	19/5/1994	105.6	87.9	16	0.38095238	0.61904762	93.20
1995	2/9/1995	79.4	86	17	0.4047619	0.5952381	91.02
1996	18/10/1996	82.6	85.5	18	0.42857143	0.57142857	88.93
1997	14/6/1997	49.8	84.9	19	0.45238095	0.54761905	86.89
1998	1/11/1998	219	83.5	20	0.47619048	0.52380952	84.92
1999	24/9/1999	93.2	82.8	21	0.5	0.5	83.00
2000	16/5/2000	92.7	82.6	22	0.52380952	0.47619048	81.11
2001	23/8/2001	77.3	80.1	23	0.54761905	0.45238095	79.26
2002	31/5/2002	79.8	79.8	24	0.57142857	0.42857143	77.43
2003	30/5/2003	100.2	79.4	25	0.5952381	0.4047619	75.62
2004	29/4/2004	83.5	77.3	26	0.61904762	0.38095238	73.83
2005	21/5/2005	121.2	75.6	27	0.64285714	0.35714286	72.03
2006	3/11/2006	73.2	73.7	28	0.66666667	0.33333333	70.23
2007	15/6/2007	96.9	73.5	29	0.69047619	0.30952381	68.43
2008	29/9/2008	56.2	73.2	30	0.71428571	0.28571429	66.60
2009	22/6/2009	58.1	70.1	31	0.73809524	0.26190476	64.74
2010	22/5/2010	84.9	69.4	32	0.76190476	0.23809524	62.83
2011	16/9/2011	82.8	66.3	33	0.78571429	0.21428571	60.87
2012	8/8/2012	75.6	65.7	34	0.80952381	0.19047619	58.83
2013	4/5/2013	73.7	58.1	35	0.83333333	0.16666667	56.68
2014	21/10/2014	65.7	56.2	36	0.85714286	0.14285714	54.39
2015	4/10/2015	80.1	55.5	37	0.88095238	0.11904762	51.91
2016	30/8/2016	87.9	53.3	38	0.9047619	0.0952381	49.15
2017	19/9/2017	73.5	51.3	39	0.92857143	0.07142857	45.95
2018	7/10/2018	154.2	49.8	40	0.95238095	0.04761905	41.99
2019	21/9/2019	126.2	43.3	41	0.97619048	0.02380952	36.31

Nota. Elaboración propia

Gráfico 4. Distribución de Weibull y Gumbel para precipitación máxima acumulada anual de 2 días



Nota. Elaboración propia

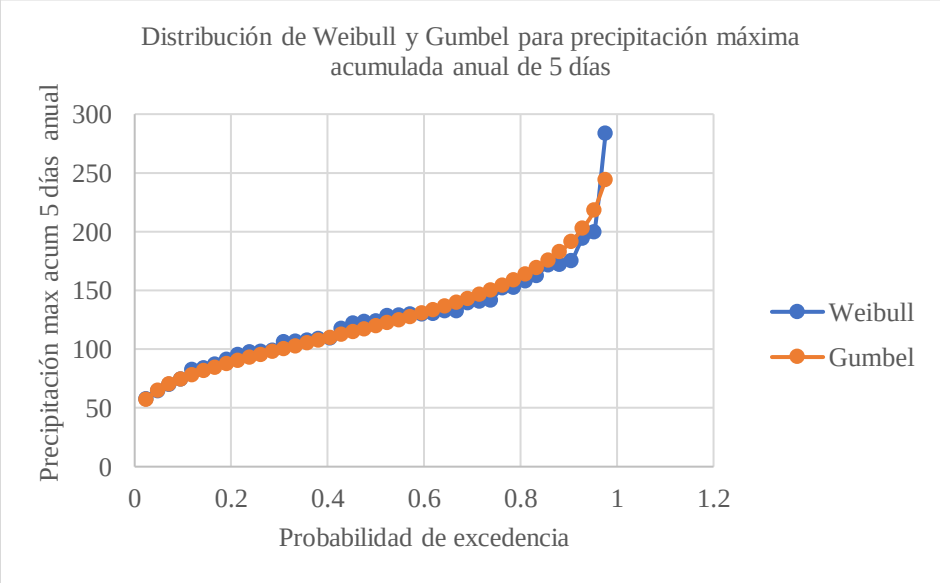
Tabla 23. Datos de precipitación máxima acumulada anual de 5 días y cálculo de Weibull y Gumbel

AÑO		MAX ACUM 5 DIAS (mm)	Weibull	No de orden	P mayor que x	F (x)	X (Gumbel)
1979		98.8	283.3	1	0.02380952	0.97619048	244.12
1980		123.4	199.7	2	0.04761905	0.95238095	217.97
1981	31/5/1981	97.4	193.9	3	0.07142857	0.92857143	202.48
1982	28/5/1982	130.2	175.1	4	0.0952381	0.9047619	191.34
1983		109.2	172	5	0.11904762	0.88095238	182.58
1984	3/8/1984	129.5	171.5	6	0.14285714	0.85714286	175.32
1985	29/4/1985	57.2	162.4	7	0.16666667	0.83333333	169.10
1986	8/6/1986	64.1	157.6	8	0.19047619	0.80952381	163.63
1987		132.4	152.3	9	0.21428571	0.78571429	158.73
1988	20/9/1988	128.5	152	10	0.23809524	0.76190476	154.28
1989	1/10/1989	122.1	141.5	11	0.26190476	0.73809524	150.19
1990	7/11/1990	152.3	140.3	12	0.28571429	0.71428571	146.39
1991	20/5/1991	162.4	139.2	13	0.30952381	0.69047619	142.83
1992	22/6/1992	86.8	132.4	14	0.33333333	0.66666667	139.47
1993	1/6/1993	132.4	132.4	15	0.35714286	0.64285714	136.29
1994	19/5/1994	106.3	130.2	16	0.38095238	0.61904762	133.25
1995		152	129.7	17	0.4047619	0.5952381	130.33
1996	17/10/1996	128.2	129.5	18	0.42857143	0.57142857	127.53
1997	16/6/1997	91	128.5	19	0.45238095	0.54761905	124.81
1998		283.3	128.2	20	0.47619048	0.52380952	122.17
1999	25/9/1999	141.5	123.9	21	0.5	0.5	119.59

2000	17/5/2000	108.5	123.4	22	0.52380952	0.47619048	117.07
2001	28/5/2001	117.4	122.1	23	0.54761905	0.45238095	114.59
2002	29/5/2002	157.6	117.4	24	0.57142857	0.42857143	112.15
2003	31/5/2003	172	109.2	25	0.5952381	0.4047619	109.73
2004	29/4/2004	83.7	108.5	26	0.61904762	0.38095238	107.32
2005		171.5	107.3	27	0.64285714	0.35714286	104.92
2006	5/11/2006	95	106.3	28	0.66666667	0.33333333	102.52
2007	15/6/2007	139.2	106.1	29	0.69047619	0.30952381	100.10
2008	2/10/2008	82.3	98.8	30	0.71428571	0.28571429	97.65
2009		74	97.7	31	0.73809524	0.26190476	95.16
2010	25/5/2010	199.7	97.4	32	0.76190476	0.23809524	92.61
2011	29/5/2011	140.3	95	33	0.78571429	0.21428571	89.99
2012	11/8/2012	97.7	91	34	0.80952381	0.19047619	87.26
2013	07/05/1013	107.3	86.8	35	0.83333333	0.16666667	84.39
2014		69.5	83.7	36	0.85714286	0.14285714	81.33
2015	14/6/2015	106.1	82.3	37	0.88095238	0.11904762	78.01
2016	21/10/2016	175.1	74	38	0.9047619	0.0952381	74.31
2017	21/9/2017	123.9	69.5	39	0.92857143	0.07142857	70.03
2018	8/10/2018	193.9	64.1	40	0.95238095	0.04761905	64.73
2019	24/9/2019	129.7	57.2	41	0.97619048	0.02380952	57.13

Nota. Elaboración propia

Gráfico 5. Distribución de Weibull y Gumbel para precipitación máxima acumulada anual de 5 días



Nota. Elaboración propia

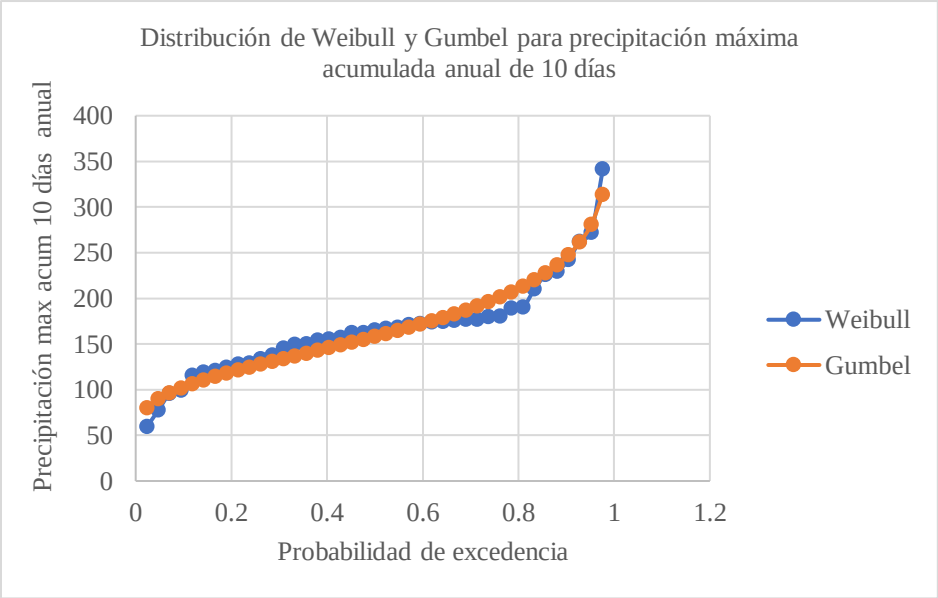
Tabla 24. Datos de precipitación máxima acumulada anual de 10 días y cálculo de Weibull y Gumbel

AÑO		MAX ACUM 10 DIAS (mm)	Weibull	No de orden	P mayor que x	F (x)	X (Gumbel)
1979		167.2	341.4	1	0.02380952	0.97619048	313.53
1980		145.3	272.3	2	0.04761905	0.95238095	280.90
1981	6/6/1981	128.8	262.4	3	0.07142857	0.92857143	261.57
1982	28/5/1982	162.6	242.5	4	0.0952381	0.9047619	247.67
1983		174.1	229.4	5	0.11904762	0.88095238	236.74
1984	5/8/1984	155.2	225.9	6	0.14285714	0.85714286	227.69
1985	3/5/1985	59.5	210	7	0.16666667	0.83333333	219.93
1986	16/5/1986	77.7	190.2	8	0.19047619	0.80952381	213.10
1987		133.7	189.5	9	0.21428571	0.78571429	206.99
1988	20/9/1988	176.7	180.3	10	0.23809524	0.76190476	201.43
1989	2/10/1989	190.2	179.9	11	0.26190476	0.73809524	196.33
1990	28/5/1990	162.2	176.7	12	0.28571429	0.71428571	191.58
1991	21/5/1991	225.9	176.7	13	0.30952381	0.69047619	187.14
1992	29/9/1992	118.9	175.5	14	0.33333333	0.66666667	182.96
1993	3/6/1993	156.9	174.8	15	0.35714286	0.64285714	178.98
1994	24/5/1994	124.5	174.1	16	0.38095238	0.61904762	175.19
1995		262.4	172.4	17	0.4047619	0.5952381	171.56
1996	17/10/1996	189.5	171.1	18	0.42857143	0.57142857	168.05
1997	16/6/1997	149.3	168.4	19	0.45238095	0.54761905	164.66
1998		341.4	167.2	20	0.47619048	0.52380952	161.37
1999	1/10/1999	180.3	165.5	21	0.5	0.5	158.15
2000	21/5/2000	115.4	162.6	22	0.52380952	0.47619048	155.01
2001	1/6/2001	153.9	162.2	23	0.54761905	0.45238095	151.92
2002	2/6/2002	210	156.9	24	0.57142857	0.42857143	148.87
2003	3/6/2003	229.4	155.2	25	0.5952381	0.4047619	145.85
2004	4/5/2004	95.8	153.9	26	0.61904762	0.38095238	142.85
2005		175.5	149.9	27	0.64285714	0.35714286	139.85
2006	6/11/2006	99.3	149.3	28	0.66666667	0.33333333	136.85
2007	17/6/2007	165.5	145.3	29	0.69047619	0.30952381	133.83
2008	7/10/2008	137.7	137.7	30	0.71428571	0.28571429	130.78
2009		171.1	133.7	31	0.73809524	0.26190476	127.67
2010	30/5/2010	272.3	128.8	32	0.76190476	0.23809524	124.49
2011	30/5/2011	174.8	127.8	33	0.78571429	0.21428571	121.22
2012	31/5/2012	127.8	124.5	34	0.80952381	0.19047619	117.81
2013	23/9/2013	168.4	120.7	35	0.83333333	0.16666667	114.23
2014		120.7	118.9	36	0.85714286	0.14285714	110.41
2015	14/6/2015	176.7	115.4	37	0.88095238	0.11904762	106.27
2016	22/10/2016	179.9	99.3	38	0.9047619	0.0952381	101.65

2017	20/9/2017	172.4	95.8	39	0.92857143	0.07142857	96.32
2018	15/10/2018	242.5	77.7	40	0.95238095	0.04761905	89.71
2019	26/9/2019	149.9	59.5	41	0.97619048	0.02380952	80.22

Nota. Elaboración propia

Gráfico 6. Distribución de Weibull y Gumbel para precipitación máxima acumulada anual de 10 días



Nota. Elaboración propia

Se elaboró un cuadro ilustrado en la Tabla 25 con la fecha del evento de deslizamiento, y lluvia del día del evento, y su respectivos acumulados de 2 días, acumulados de 5 días y acumulados de 10 días; para cada barrio y colonia con información de exposición.

Además, como se mencionó anteriormente se descartaron los valores inferiores a 20 mm en acumulados de 5 días, de acuerdo a Valenzuela (2017) en donde los valores de precipitaciones acumuladas en 5 días anteriores, son inferiores a 20 mm, la relación lluvia-deslizamiento se consideró dudosa y, por ello, se descartaron (pág. 102).

Tabla 25. Precipitación del día del evento de deslizamiento, acumulados de 2, 5 y 10 días en los barrios y colonias del sector 9 que contienen información de exposición

No.	Barrio o Colonia	Lluvia del día del evento	Acumulado 2 días	Acumulado 5 días	Acumulado 10 días
1	**Barrio El Rincón**				
	25/9/2017 10:11	7.60	27.00	46.30	153.20
	24/5/2018 15:16	51.30	1.80	35.80	83.50
	5/10/2018	72.00	37.60	52.00	71.40
2	Colonia Canaán				
	3/9/1995	0.00	27.50	120.90	220.90
	28/5/2009	8.50	9.40	32.70	46.70
	24/5/2010	38.70	76.10	162.00	177.00
	30/5/2010	47.40	38.70	72.60	272.30
	17/6/2018 09:47	8.10	118.00	140.30	145.00
	6/10/2018 15:26	82.20	92.70	117.60	127.40
	8/10/2018 11:55	5.90	84.30	193.90	211.70
	13/9/2017 08:23	0.50	18.80	64.90	82.80
	18/9/2017 11:25	39.20	46.60	47.20	112.10
3	**Colonia El Reparto**				
	20/4/2017 15:02	4.40	16.60	26.20	30.60
	3/9/1981	8.70	42.60	24.20	90.70
	21/5/1982	0.40	25.80	29.30	29.80
	22/5/1982	6.20	2.90	26.90	29.70
	17/6/1983	3.80	11.40	65.40	139.00
	28/6/1983	4.40	32.60	33.10	138.00
	29/6/1983	4.80	4.50	37.50	123.00
	4/6/1984	50.80	6.80	57.60	109.70
	3/9/1984	9.30	59.60	107.50	113.90
	6/9/1984	1.10	4.30	73.20	127.00
	1/11/1984	16.80	5.50	54.00	55.50
	7/5/1987	0.00	0.60	41.30	42.50
	22/9/1987	0.00	96.90	127.80	133.70
	20/9/1989	12.90	51.30	84.50	151.50
	21/9/1989	1.60	49.90	84.30	123.20
	29/9/1989	3.10	43.50	114.20	185.70
	30/9/1989	46.50	31.60	116.00	151.80
	24/6/1992	0.20	7.50	46.70	109.30
	18/9/1993	3.60	50.90	58.30	114.40
	1/7/1995	0.00	0.50	20.90	69.20
	28/8/1995	31.10	28.10	110.40	125.80
	1/9/1995	27.50	71.50	132.80	238.40

	3/9/1995	0.00	27.50	120.90	220.90
	3/10/1997	9.00	3.30	20.70	78.00
	31/10/1998	89.70	162.70	205.50	252.20
	24/5/2001	29.60	37.90	37.90	38.40
	1/6/2003	0.10	34.90	163.90	224.50
	20/5/2005	86.20	40.10	86.40	89.30
	20/10/2008	32.60	24.90	61.20	94.40
	25/5/2009	8.80	14.50	28.50	47.30
	27/7/2010	2.00	44.70	45.30	48.40
	25/8/2010	3.60	15.80	49.40	82.90
	29/8/2011	0.00	35.30	38.50	54.20
	12/9/2017 18:49	17.70	47.20	47.30	65.10
	12/10/2018 14:42	18.20	11.60	20.00	211.90
	18/9/2017 15:00	39.20	46.60	47.20	112.10
4	**Colonia Guillen**				
	11/10/1999	3.00	27.90	37.50	43.50
	29/5/2002	18.90	73.60	157.60	206.40
	20/10/2008	32.60	24.90	61.20	94.40
5	**Colonia José Simón Azcona**				
	26/9/2017 10:23	0.00	8.80	36.90	160.80
6	**Colonia Nueva Santa Rosa**				
	20/10/2008	32.60	24.90	61.20	94.40
	1/6/2010	16.50	47.40	91.90	234.80
	2/6/2010	0.00	16.50	102.60	201.20
	4/6/2010	0.00	20.80	84.70	157.30
	7/6/2010	0.00	0.30	21.10	123.70
7	**Colonia Roberto Suazo Córdova**				
	30/6/1993	0.20	0.90	57.00	121.30
	28/8/1995	31.10	28.10	110.40	125.80
	3/9/1995	0.00	27.50	120.90	220.90
	23/5/2010	26.00	78.50	137.40	154.20
	16/6/2012	5.90	19.70	21.70	33.70
8	**Residencial Villa Delmy**				
	3/9/1995	0.00	27.50	120.90	220.90
	24/5/2010	38.70	76.10	162.00	177.00

Nota. Elaboración propia

El cálculo del periodo de retorno, se resume en la Tabla 26 y se elaboró utilizando el método de Gumbel, para cada fecha y para cada acumulado de 2, 5 y 10 días se realizó aplicando en una hoja Excel las ecuaciones 2, 3, 4, 5 y 6 descritas anteriormente.

Tabla 26. Cálculo del periodo de retorno de las precipitaciones de los acumulados de 2, 5 y 10 días en las fechas del evento de deslizamiento, en los barrios y colonias del sector 9 que contienen información de exposición

No.	Barrio o Colonia	Lluvia del día del evento	Acumulado 2 días	y	F(x)	Período de retorno del acumulado 2 días	Acumulado 5 días	y	F(x)	Período de retorno del acumulado 5 días	Acumulado 10 días	y	F(x)	Período de retorno del acumulado 10 días
1	**Barrio El Rincón**													
	25/9/2017	7.60	27.00	-1.8885	0.0013	1.00	46.30	-1.8391	0.0019	1.00	153.20	0.2578	0.4617	1.86
	24/5/2018	51.30	1.80	-2.9085	0.0000	1.00	35.80	-2.1568	0.0002	1.00	83.50	-1.4322	0.0152	1.02
	5/10/2018	72.00	37.60	-1.4595	0.0135	1.01	52.00	-1.6667	0.0050	1.01	71.40	-1.7256	0.0036	1.00
2	**Colonia Canaán**													
	3/9/1995	0.00	27.50	-1.8683	0.0015	1.00	120.90	0.4178	0.5176	2.07	220.90	1.8993	0.8610	7.19
	28/5/2009	8.50	9.40	-2.6009	0.0000	1.00	32.70	-2.2505	0.0001	1.00	46.70	-2.3245	0.0000	1.00
	24/5/2010	38.70	76.10	0.0988	0.4042	1.68	162.00	1.6611	0.8270	5.78	177.00	0.8349	0.6480	2.84
	30/5/2010	47.40	38.70	-1.4150	0.0163	1.02	72.60	-1.0435	0.0585	1.06	272.30	3.1456	0.9579	23.74
	17/6/2018	8.10	118.00	1.7947	0.8469	6.53	140.30	1.0047	0.6934	3.26	145.00	0.0590	0.3896	1.64
	6/10/2018	82.20	92.70	0.7707	0.6296	2.70	117.60	0.3179	0.4830	1.93	127.40	-0.3678	0.2359	1.31
	8/10/2018	5.90	84.30	0.4307	0.5220	2.09	193.90	2.6262	0.9302	14.33	211.70	1.6762	0.8294	5.86
	13/9/2017	0.50	18.80	-2.2204	0.0001	1.00	64.90	-1.2764	0.0278	1.03	82.80	-1.4492	0.0141	1.01
	18/9/2017	39.20	46.60	-1.0952	0.0503	1.05	47.20	-1.8119	0.0022	1.00	112.10	-0.7388	0.1233	1.14
3	**Colonia El Reparto**													
	20/4/2017 15:02	4.40	16.60	-2.3094	0.0000	1.00	26.20	-2.4472	0.0000	1.00	30.60	-2.7149	0.0000	1.00
	3/9/1981	8.70	42.60	-1.2571	0.0297	1.03	24.20	-2.5077	0.0000	1.00	90.70	-1.2577	0.0297	1.03
	21/5/1982	0.40	25.80	-1.9371	0.0010	1.00	29.30	-2.3534	0.0000	1.00	29.80	-2.7343	0.0000	1.00
	22/5/1982	6.20	2.90	-2.8640	0.0000	1.00	26.90	-2.4260	0.0000	1.00	29.70	-2.7367	0.0000	1.00
	17/6/1983	3.80	11.40	-2.5199	0.0000	1.00	65.40	-1.2613	0.0293	1.03	139.00	-0.0865	0.3361	1.51
	28/6/1983	4.40	32.60	-1.6619	0.0051	1.01	33.10	-2.2384	0.0001	1.00	138.00	-0.1108	0.3272	1.49

29/6/1983	4.80	4.50	-2.7992	0.0000	1.00	37.50	-2.10053	0.0003	1.00	123.00	-0.47045	0.2005	1.25
4/6/1984	50.80	6.80	-2.7061	0.0000	1.00	57.60	-1.49072	0.0115	1.01	109.70	-0.79070	0.1087	1.12
3/9/1984	9.30	59.60	-0.5690	0.1709	1.21	107.50	0.0124	0.3724	1.59	113.90	-0.69051	0.1348	1.16
6/9/1984	1.10	4.30	-2.8073	0.0000	1.00	73.20	-1.02053	0.0615	1.07	127.00	-0.37075	0.2326	1.30
1/11/1984	16.80	5.50	-2.7587	0.0000	1.00	54.00	-1.60062	0.0068	1.01	55.50	-2.11112	0.0003	1.00
7/5/1987	0.00	0.60	-2.9570	0.0000	1.00	41.30	-1.99004	0.0007	1.00	42.50	-2.42064	0.0000	1.00
22/9/1987	0.00	96.90	0.9407	0.6768	3.09	127.80	0.6265	0.5860	2.42	133.70	-0.21050	0.2894	1.41
20/9/1989	12.90	51.30	-0.9050	0.0844	1.09	84.50	-0.68034	0.1380	1.16	151.50	0.2166	0.4470	1.81
21/9/1989	1.60	49.90	-0.9616	0.0731	1.08	84.30	-0.68095	0.1363	1.16	123.20	-0.46096	0.2020	1.25
29/9/1989	3.10	43.50	-1.2207	0.0337	1.03	114.20	0.2151	0.4464	1.81	185.70	1.04058	0.7037	3.37
30/9/1989	46.50	31.60	-1.7023	0.0041	1.00	116.00	0.2695	0.4659	1.87	151.80	0.2238	0.4496	1.82
24/6/1992	0.20	7.50	-2.6778	0.0000	1.00	46.70	-1.82070	0.0020	1.00	109.30	-0.80067	0.1064	1.12
18/9/1993	3.60	50.90	-0.9212	0.0811	1.09	58.30	-1.47061	0.0126	1.01	114.40	-0.68030	0.1381	1.16
1/7/1995	0.00	0.50	-2.9611	0.0000	1.00	20.90	-2.60075	0.0000	1.00	69.20	-1.77090	0.0027	1.00
28/8/1995	31.10	28.10	-1.8440	0.0018	1.00	110.40	0.1001	0.4046	1.68	125.80	-0.40066	0.2228	1.29
1/9/1995	27.50	71.50	-0.0874	0.3358	1.51	132.80	0.7778	0.6316	2.71	238.40	2.3236	0.9067	10.72
3/9/1995	0.00	27.50	-1.8683	0.0015	1.00	120.90	0.4178	0.5176	2.07	220.90	1.8993	0.8610	7.19
3/10/1997	9.00	3.30	-2.8478	0.0000	1.00	20.70	-2.61036	0.0000	1.00	78.00	-1.56056	0.0083	1.01
31/10/1998	89.70	162.70	3.6039	0.9732	37.24	205.50	2.9771	0.9503	20.14	252.20	2.6583	0.9323	14.78
24/5/2001	29.60	37.90	-1.4473	0.0142	1.01	37.90	-2.09032	0.0003	1.00	38.40	-2.52058	0.0000	1.00
1/6/2003	0.10	34.90	-1.5688	0.0082	1.01	163.90	1.7186	0.8358	6.09	224.50	1.9866	0.8718	7.80
20/5/2005	86.20	40.10	-1.3583	0.0205	1.02	86.40	-0.62060	0.1541	1.18	89.30	-1.29016	0.0263	1.03
20/10/2008	32.60	24.90	-1.9735	0.0007	1.00	61.20	-1.38083	0.0182	1.02	94.40	-1.16079	0.0401	1.04
25/5/2009	8.80	14.50	-2.3944	0.0000	1.00	28.50	-2.37076	0.0000	1.00	47.30	-2.31000	0.0000	1.00

	27/7/2010	2.00	44.70	-1.1721	0.0396	1.04	45.30	-1.8694	0.0015	1.00	48.40	-2.2833	0.0001	1.00
	25/8/2010	3.60	15.80	-2.3418	0.0000	1.00	49.40	-1.7453	0.0033	1.00	82.90	-1.4468	0.0143	1.01
	29/8/2011	0.00	35.30	-1.5526	0.0089	1.01	38.50	-2.0751	0.0003	1.00	54.20	-2.1427	0.0002	1.00
	12/9/2017	17.70	47.20	-1.0709	0.0540	1.06	47.30	-1.8088	0.0022	1.00	65.10	-1.8784	0.0014	1.00
	12/10/2018	18.20	11.60	-2.5118	0.0000	1.00	20.00	-2.6347	0.0000	1.00	211.90	1.6811	0.8301	5.89
	18/9/2017	39.20	46.60	-1.0952	0.0503	1.05	47.20	-1.8119	0.0022	1.00	112.10	-0.7388	0.1233	1.14
4	**Colonia Guillen**													
	11/10/1999	3.00	27.90	-1.8521	0.0017	1.00	37.50	-2.1053	0.0003	1.00	43.50	-2.4021	0.0000	1.00
	29/5/2002	18.90	73.60	-0.0024	0.3670	1.58	157.60	1.5280	0.8050	5.13	206.40	1.5477	0.8084	5.22
	20/10/2008	32.60	24.90	-1.9735	0.0007	1.00	61.20	-1.3883	0.0182	1.02	94.40	-1.1679	0.0401	1.04
5	**Colonia José Simón Azcona**													
	26/9/2017	0.00	8.80	-2.6252	0.0000	1.00	36.90	-2.1235	0.0002	1.00	160.80	0.4421	0.5259	2.11
6	**Colonia Nueva Santa Rosa**													
	20/10/2008	32.60	24.90	-1.9735	0.0007	1.00	61.20	-1.3883	0.0182	1.02	94.40	-1.1679	0.0401	1.04
	1/6/2010	16.50	47.40	-1.0628	0.0553	1.06	91.90	-0.4596	0.2053	1.26	234.80	2.2364	0.8987	9.87
	2/6/2010	0.00	16.50	-2.3135	0.0000	1.00	102.60	-0.1359	0.3181	1.47	201.20	1.4216	0.7856	4.66
	4/6/2010	0.00	20.80	-2.1395	0.0002	1.00	84.70	-0.6774	0.1396	1.16	157.30	0.3572	0.4968	1.99
	7/6/2010	0.00	0.30	-2.9692	0.0000	1.00	21.10	-2.6015	0.0000	1.00	123.70	-0.4575	0.2060	1.26
7	**Colonia Roberto Suazo Córdova**													
	30/6/1993	0.20	0.90	-2.9449	0.0000	1.00	57.00	-1.5154	0.0106	1.01	121.30	-0.5157	0.1873	1.23
	28/8/1995	31.10	28.10	-1.8440	0.0018	1.00	110.40	0.1001	0.4046	1.68	125.80	-0.4066	0.2228	1.29
	3/9/1995	0.00	27.50	-1.8683	0.0015	1.00	120.90	0.4178	0.5176	2.07	220.90	1.8993	0.8610	7.19
	23/5/2010	26.00	78.50	0.1959	0.4395	1.78	137.40	0.9169	0.6705	3.03	154.20	0.2820	0.4704	1.89

	16/6/2012	5.90	19.70	-2.1840	0.0001	1.00	21.70	-2.5833	0.0000	1.00	33.70	-2.6397	0.0000	1.00
8	**Residencial Villa Delmy**													
	3/9/1995	0.00	27.50	-1.8683	0.0015	1.00	120.90	0.4178	0.5176	2.07	220.90	1.8993	0.8610	7.19
	24/5/2010	38.70	76.10	0.0988	0.4042	1.68	162.00	1.6611	0.8270	5.78	177.00	0.8349	0.6480	2.84

Nota. Elaboración propia

Se seleccionó el mayor valor de periodo de retorno de la Tabla 26 para el día que ocurrió un evento de deslizamiento, entre los acumulados de 2, 5 y 10 días en cada barrio o colonia. La Tabla 27 muestra las fechas y los valores máximos de periodo de retorno. Esto tomando en cuenta la investigación de Suárez Vázquez (2022) que, con base a Zêzere et al (2004), establece que se le atribuye el evento de deslizamiento el mayor periodo de retorno que resulta de los cálculos de estos para distritos parámetros de lluvia antecedente (Pág. 38).

Tabla 27. Selección del valor máximo de periodo de retorno de las precipitaciones de los acumulados de 2, 5 y 10 días en las fechas del evento de deslizamiento, en los barrios y colonias del sector 9 que contienen información de exposición

No.	Barrio o Colonia	Acumulado 2 días	Período de retorno del acumulado 2 días	Acumulado 5 días	Período de retorno del acumulado 5 días	Acumulado 10 días	Período de retorno del acumulado 10 días
1	**Barrio El Rincón**						
	25/9/2017 10:11	27.00	1.0013	46.30	1.0019	153.20	**1.8578**
	24/5/2018 15:16	1.80	1.0000	35.80	1.0002	83.50	**1.0154**
	5/10/2018	37.60	**1.0137**	52.00	1.0050	71.40	1.0037
2	**Colonia Canaán**						
	3/9/1995	27.50	1.0015	120.90	2.0730	220.90	**7.1938**
	28/5/2009	9.40	1.0000	32.70	**1.0001**	46.70	1.0000
	24/5/2010	76.10	1.6783	162.00	**5.7811**	177.00	2.8406
	30/5/2010	38.70	1.0166	72.60	1.0621	272.30	**23.7376**
	17/6/2018 09:47	118.00	**6.5315**	140.30	3.2614	145.00	1.6382
	6/10/2018 15:26	92.70	**2.6997**	117.60	1.9344	127.40	1.3087
	8/10/2018 11:55	84.30	2.0921	193.90	**14.3271**	211.70	5.8610
	13/9/2017 08:23	18.80	1.0001	64.90	**1.0286**	82.80	1.0143
	18/9/2017 11:25	46.60	1.0530	47.20	1.0022	112.10	**1.1406**
3	**Colonia El Reparto**						
	20/4/2017 15:02	16.60	***1.0000***	26.20	1.0000	30.60	1.0000
	3/9/1981	42.60	**1.0307**	24.20	1.0000	90.70	1.0306
	21/5/1982	25.80	***1.0010***	29.30	1.0000	29.80	1.0000
	22/5/1982	2.90	***1.0000***	26.90	1.0000	29.70	1.0000
	17/6/1983	11.40	1.0000	65.40	1.0302	139.00	**1.5062**
	28/6/1983	32.60	1.0052	33.10	1.0001	138.00	**1.4864**

	29/6/1983	4.50	1.0000	37.50	1.0003	123.00	**1.2507**
	4/6/1984	6.80	1.0000	57.60	1.0116	109.70	**1.1220**
	3/9/1984	59.60	1.2062	107.50	**1.5934**	113.90	1.1558
	6/9/1984	4.30	1.0000	73.20	1.0656	127.00	**1.3030**
	1/11/1984	5.50	1.0000	54.00	**1.0069**	55.50	1.0003
	7/5/1987	0.60	1.0000	41.30	**1.0007**	42.50	1.0000
	22/9/1987	96.90	**3.0942**	127.80	2.4154	133.70	1.4073
	20/9/1989	51.30	1.0922	84.50	1.1601	151.50	**1.8082**
	21/9/1989	49.90	1.0789	84.30	1.1578	123.20	**1.2532**
	29/9/1989	43.50	1.0349	114.20	1.8064	185.70	**3.3750**
	30/9/1989	31.60	1.0042	116.00	**1.8724**	151.80	1.8168
	24/6/1992	7.50	1.0000	46.70	1.0020	109.30	**1.1191**
	18/9/1993	50.90	1.0882	58.30	1.0127	114.40	**1.1602**
	1/7/1995	0.50	1.0000	20.90	1.0000	69.20	**1.0027**
	28/8/1995	28.10	1.0018	110.40	**1.6797**	125.80	1.2866
	1/9/1995	71.50	1.5055	132.80	2.7147	238.40	**10.7210**
	3/9/1995	27.50	1.0015	120.90	2.0730	220.90	**7.1938**
	3/10/1997	3.30	1.0000	20.70	1.0000	78.00	**1.0084**
	31/10/1998	162.70	**37.2447**	205.50	20.1356	252.20	14.7772
	24/5/2001	37.90	**1.0144**	37.90	1.0003	38.40	1.0000
	1/6/2003	34.90	1.0083	163.90	6.0917	224.50	**7.8022**
	20/5/2005	40.10	1.0209	86.40	**1.1822**	89.30	1.0270
	20/10/2008	24.90	1.0008	61.20	1.0185	94.40	**1.0418**
	25/5/2009	14.50	***1.0000***	28.50	1.0000	47.30	1.0000
	27/7/2010	44.70	**1.0412**	45.30	1.0015	48.40	1.0001
	25/8/2010	15.80	1.0000	49.40	1.0033	82.90	**1.0145**
	29/8/2011	35.30	**1.0090**	38.50	1.0003	54.20	1.0002
	12/9/2017 18:49	47.20	**1.0571**	47.30	1.0022	65.10	1.0014
	12/10/2018 14:42	11.60	1.0000	20.00	1.0000	211.90	**5.8869**
	18/9/2017 15:00	46.60	1.0530	47.20	1.0022	112.10	**1.1406**
4	**Colonia Guillen**						
	11/10/1999	27.90	**1.0017**	37.50	1.0003	43.50	1.0000
	29/5/2002	73.60	1.5798	157.60	5.1271	206.40	**5.2185**
	20/10/2008	24.90	1.0008	61.20	1.0185	94.40	**1.0418**
5	**Colonia José Simón Azcona**						
	26/9/2017 10:23	8.80	1.0000	36.90	1.0002	160.80	**2.1091**
6	**Colonia Nueva Santa Rosa**						
	20/10/2008	24.90	1.0008	61.20	1.0185	94.40	**1.0418**
	1/6/2010	47.40	1.0586	91.90	1.2583	234.80	**9.8680**
	2/6/2010	16.50	1.0000	102.60	1.4664	201.20	**4.6640**
	4/6/2010	20.80	1.0002	84.70	1.1623	157.30	**1.9872**
	7/6/2010	0.30	1.0000	21.10	1.0000	123.70	**1.2594**

7	**Colonia Roberto Suazo Córdova**						
	30/6/1993	0.90	1.0000	57.00	1.0107	121.30	**1.2305**
	28/8/1995	28.10	1.0018	110.40	**1.6797**	125.80	1.2866
	3/9/1995	27.50	1.0015	120.90	2.0730	220.90	**7.1938**
	23/5/2010	78.50	1.7842	137.40	**3.0348**	154.20	1.8881
	16/6/2012	19.70	**1.0001**	21.70	1.0000	33.70	1.0000
8	**Residencial Villa Delmy**						
	3/9/1995	27.50	1.0015	120.90	2.0730	220.90	**7.1938**
	24/5/2010	76.10	1.6783	162.00	**5.7811**	177.00	2.8406

Nota. Elaboración propia

Nótese que en el caso de tener para una fecha más de un valor máximo de 1.000 de entre los acumulados de 2, 5 y 10 días, se seleccionó el de menor acumulado para 2 días. Además, en el caso de tener para un barrio o colonia más de un valor máximo de 1.000 de entre las fechas, se seleccionó el de más reciente fecha de ocurrencia, y en los casos que solo hay un dato se seleccionó ese dato único existente.

Finalmente, para asignarle un periodo de retorno asociado por barrio y colonia, y de esta manera que se puedan hacer comparaciones y análisis por barrio y colonia, en la Tabla 28 se muestra el resultado de seleccionar el valor más bajo del periodo de retorno de entre todas las fechas de eventos para cada barrio y colonia de la Tabla 27 siendo este el que caracteriza el barrio o colonia.

Tabla 28. Periodo de retorno que caracteriza los barrios y colonias del sector 9 del Distritito Central

No.	Barrio o Colonia	Período de retorno del acumulado 2 días	Período de retorno del acumulado 5 días	Período de retorno del acumulado 10 días
1	**Barrio El Rincón**			
	5/10/2018 _ 37.6 mm 2 días	1.0137		
2	**Colonia Canaán**			
	28/5/2009 _ 32.7 mm 5 días		1.0001	
3	**Colonia El Reparto**			
	25/5/2009 _ 14.5 mm 2 días	1.0000		
4	**Colonia Guillen**			
	11/10/1999 _ 27.9 mm 2 días	1.0017		
5	**Colonia José Simón Azcona**			
	26/9/2017 _ 160.8 mm 10 días			2.1091
6	**Colonia Nueva Santa Rosa**			
	20/10/2008 _ 94.4 mm 10 días			1.0418
7	**Colonia Roberto Suazo Córdova**			
	16/6/2012 _ 19.7 mm 2 días	1.0001		
8	**Residencial Villa Delmy**			
	24/5/2010 _ 162 mm 5 días		5.7811	

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO IV

Análisis y Resultados de Datos

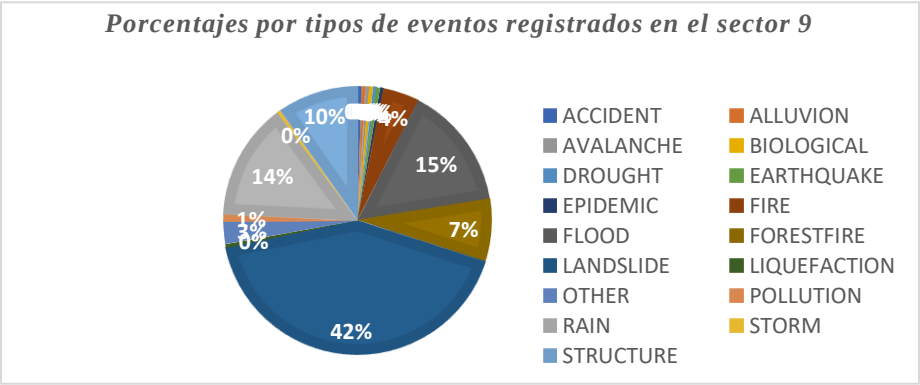
Amenaza y Susceptibilidad por Deslizamiento

En el Sector 9 del MDC de acuerdo a la Tabla 11 existen 40 barrios y colonias debidamente nombrados, oficializados y georreferenciados por la AMDC, de estos elaboró la Tabla 12 aplicando los criterios de que son intersectados por parte de por lo menos un polígono de deslizamiento por los mapas; Multiamenaza (Inundaciones y Movimientos de Ladera) del MDC, Actualizado de inventario de deslizamientos del MDC y Actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del MDC, llamado a este mapa consolidado de los 3 mapas, es así como se resultaron 20 barrios y colonias susceptibles a deslizamientos.

Registro de Deslizamientos

En el Sector 9 del MDC de los 20 barrios y colonias susceptibles a deslizamientos, se elaboró la Tabla 13 donde resultaron 14 barrios y colonias con deslizamientos registrados. Estos se seleccionaron a partir del registro creado con de eventos en el MDC comprendidos en el periodo de 1979-2019, es así como se elaboró el Gráfico 7 que muestra que de estos registros en el MDC sector 9; el 42% corresponde al tipo de evento de deslizamiento, seguido por el 15% de inundación y el 14% de lluvia. Es importante hacer notar que de acuerdo al Gráfico 2, en todo MDC los porcentajes se dividen en; 27% deslizamientos, 24% inundación, 11% estructural y 9% lluvia; mientras en el Gráfico 7 para el sector 9 los porcentajes son; 42% deslizamientos, 15% inundaciones y 14% lluvia.

Gráfico 7. Porcentajes de tipo de evento registrados en los barrios y colonias del sector 9 del MDC durante 1979-2019



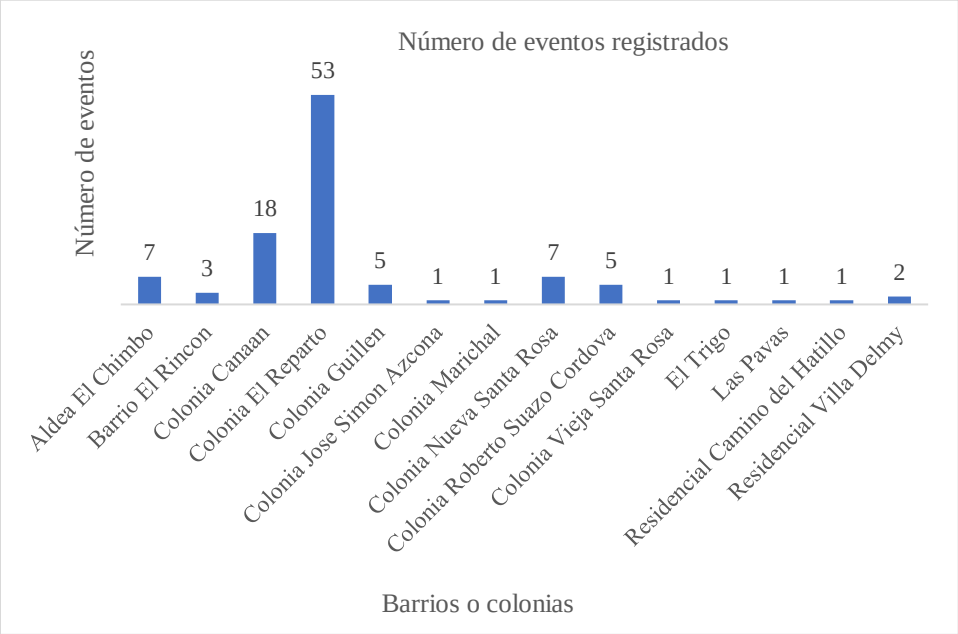
Nota. Elaboración propia

Deslizamientos Activos

En el Sector 9 del MDC de los 20 barrios y colonias susceptibles a deslizamientos, se elaboró la Tabla 14 en donde resultaron 14 barrios y colonias con deslizamientos activos (aquellos que son susceptibles a deslizamientos y que tienen al menos 1 registro de un evento de deslizamiento registrado). El Gráfico 8 muestra el número de eventos registrado por barrio y colonia, siendo los 3 con más registros:

1. Colonia El Reparto con 53 registros
2. Colonia Canaán con 18 registros
3. Colonia Nueva Santa Rosa y El Chimbo ambos con 7 registros

Gráfico 8. Barrios y colonias del sector 9 MDC con número de deslizamientos activos durante el periodo de 1979-2019



Nota. Elaboración propia

Exposición a la Amenaza por Deslizamiento

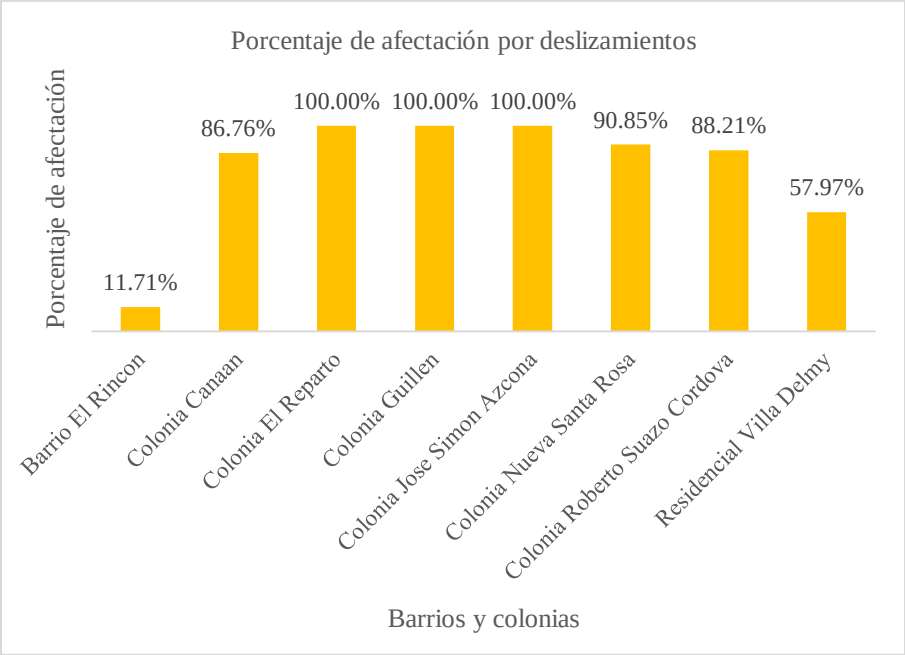
En el Sector 9 del MDC de los 14 barrios y colonias que tienen deslizamientos activos, asumiendo que la información socioeconómica, se distribuye de manera homogénea espacialmente en los polígonos de cada barrio y colonia.

Teniendo como base la Tabla 18 resultó el Gráfico 9 que muestra el porcentaje de afectación que tiene cada barrio y colonia susceptible a deslizamiento y que tiene registrado (activo), y que tiene información socioeconómica, los cuales resultaron 8 barrios y colonias. Este porcentaje de

afectación se estimó respecto al área que es intersectada por el mapa consolidado de los 3 mapas. Tres barrios y colonias resultaron afectadas en el 100% se su área, siendo las siguientes:

1. Colonia El Reparto
2. Colonia Guillen
3. Colonia José Simón Azcona

Gráfico 9. Porcentaje del área de afectación por deslizamientos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



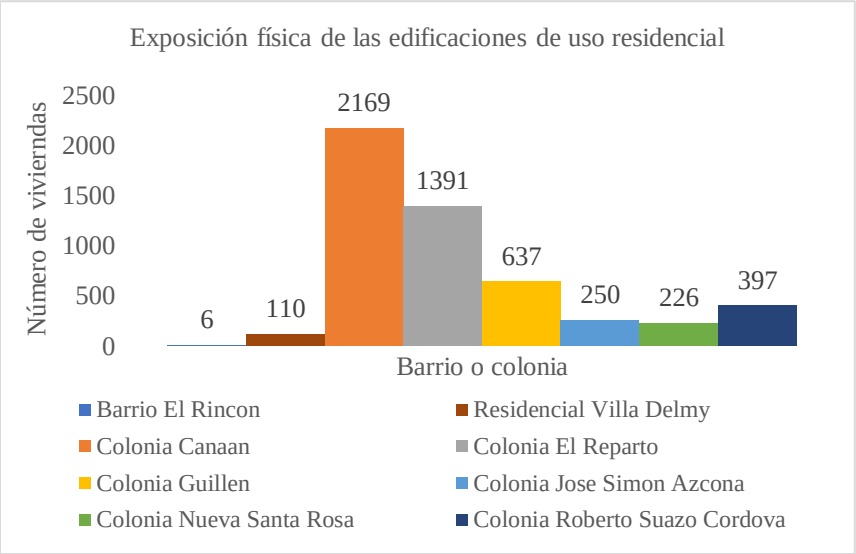
Nota. Elaboración propia

Considerando la información socioeconómica obtenida de la fuente oficial generándose las siguientes tablas y gráficos: (i) Tabla 19, con del resultado de la exposición para estos 8 barrios y colonias; (ii) Gráfico 10 con la exposición de las edificaciones de uso residencial; (iii) Grafico 11 para la exposición humana de la población, (iv) Gráfico 12 para la exposición física infraestructuras críticas por número de edificaciones de; salud, educación, social, comercial e industrial, y (v) Gráfico 13 para la exposición física infraestructuras críticas por porcentaje instalaciones de; agua potable, saneamiento, energía, transporte y telecomunicaciones.

La exposición física de las edificaciones de uso residencial, se muestra en el Gráfico 10 y el mapa de la Figura 27, resultando que los barrios y colonias con mayor número de viviendas expuestas a deslizamientos en el sector 9 del MDC son:

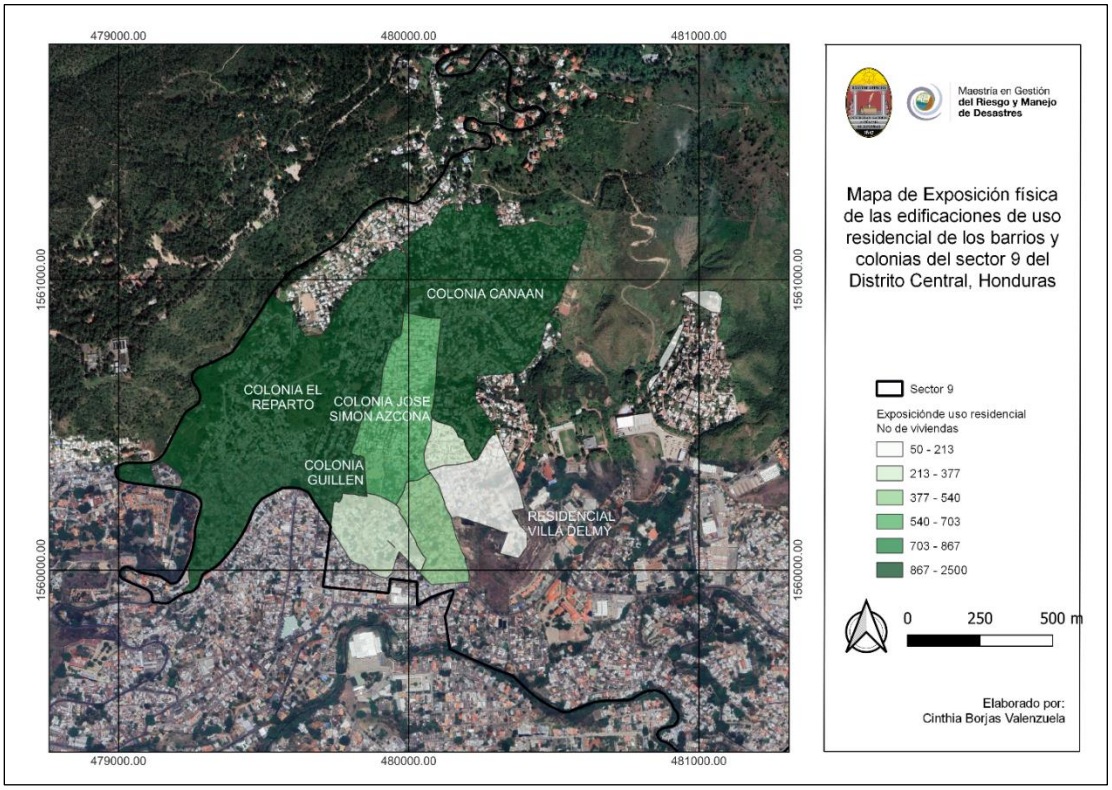
1. Colonia Canaán con 2169 viviendas
2. Colonia El Reparto con 1391 viviendas
3. Colonia Guillen con 637 viviendas

Gráfico 10. Exposición física de las edificaciones de uso residencial de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



Nota. Elaboración propia

Figura 27. Mapa de la Exposición física de las edificaciones de uso residencial de los barrios y colonias del sector 9 del MDC

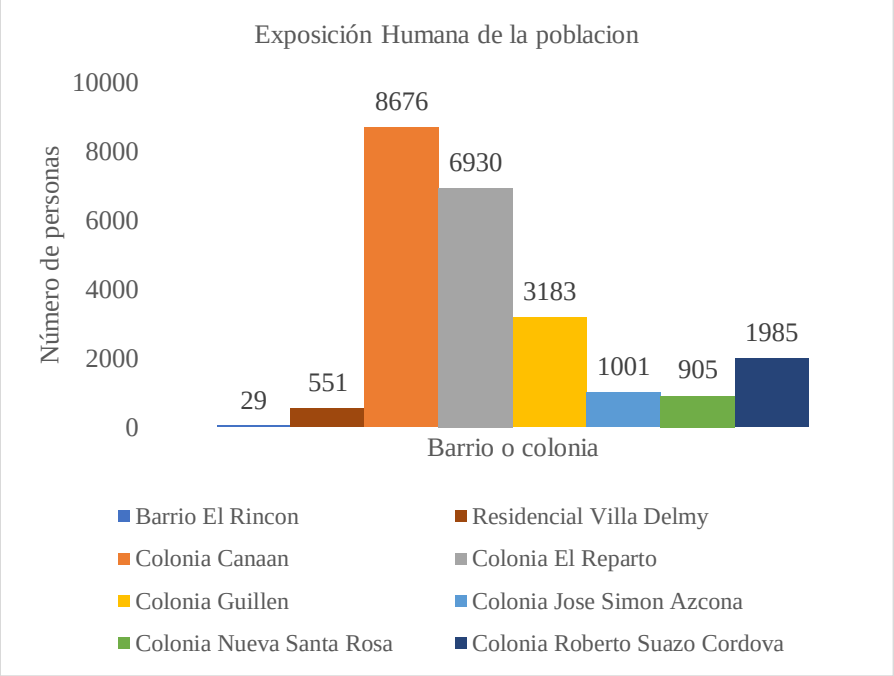


Nota. Elaboración propia

Exposición humana de la población, se muestra en el Gráfico 11 y el mapa de la Figura 28 en donde resultó que los barrios y colonias con más número de personas expuestas a deslizamientos en el sector 9 del MDC son:

1. Colonia Canaán con 8676 personas
2. Colonia El Reparto con 6930 personas
3. Colonia Guillen con 3183 personas

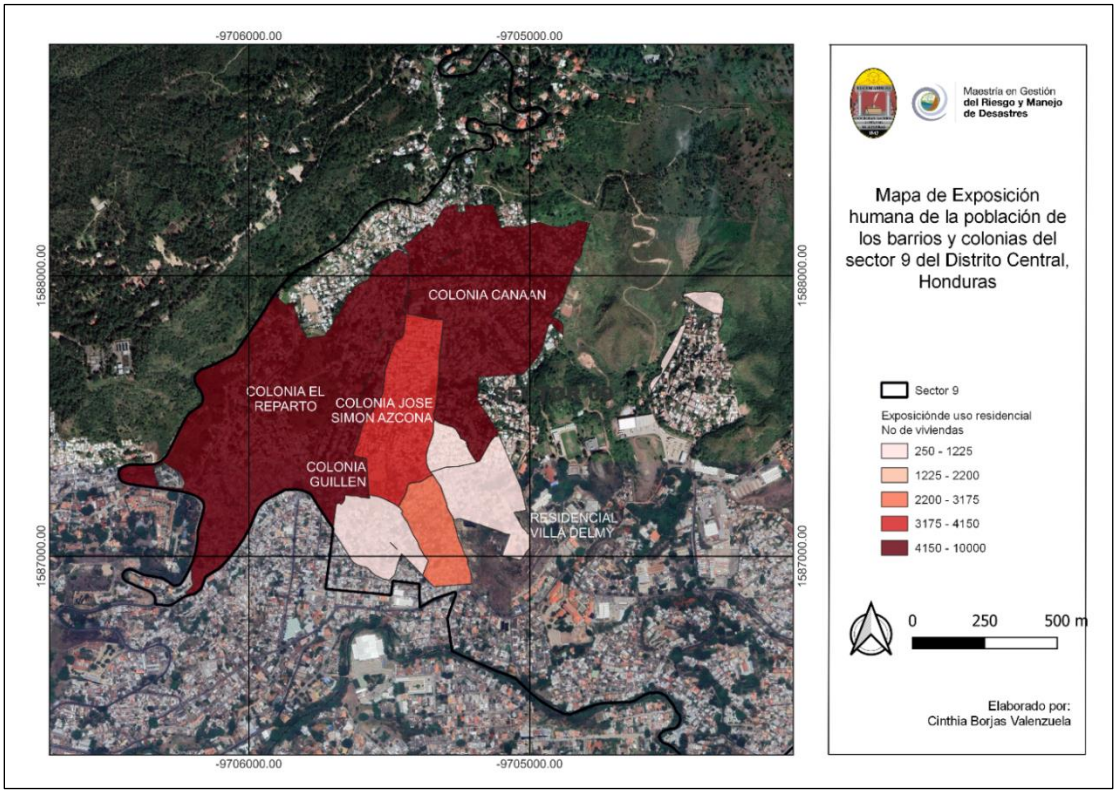
Gráfico 11. Exposición humana de la población de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



Nota. Elaboración propia

Nótese que el número de personas afectadas, no es precisamente el número de viviendas multiplicado por el factor de 4 correspondiente al promedio de número de personas por vivienda, como se observó en la información brindada por el ente oficial que proporciona la información socioeconómica que sirvió de base para clasificar y analizar la exposición. Esto es debido a que las densidades de vivienda y población para cada barrio y colonia son diferentes.

Figura 28. Mapa de la Exposición humana de la población de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



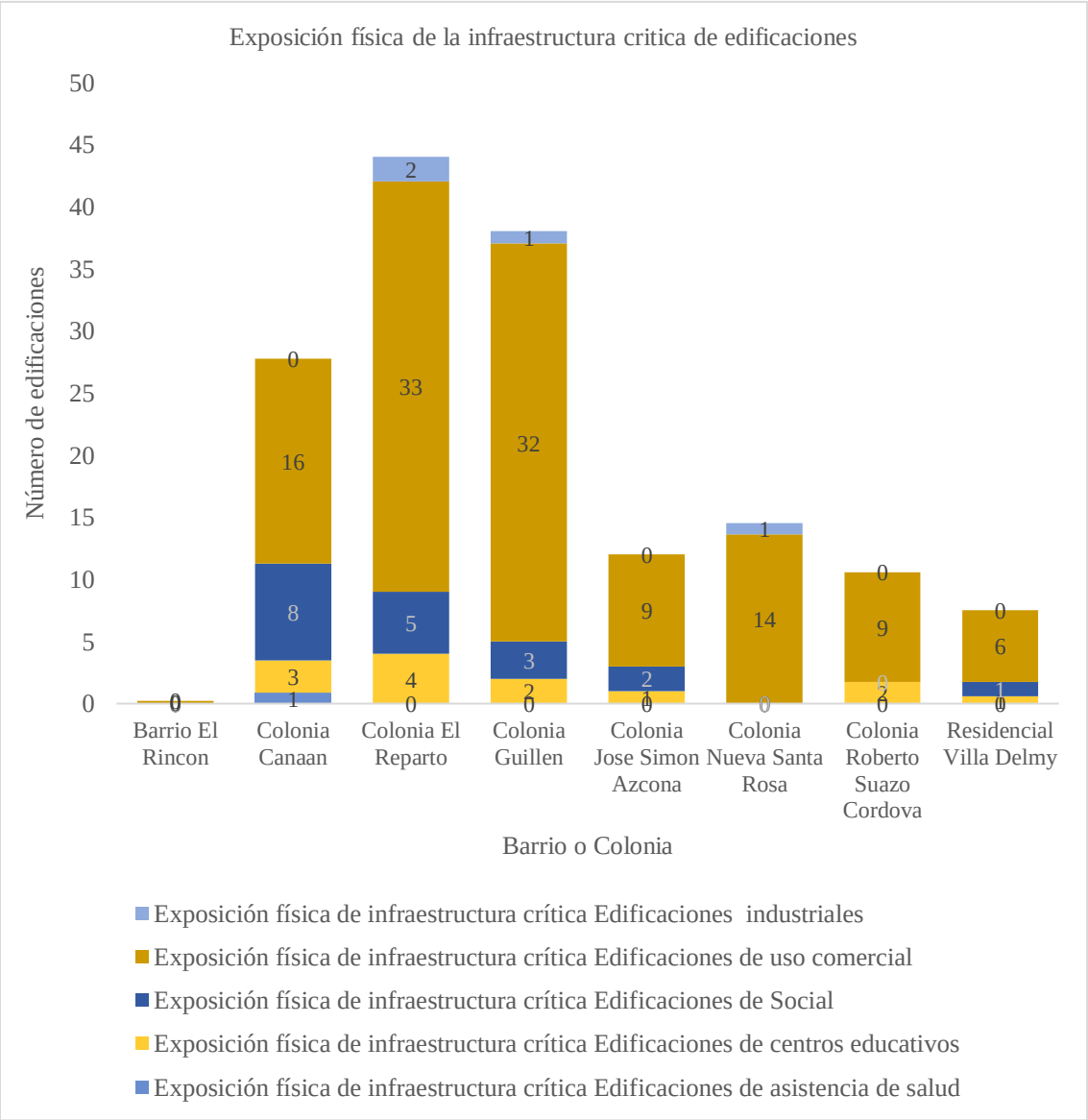
Nota. Elaboración propia

A continuación, se muestran los resultados de los dos grupos que se consideraron para la exposición física de las edificaciones criticas; un grupo que recoge el número de edificaciones de asistencia de salud, centros de educación, uso social, uso comercial y uso industrial, y otro por porcentaje de instalaciones de agua potable, saneamiento, energía, trasporte y telecomunicaciones.

La exposición física de la infraestructura critica por número de edificaciones de asistencia de salud, centros de educación, uso social, uso comercial y uso industrial, se muestran en el Gráfico 12. Los barrios y colonias con mayor número edificaciones de infraestructura críticas expuestas a deslizamientos en el sector 9 del MDC son:

1. Colonia El Reparto con 44 edificaciones
2. Colonia Guillen con 38 edificaciones
3. Colonia Canaán con 28 edificaciones

Gráfico 12. Exposición física de la infraestructura critica por número de edificaciones de los barrios y colonias del sector 9 del MDC

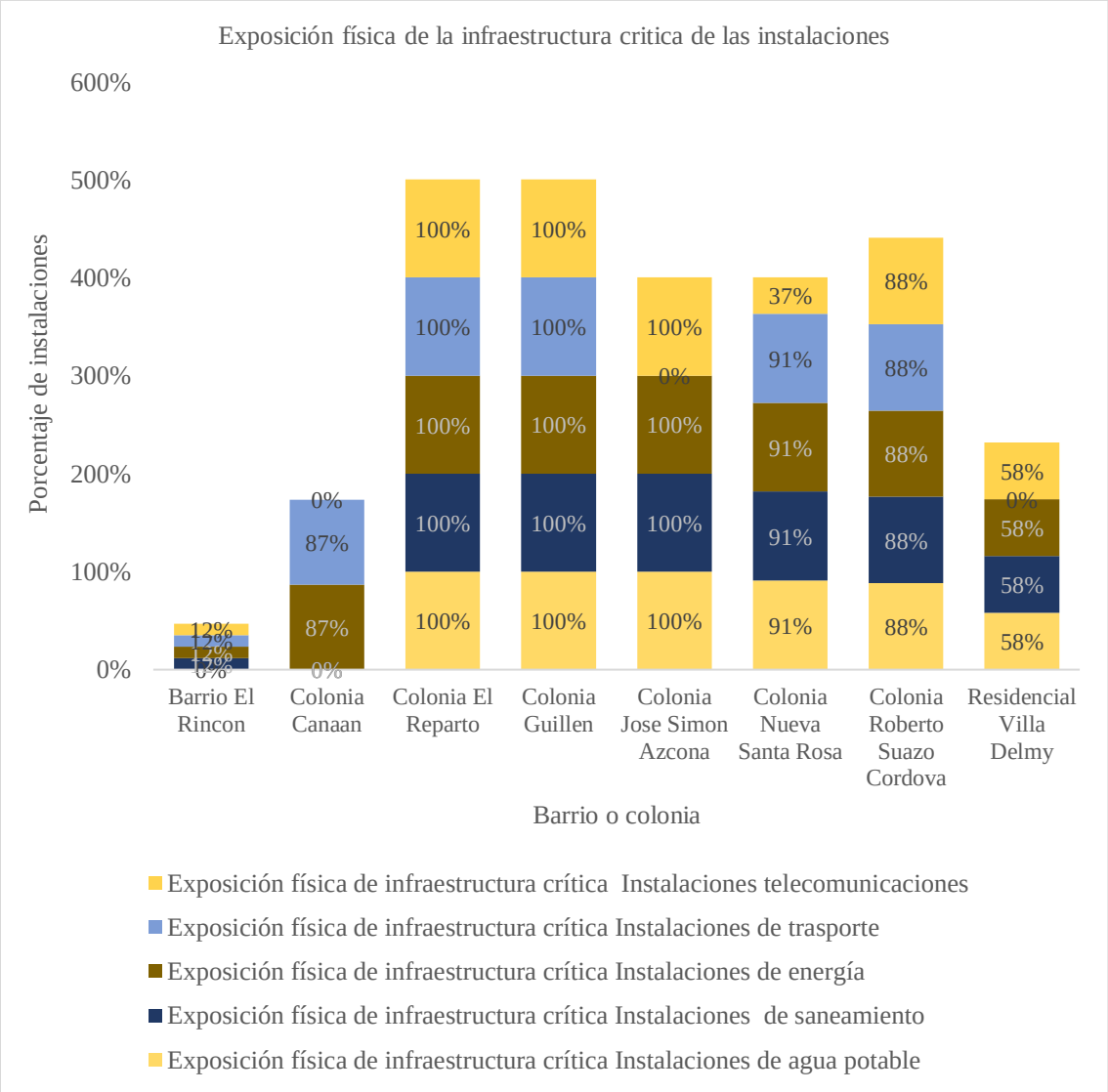


Nota. Elaboración propia

La exposición física de la infraestructura critica por porcentaje de las instalaciones de agua potable, saneamiento, energía, trasporte y telecomunicaciones, se muestran en el Gráfico 13. Los barrios y colonias con mayor número de edificaciones de infraestructura críticas expuestas a deslizamientos en el sector 9 del MDC son:

La colonia El Reparto y la Colonia Guillen ambas con el 100% de las instalaciones.

Gráfico 13. Exposición física de la infraestructura critica por porcentaje de las instalaciones de los barrios y colonias del sector 9 del MDC

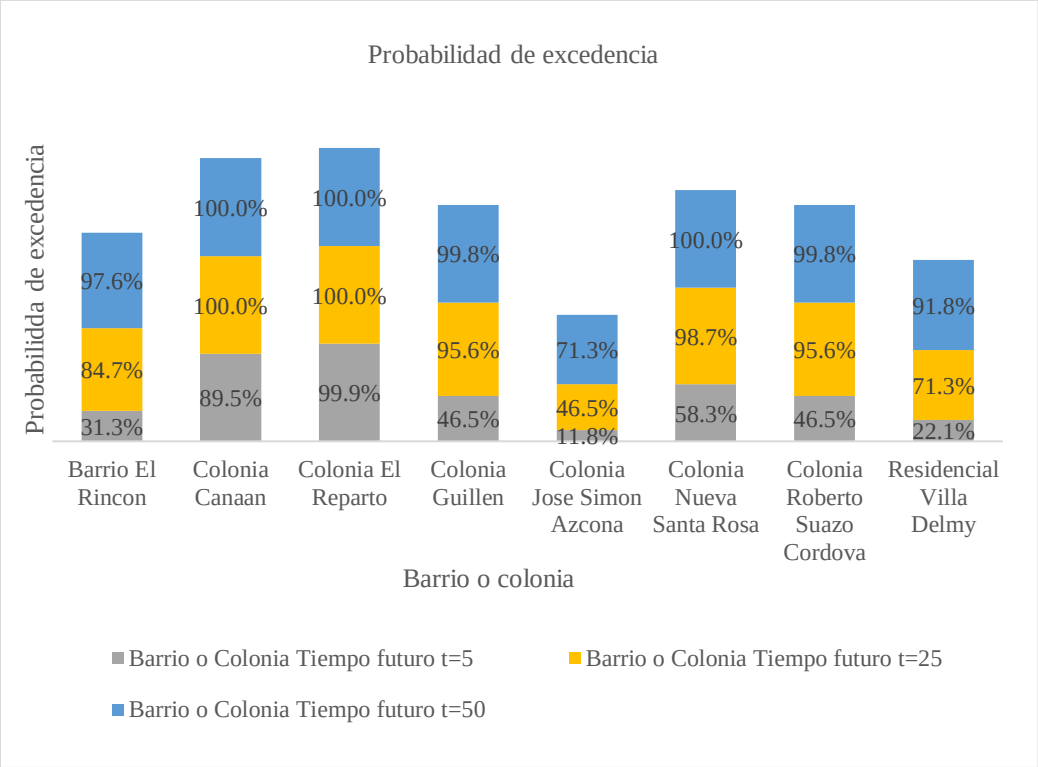


Nota. Elaboración propia

Probabilidad de Excedencia

En el Gráfico 14 y los mapas de las Figuras 29, 30 y 31 se muestra la probabilidad de excedencia basada en el número de eventos registrados utilizados para este análisis de 1979 a 2019, para un tiempo futuro de 5, 25 y 50 años, para los 8 barrios y colonias del Sector 9 del MDC que tienen deslizamientos activos e información socioeconómica, y de acuerdo a la Tabla 20.

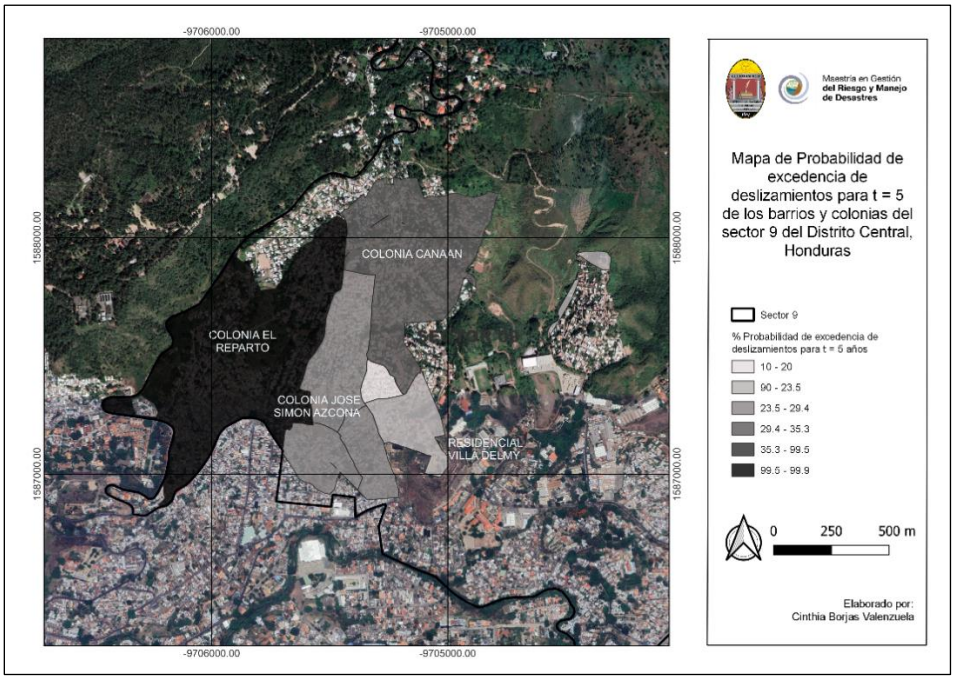
Gráfico 14. Probabilidad de excedencia de deslizamientos para t = 5, 25 y 50 años de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



Nota. Elaboración propia

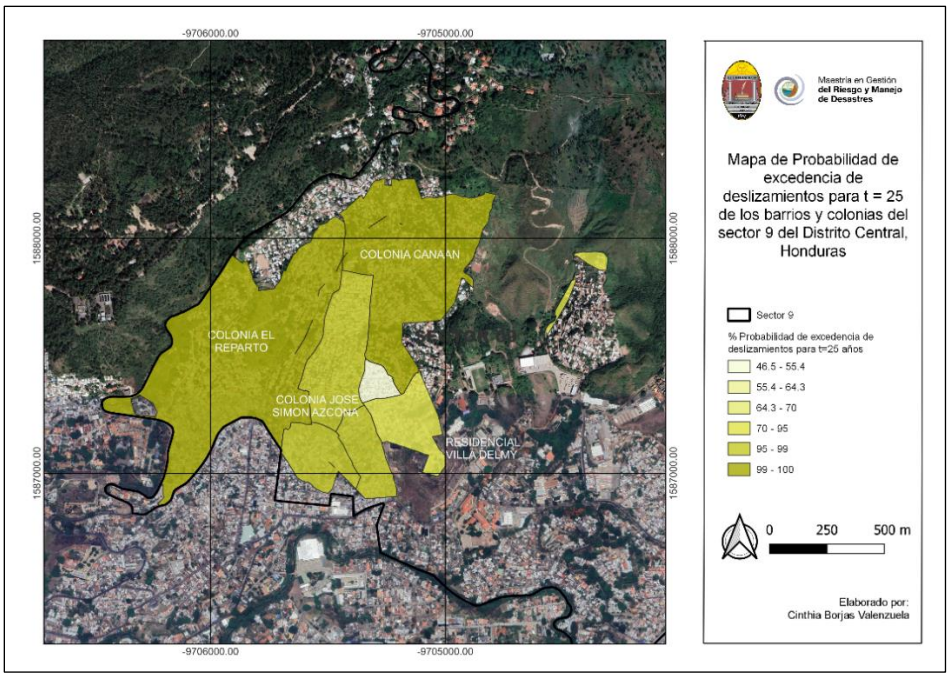
1. Para probabilidad de excedencia de 5 años.
    - Colonia El Reparto con 99.9%
    - Colonia Canaán con 89.5%
    - Colonia Nueva Santa Rosa con 58.3%
2. Para probabilidad de excedencia de 25 años.
    - Colonia El Reparto con 100%
    - Colonia Canaán con 100%
    - Colonia Nueva Santa Rosa con 98.7%
3. Para probabilidad de excedencia de 50 años.
    - Colonia El Reparto con 100%
    - Colonia Canaán con 100%
    - Colonia Nueva Santa Rosa con 100%

Figura 29. Mapa de probabilidad de excedencia de deslizamientos t=5 años de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



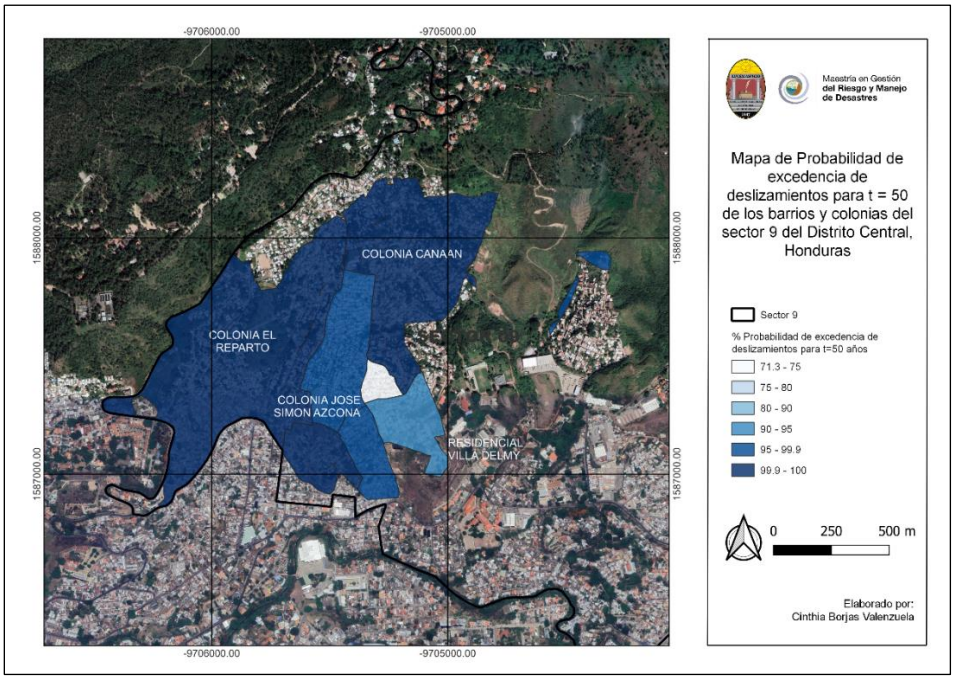
Nota. Elaboración propia

Figura 30. Mapa de probabilidad de excedencia de deslizamientos t=25 años de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



Nota. Elaboración propia

Figura 31. Mapa de probabilidad de excedencia de deslizamientos t=50 años de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



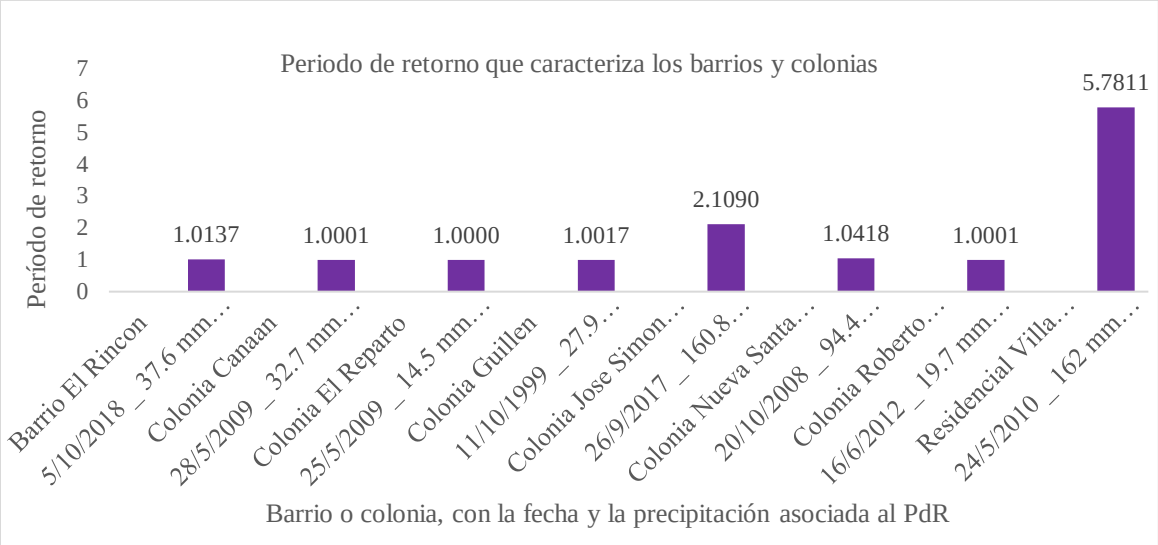
Nota. Elaboración propia

Período de Retorno

El periodo de retorno para los 8 barrios y colonias del Sector 9 del MDC que cuentan con deslizamientos activos e información socioeconómica mostrados en la Tabla 27, basado en el análisis de las precipitaciones ocurridas y registradas en cada uno de ellos, se muestra en el Gráfico 15 y en mapa de la Figura 32, siendo los siguientes 3 los de menor periodo de retorno:

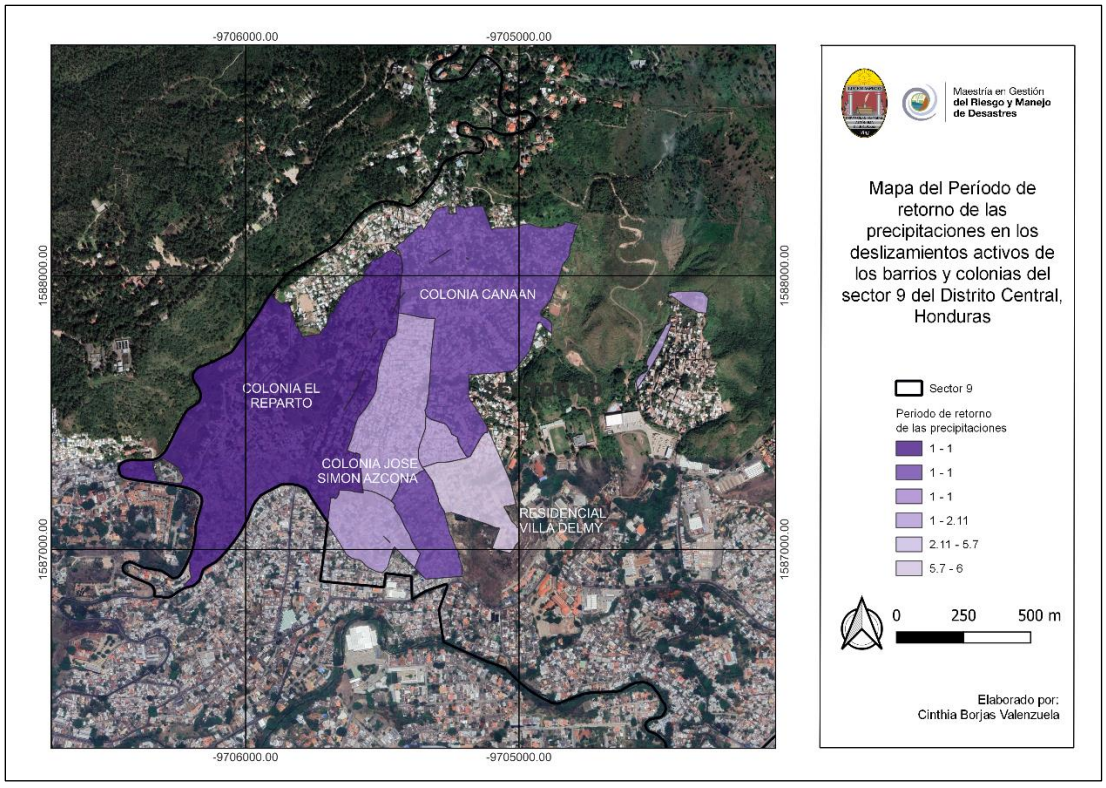
1. Colonia El Reparto con 1.0000 para un acumulado de 14.5 mm en 2 días
2. Colonia Canaán con 1.0001 para un acumulado de 32.7 mm en 5 días
3. Colonia Roberto Suazo Córdova con 1.0001 para un acumulado de 19.7 mm en 2 días

Gráfico 15. Período de retorno de las precipitaciones en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



Nota. Elaboración propia

Figura 32. Mapa del período de retorno de las precipitaciones en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC

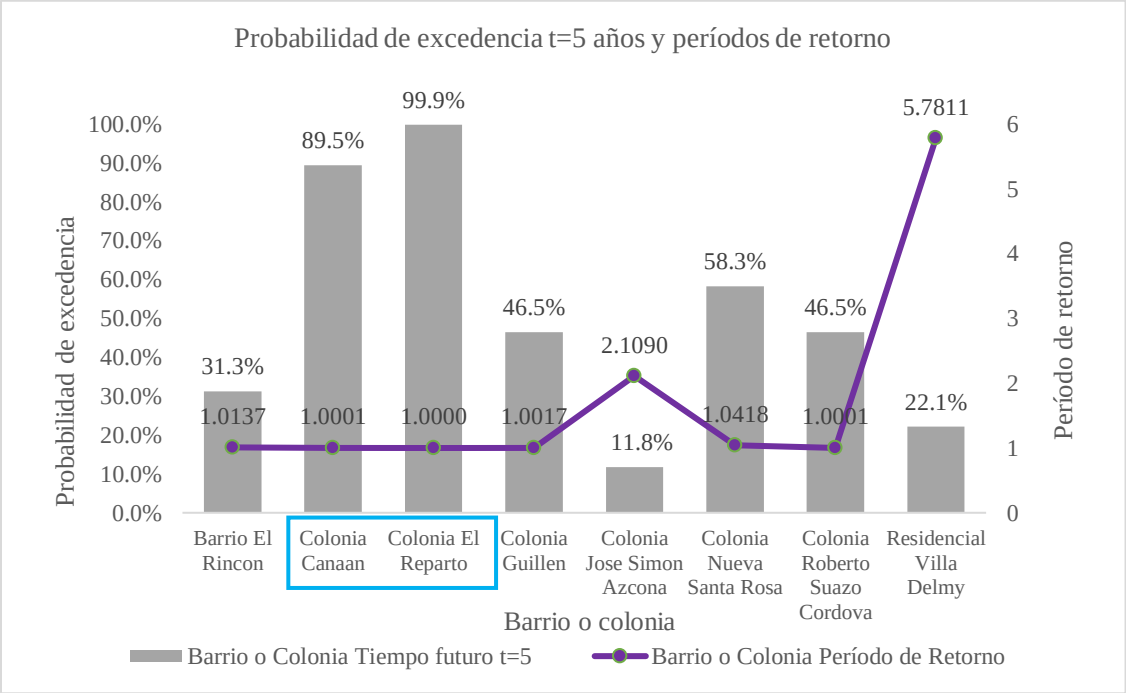


Nota. Elaboración propia

Comparación Probabilidad de Excedencia con Períodos de Retorno

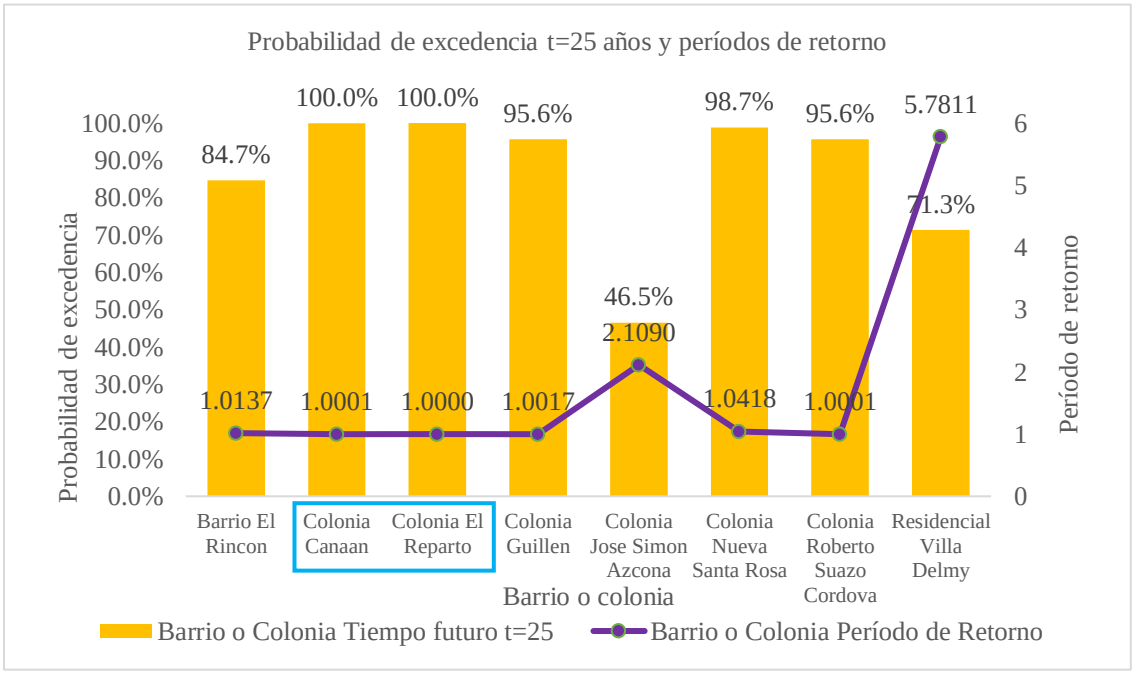
Al realizar una comparación de los valores de probabilidad de excedencia para tiempo futuro de 5, 25 y 50 años con los periodo de retorno en los barrios y colonias del sector 9 del MDC, se observa que estos con son consistentes, los Gráficos 16, 17 y 18 muestran que los dos barrios y colonias que tienen mayor probabilidad de excedencia, es decir la probabilidad de que uno o más deslizamientos ocurran durante un tiempo específico; a la vez son dos de los barrios y colonias que tienen menor periodo de retorno, es decir que el número promedio de años dentro del cual se espera que el evento sea igualado o excedido sólo una vez. Estos son Colonia El Reparto y Colonia Canaán, el resto también siguen un orden similar.

Gráfico 16. Comparación probabilidad de excedencia t=5 con periodos de retorno en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



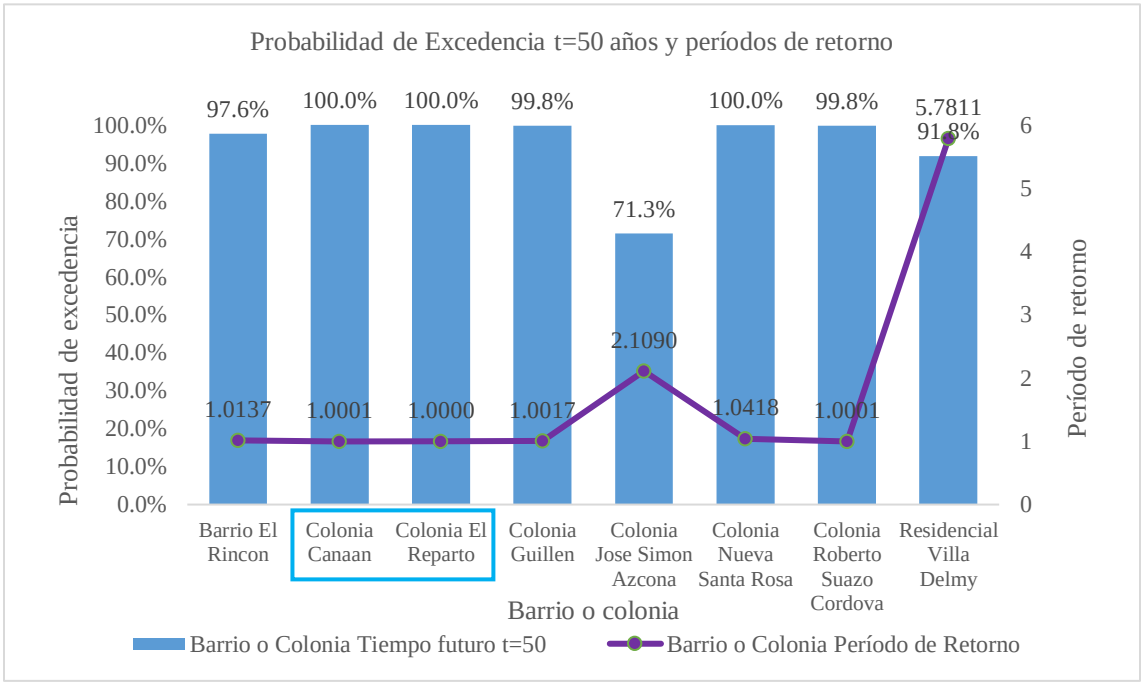
Nota. Elaboración propia

Gráfico 17. Comparación probabilidad de excedencia t=25 con periodos de retorno en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



Nota. Elaboración propia

Gráfico 18. Comparación probabilidad de excedencia t=50 con periodos de retorno en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC

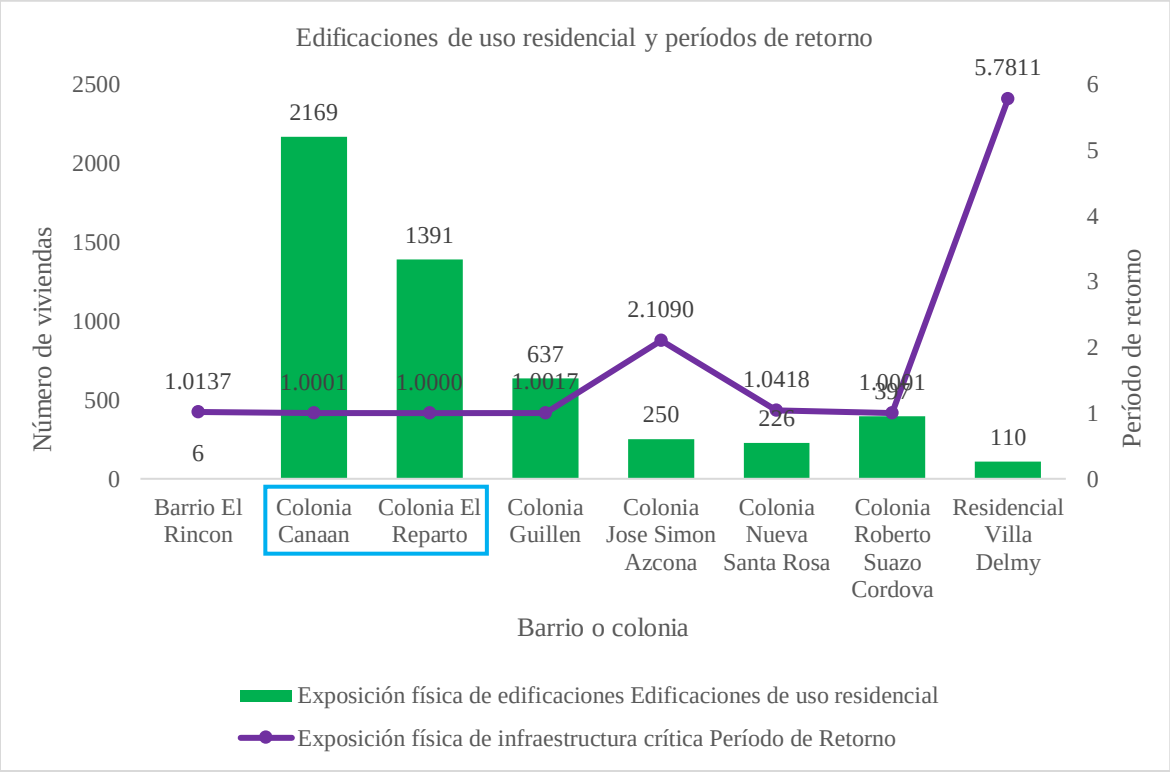


Nota. Elaboración propia

Comparación de Exposición con los Períodos de Retorno

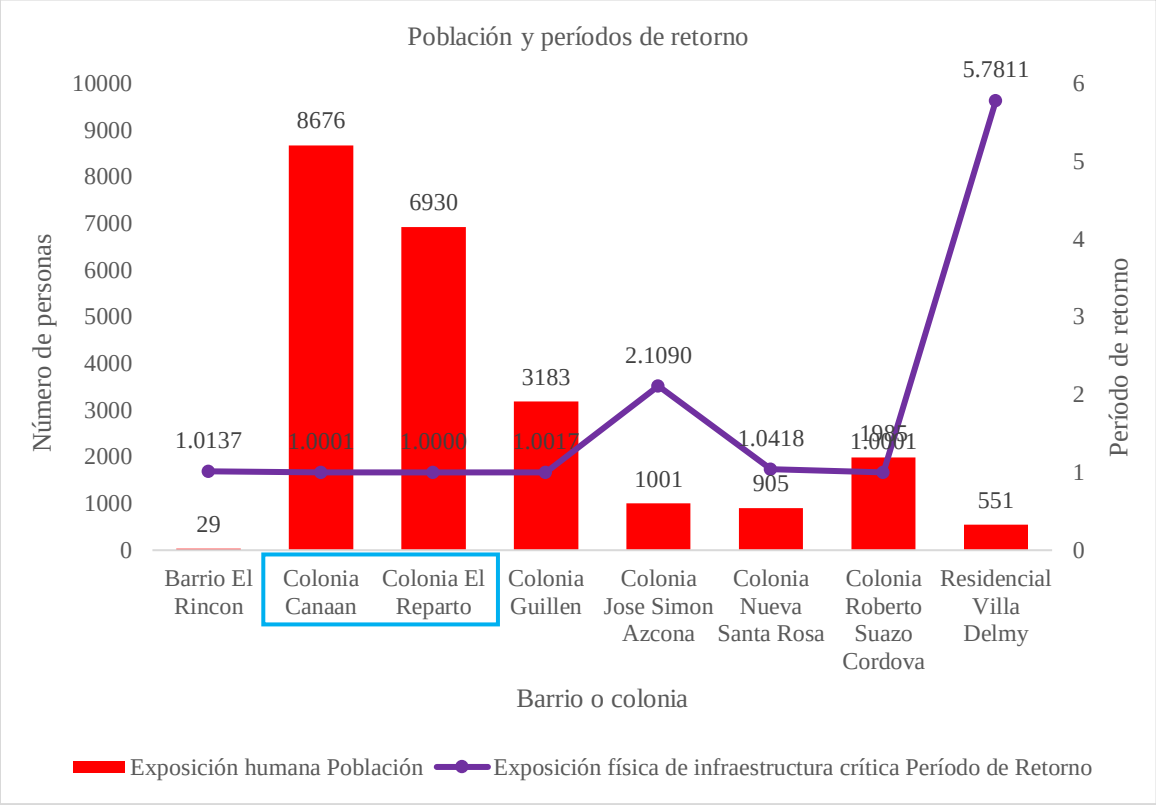
Al realizar una comparación de los valores de exposición con los periodo de retorno en los barrios y colonias del sector 9 del MDC, se observa que estos con son consistentes, los Gráficos 19 y 20 muestran que los dos barrios y colonias que tienen menor periodo de retorno (el número promedio de años dentro del cual se espera que el evento sea igualado o excedido sólo una vez), coinciden con los dos barrios y colonias que presentan una mayor exposición considerando las más exposiciones más relevantes, como la exposición física de las edificaciones de uso residencial, y la exposición humana de la población, este comportamiento consistente con todas las categorías analizadas. Estos son Colonia El Reparto y Colonia Canaán, el resto también siguen un orden similar.

Gráfico 19. Comparación de Exposición física de las edificaciones de uso residencial con periodos de retorno en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



Nota. Elaboración propia

Gráfico 20. Comparación de Exposición humana de la población con periodos de retorno en los deslizamientos activos de los barrios y colonias del sector 9 del MDC



Nota. Elaboración propia

Discusión de Resultados

A pesar de que existen diferentes mapas de amenaza e inventarios de deslizamientos para el MDC, se consideraron aquellos que tienen mejor capacidad explicativa, y que además están basados en los mapas oficiales del municipio. Estos son el mapa Multiamenaza (Inundaciones y Movimientos de Ladera) del MDC, Actualizado de inventario de deslizamientos del MDC y Actualizado de susceptibilidad de deslizamientos basado en coluviones del MDC, los cuales sirvieron como primer filtro para delimitar el área de estudio y la unidad de estudio que es barrio o colonia. Los barrios y colonias susceptibles a deslizamientos del sector 9 se definieron como aquellos que están intersectados por el mapa consolidado de los 3 mapas elaborado. De los 40 barrios y colonias del sector 9, bajo este análisis se identifican tan solo 20 susceptibles a deslizamientos.

El registro de eventos ocurrido en el MDC de 1905-2022 de fuentes oficiales utiliza como base la terminología del sistema Desinventar, razón por la cual se explicó en esta investigación los términos aplicados a los movimientos en masa y los deslizamientos. Algunas de las fuentes

oficiales no aplican esta clasificación de eventos y se limitan solo a las más conocidas, sin embargo, se consideraron los conceptos registrados sin alterar ninguno. Además, en el registro consolidado de eventos de deslizamientos no se encontraron muchos eventos de momentos importantes como los huracanes, tormentas o depresiones, y en especial en los barrios y colonias en donde ocurrieron afectaciones, por lo que en el caso por ejemplo del huracán Mitch en 1998 no fue posible encontrar registros en las muchos barrios y colonias donde hubo afectaciones, por lo cual hizo uso de un reporte de la USGS en donde manifiesta que en el Barrio El Reparto en fecha 31/10/98 ocurrió un deslizamiento.

Como resultado, la base de datos creada para todo el MDC tiene como resultado que el 27% son deslizamientos, seguido por el 24% de inundaciones y 11% estructural, lo que evidencia la importancia de estudiar la amenaza por deslizamiento como la mayor prioridad. Aplicando ese criterio de registros de eventos se reducen a 14 los barrios y colonias con deslizamientos registrados.

Se definió un concepto de barrio y colonia con deslizamientos activos como aquellos que son intersectados por lo menos por uno de los 3 mapas utilizados, y han tenido actividad de movimiento en un periodo reciente, considerándose para esta investigación todos los registros independientemente de la temporalidad en que sucedieron. La temporalidad dependerá del registro, el objetivo y los alcances del estudio, para efecto de esta investigación fue solo necesario que el barrio o colonia tuviera al menos 1 registro de un evento de deslizamiento. Los 6 barrios y colonias que no tenían registros fueron: Cerritos, Colonia El Mirador, Colonia Rio Alto, Colonia Villa Estanzuela, Condominios Monte Vista y Propiedad de Cohdefor. Se puede decir que los resultados son correspondientes con la percepción del riesgo existente en el MDC pues la Colonia El Reparto fue la que presentó el mayor número de registros con 53, seguido por la Colonia Canaán con 18, y las colonias Nueva Santa Rosa y El Chimbo ambas con 7 registros.

Por otra parte, se realizó la clasificación de la exposición en los barrios y colonias del sector 9 del MDC, bajo el enfoque representativo de agregación espacial y de múltiples activos, los cuales se agruparon en 12 tipos de exposición; edificaciones de uso residencial, población, infraestructuras críticas de edificaciones de; salud, educación, social, comercial e industrial, e infraestructuras críticas de instalaciones de; agua potable, saneamiento, energía, transporte y telecomunicaciones. También la edificación de uso social (iglesias) este tipo se creó por la existencia en todos los barrios y colonias como información oficial, además no se tubo información sobre edificaciones de la administración pública.

Por otro lado, no se obtuvo información socioeconómica de 6 barrios y colonias; Aldea El Chimbo, Colonia Marichal, Colonia Vieja Santa Rosa, El Trigo, Las Pavas y Residencial Camino del Hatillo u otra información sobre las edificaciones o instalaciones. De este modo se excluyeron del análisis colonias como la Vieja Santa Rosa, a pesar de presentar actividad reciente de deslizamientos. De

este modo el número de barrios y colonias se redujo de 14 con deslizamientos activos a 8 con información socioeconómica.

Por otro lado, se estimó el porcentaje de afectación de los barrios y colonias como el área que intersecta con el consolidado de los 3 mapas. De este análisis se encontraron 3 colonias o barrios con el 100% de su área intersectada por el mapa consolidado, estas son Colonia El Reparto, Colonia Guillen y Colonia José Simón Azcona.

Los criterios para determinar la relación, densidad, proporción o porcentaje de los elementos expuestos, fueron definidas asumiendo que estas relaciones; densidades de viviendas y personas, número de edificaciones y porcentaje de instalaciones se distribuyen de manera homogénea en cada barrio y colonia. Es así como la exposición se agrupó en 4 bloques: (i) exposición de las edificaciones de uso residencial caracterizado por la densidad de viviendas, (ii) exposición humana de la población caracterizada por el número de personas, (iii) exposición física infraestructuras críticas por número de edificaciones de salud, educación, social, comercial e industrial, y (iv) exposición física infraestructuras críticas caracterizada por el porcentaje de instalaciones de; agua potable, saneamiento, energía, transporte y telecomunicaciones.

Este análisis supone un escenario en donde existe una distribución homogénea de los bienes expuestos. Esta es una simplificación, pues idealmente sería necesario contar con la ubicación exacta de los elementos expuestos para un abordaje más preciso, sin embargo, se considera que esta simplificación es aceptable, considerando los limitantes de información disponible.

El análisis de la exposición de esta manera se obtuvo en unidades consistentes de acuerdo los tipos; exposición física de las edificaciones de uso residencial, exposición humana de la población y exposición física de las edificaciones e instalaciones criticas; también de acuerdo a las unidades de la información recolectada. En el caso de las viviendas se tiene la que la más expuesta es la Colonia Canaán con 2169 viviendas, la Colonia El Reparto con 1391 viviendas y la Colonia Guillen con 637 viviendas. En el caso de las personas expuestas se tiene el mismo orden que para las viviendas, sumando estas 3 colonias más expuestas 18,789 personas expuestas a deslizamientos.

Igualmente, la probabilidad de excedencia en los barrios y colonias del sector 9 del MDC, es un cálculo importante del análisis estadístico temporal de los inventarios y frecuencia de los eventos ocurridos, para conocer la probabilidad de que se produzca uno o más movimientos. Este modelo está basado en el número o frecuencia de eventos ocurridos y registrados en la zona de estudio y los años de observación de los datos utilizados, en donde se supone que la ocurrencia futura de los deslizamientos se comportará de manera similar a los datos históricos. Este análisis resulta interesante al contrastarlo con el período de retorno que es basado en los datos de precipitación y las fechas de los eventos registrados. El análisis realizado se basó en el estudio realizado por Coe et al (2004) que expresa que el intervalo de recurrencia media histórica se utiliza para estimar el

intervalo de recurrencia media futura bajo el supuesto de que la ocurrencia futura de movimientos de ladera será similar a la ocurrencia histórica de movimientos de ladera. (Pág. 111). Este cálculo nos mostró que, en los 40 años de registro de eventos y para los 3 tiempos de observación considerados de 5, 25 y 50 años, las colonias con mayor probabilidad de excedencia son; la Colonia El Reparto, Colonia Canaán y Colonia Nueva Santa Rosa, llegando al 100% las 3 en el escenario de 50 años.

El periodo de retorno de las precipitaciones en los barrios y colonias del sector 9 del MDC es un cálculo probabilístico, que nos muestra temporalmente la ocurrencia de un determinado valor de lluvia, a la cual se asocia un evento de deslizamiento. En la actualidad resulta de mucha importancia conocer estos valores para la RRD por ejemplo para los Sistemas de alerta Temprana (SAT), entre otros esquemas de la GIRD en las ciudades. Por otra parte, de los métodos más utilizados es el método de distribución de Gumbel, con el cual se trabajó en esta investigación, realizándose además una comparación se gráfica de Gumbel con el método de Weibull.

Se utilizaron los datos de precipitación diaria anual de la estación más cercana al sector 9, que fue la de la UNAH conteniendo datos desde 1979-2019. Los periodos de retorno se calcularon mediante la fórmula de Gumbel, para los acumulados de 2, 5 y 10 días, estos parámetros fueron seleccionados tomando considerando el estudio de Garcia-Urquia & Axelsson (2015) que evaluó la precisión de cada umbral para distinguir entre días con y sin movimientos de ladera, encontrando que el umbral de 7 días tuvo el mejor rendimiento (Pág. 1). También se descartaron valores tomando en cuenta lo manifestado por Valenzuela (2017) en donde los valores de precipitaciones acumuladas en 5 días anteriores, son inferiores a 20 mm, la relación lluvia-deslizamiento se consideró dudosa y, por ello, se descartaron (pág. 102).

Se aplicó este análisis para aquellos eventos registrados en los 8 barrios y colonias del sector 9 con deslizamientos activos, seleccionando aquellos valores mayores para cada barrio y colonia y para cada acumulado, de acuerdo a lo estudiado y aplicando el método de Gumbel, de acuerdo a Zêzere et al (2004) en donde se asume como valores críticos las combinaciones extremas desde el punto de vista estadístico (pág. 143). También en la misma línea de la selección del valor Suárez (2022), con base a Zêzere et al (2004), establece que se le atribuye el evento de deslizamiento el mayor periodo de retorno que resulta de los cálculos de estos para los distintos parámetros de lluvia antecedente (Pág. 38). Obteniendo así, el valor del periodo de retorno que caracteriza cada barrios y colonia.

Es así como resultó tener el más alto periodo de retorno la Residencial Villa Delmy con un periodo de retorno de 5.7811; y en los 3 barrios y colonias que tienen más bajo valor son Colonia El Reparto con 1.0000 para un acumulado de 14.5 mm en 2 días, Colonia Canaán con 1.0001 para un acumulado de 32.7 mm en 5 días, y Colonia Roberto Suazo Córdova con 1.0001 para un acumulado de 19.7 mm en 2 días. En esta etapa de la investigación se observó la falta de registros

oficiales durante eventos importantes como el huracán Mitch en 1998 y la importancia para diferentes aspectos de la GIRD de calcular el periodo de retorno para los 8 barrios y colonias.

Analizado los valores de periodo de retorno con la probabilidad de excedencia de los barrios y colonias, son contrastados, a pesar de ser estos calculados de manera independiente pues el cálculo de la probabilidad de excedencia está basado en la frecuencia de eventos registrados, mientras el cálculo del periodo de retorno está basado en los datos de precipitación, de esta manera muestran una similitud en su interpretación consistente. Al compararlos los valores de la probabilidad de excedencia con los valores de periodos de retorno resultó que son consistentes, encontrando que los dos barrios y colonias que tienen mayor probabilidad de excedencia, es decir la probabilidad de que uno o más deslizamientos ocurran durante un tiempo específico; a la vez son dos de los barrios y colonias que tienen menor periodo de retorno, es decir que el número promedio de años dentro del cual se espera que el evento sea igualado o excedido sólo una vez. Estos son Colonia El Reparto y Colonia Canaán, el resto también siguen un orden similares. Los valores de periodos de retorno bajos, en torno a 1 año, que se obtienen para varios de los barrios analizados coinciden con las conclusiones del estudio de Garcia-Urquia & Axelsson (2015), evidenciando la importancia de las intervenciones humanas en la activación de deslizamientos y limitando la posibilidad de usar exclusivamente umbrales de lluvia para predecir la activación de deslizamientos, dado que se activan con lluvias de muy baja intensidad.

Finalmente, la relación de la exposición con los periodos de retorno nos muestra que es posible calcular los periodos de retorno para visualizar y relacionarlos con los elementos expuestos a la amenaza por deslizamiento. Bajo una clasificación; edificaciones de uso residencial, población, infraestructuras críticas de edificaciones de; salud, educación, social, comercial e industrial, e infraestructuras críticas de instalaciones de; agua potable, saneamiento, energía, transporte y telecomunicaciones. En esta investigación es una mirada a las posibles pérdidas o daños por tipo de exposición que podrían ocurrir en 8 barrios y colonias del sector 9 del MDC, con una probabilidad de una vez en X años (periodo de retorno) de haber un evento potencialmente dañino, puesto que la exposición es una condición “sine qua non” para que exista el riesgo.

CAPÍTULO V

Conclusiones

1. En el análisis de la amenaza y susceptibilidad por deslizamiento de los 40 barrios y colonias oficialmente existentes, 20 fueron intersectados por Mapa consolidado de los 3 mapas Multiamenaza (Inundaciones y Movimientos de Ladera) del MDC, Actualizado de inventario de deslizamientos del MDC y Actualizado de susceptibilidad de deslizamientos

basado en coluviones del MDC. Estos son los barrios y colonias susceptibles a deslizamientos.

2. En el registro creado de eventos ocurridos y registrados en sector 9 del MDC, cuyas fuentes son; MDC-Desinventar, UNAH-Desinventar, CODEM, Reporte de ticket diario CODEM, Línea 100 CODEM, Afectaciones ETA y afectaciones IOTA, USGS, Periódicos El Heraldo y La Tribuna. Hay 95 registros de deslizamientos y en el total de los eventos los mayores porcentajes de acuerdo al tipo de evento son:
    - Deslizamiento 42%
    - Inundación 15%
    - Lluvia 14%
3. En la definición de deslizamientos activos en los barrios y colonias del sector 9 del MDC, aquellos que son susceptibles a deslizamientos y tienen por lo menos 1 registro de evento de deslizamiento, encontrándose 14 barrios y colonias, de las cuales las que presentan más registros son:
    - Colonia El Reparto con 53 registros
    - Colonia Canaán con 18 registros
    - Colonia Nueva Santa Rosa y El Chimbo ambos con 7 registros
4. Previo al análisis de la exposición fue necesario estimar el porcentaje del área de afectación de cada barrio y colonia, aspecto que se estimó a partir del área que es intersectada por el mapa consolidado de los 3 mapas, resultando afectadas el 100% las siguientes:
    - Colonia El Reparto
    - Colonia Guillen
    - Colonia José Simón Azcona
5. Para la clasificación de la exposición a deslizamientos de los barrios y colonias en sector 9 del MDC, esta se agrupó en 4 bloques por unidad de medición y utilizando por km2; densidades de vivienda y población, cantidades y porcentajes para las edificaciones e instalaciones críticas, que resultó lo siguiente:
        - Exposición física de las edificaciones de uso residencial, los barrios y colonias con más número de viviendas expuestas a deslizamientos en el sector 9 del MDC son:
            - Colonia Canaán con 2169 viviendas
            - Colonia El Reparto con 1391 viviendas
            - Colonia Guillen con 637 viviendas
        - Exposición humana de la población, los barrios y colonias con más número de personas expuestas a deslizamientos en el sector 9 del MDC son:
            - Colonia Canaán con 8676 personas
            - Colonia El Reparto con 6930 personas
            - Colonia Guillen con 3183 personas

- Exposición física de la infraestructura critica por número de edificaciones. Los barrios y colonias con más número edificaciones de infraestructura críticas de expuestas a deslizamientos en el sector 9 del MDC son:
    - Colonia El Reparto con 44 edificaciones
    - Colonia Guillen con 38 edificaciones
    - Colonia Canaán con 28 edificaciones
- Exposición física de la infraestructura critica por porcentaje de las instalaciones, se muestra en el Gráfico 13, resultando que los barrios y colonias con más número edificaciones de infraestructura críticas expuestas a deslizamientos en el sector 9 del MDC son:
    - Las Colonia El Reparto y la Colonia Guillen presentan el 100% de las instalaciones expuestas.

6. En el cálculo de la probabilidad de excedencia de deslizamientos en los barrios y colonias sector 9 del MDC, basada en el número de eventos registrados para un tiempo futuro de 5, 25 y 50 años, resultaron los siguientes barrios y colonias con mayor probabilidad de excedencia:
    - Para probabilidad de excedencia de 5 años.
        - Colonia El Reparto con 99.9%
        - Colonia Canaán con 89.5%
        - Colonia Nueva Santa Rosa con 58.3%
    - Para probabilidad de excedencia de 25 años.
        - Colonia El Reparto con 100%
        - Colonia Canaán con 100%
        - Colonia Nueva Santa Rosa con 98.7%
    - Para probabilidad de excedencia de 50 años.
        - Colonia El Reparto con 100%
        - Colonia Canaán con 100%
        - Colonia Nueva Santa Rosa con 100%
7. En el cálculo del periodo de retorno de las precipitaciones que caracterizan los barrios y colonias del sector 9 del MDC, basado en el análisis y calculo con el método de Gumbel de las precipitaciones ocurridas y registradas en cada uno de ellos, resultó los siguientes 3 barrios y colonias como los de menor periodo de retorno:
    - Colonia El Reparto con 1.0000 para un acumulado de 14.5 mm en 2 días
    - Colonia Canaán con 1.0001 para un acumulado de 32.7 mm en 5 días
    - Colonia Roberto Suazo Córdova con 1.0001 para un acumulado de 19.7 mm en 2 días
8. Es importante indicar que los resultados son consistentes con algunos de los deslizamientos recientes acontecidos en el sector 9, particularmente en la colonia Guillen y Suazo Córdoba, donde se produjeron deslizamientos durante la reciente temporada de lluvias de

2022. En el caso del Reparto las intervenciones de estabilización realizadas con el apoyo de JICA en años recientes contribuyeron sin duda a que no se produjeran nuevas reactivaciones de los deslizamientos. Estos eventos recientes se considera que contribuyen a validar la metodología aplicada para identificar zonas expuestas a los deslizamientos y refirma la importancia de que los distintos actores puedan considerar las recomendaciones que emanan del presente estudio.

9. La relación existente entre la probabilidad de excedencia y el periodo de retorno de estos 2 barrios y colonias, son consistentes, estos son los que tienen mayor probabilidad de excedencia, es decir la probabilidad de que uno o más deslizamientos ocurran durante un tiempo específico; a la vez que los mismos 2 barrios y colonias tienen menor periodo de retorno, es decir que el número promedio de años dentro del cual se espera que el evento sea igualado o excedido sólo una vez.
10. La relación de la exposición con los periodos de retorno de las precipitaciones ocurridas en los deslizamientos activos en los barrios y colonias del sector 9 del MDC, son consistentes, es decir que los 2 barrios y colonias que tienen menor periodo de retorno (el número promedio de años dentro del cual se espera que el evento sea igualado o excedido sólo una vez), coinciden con los 2 barrios y colonias que presentan una mayor exposición considerando las más exposiciones más relevantes, como la exposición física de las edificaciones de uso residencial, y la exposición humana de la población. Este comportamiento consistente con todas las categorías analizadas. Estos son Colonia El Reparto y Colonia Canaán, el resto también siguen un orden similar.
11. Los análisis estadísticos como el calculo de periodo de retorno es un parámetro importante en la GIRD para la predicción de eventos de deslizamientos y los sistemas de alerta temprana, pero, estos se deben considerar también aquellos elementos antrópicos en la construcción social del riesgo como sistemas de agua potable y saneamiento en mal estado que aportan infiltración al suelo y procesos constructivos inadecuados en las obras de infraestructura en general, entre otros aspectos.
12. La importancia de conocer la exposición de viviendas, personas, edificaciones e instalaciones de infraestructura critica bajo la amenaza por deslizamientos radica en la capacidad que esto proporciona para una gestión efectiva del riesgo de desastres, dado que es clave en la estimación de las pérdidas económicas causadas por deslizamientos, de manera tal que cuanto más se comprenda la exposición, más precisa será la valoración económica del riesgo, lo que a su vez permite tomar medidas de prevención y mitigación más efectivas para reducir estas pérdidas.
13. Conocer la exposición a la amenaza por deslizamientos es esencial para una planificación del uso del suelo sostenible, porque esto permite evitar la construcción de viviendas y edificaciones en áreas propensas a deslizamientos, contribuyendo así a un desarrollo urbano más seguro y sostenible.

14. La exposición es un factor determinante en la planificación de la respuesta y la recuperación después de un deslizamiento, dado que conocer la cantidad de personas y activos en riesgo facilita la movilización de recursos y la atención a las necesidades de la comunidad afectada de manera más eficiente.

Recomendaciones

1. A las autoridades, organizaciones y cooperación internacional, estudiar más a detalle los deslizamientos en los 20 barrios y colonias susceptibles a deslizamientos del sector 9 del MDC (ver Tabla 12).
2. La tarea de registro de eventos es muy importante para la GIRD porque estos son la materialización de los desastres. Sería conveniente realizar una homologación del formato de registro, así como capacitaciones, protocolos, responsables y plataformas donde registrarlos. En temporada de lluvia se debería prestar atención a registrar los eventos en un registro formal, porque para efectos de investigaciones como la presente resulta una limitante que no haya registros en momentos de interés como son las tormentas, depresiones y huracanes.
3. A las autoridades, organizaciones y cooperación internacional, impulsar más estudios de las principales amenazas que tiene el sector 9 MDC, dado que según los registros los más frecuentes son; Deslizamiento 42%, Inundación 15% y Lluvia 14%.
4. Prestar atención a aquellos barrios y colonias que tienen mayor número de registros, estos son; Colonia El Raparto con 53 registros, Colonia Canaán con 18 registros y Colonia Nueva santa Rosa y Chimbo ambas con 7 registros.
5. Generar más estudios para afinar el nivel de detalle de la amenaza y susceptibilidad por deslizamiento en aquellos barrios y colonias que tienen el 100% de su territorio afectado por el mapa consolidado, estos son; Colonia El Reparto, Colonia Guillen y Colonia José Simón Azcona.
6. Es importante trabajar en la RRD en los barrios y colonias del sector 9, disminuyendo la exposición en aquellos barrios y colonias con mayor número de personas expuestas como ser; Colonia Canaán con 8,676 personas, Barrio El Reparto con 6,930 personas y Colonia Guillen con 3,183 personas.
7. A las autoridades municipales, tomando en cuenta los resultados del cálculo de la probabilidad de excedencia de deslizamientos en los barrios y colonias del sector 9 del MDC, este basado en el número de eventos registrados para diferentes horizontes de tiempo futuro, se debe colocar instrumentos de medición de precipitación como pluvímetros como parte de los sistemas de alerta temprana en las comunidades, en aquellas que tienen mayor probabilidad de excedencia, estas son; Colonia El Reparto, Colonia Canaán y Colonia Nueva Santa Rosa; puesto que son las que presentan una mayor probabilidad de que uno o más deslizamientos ocurran durante un tiempo específico.

8. Para los encargados de los sistemas de alerta temprana del municipio, se deberán tomar en cuenta estos datos del cálculo de los periodos de retorno de las precipitaciones en los barrios y colonias del sector 9 con deslizamientos activos, principalmente en aquellas con el menor valor calculado de periodo de retorno que lo caracteriza; Colonia El Reparto 1.000, Colonia Canaán 1.0001 y Colonia Roberto Suazo Córdova 1.0001. Por otro lado, dado que se evidencia que intensidades relativamente bajas pueden activar los deslizamientos, se recomienda combinar los sistemas de alerta temprana basados en umbrales de lluvia con otras técnicas como monitoreo comunitario, para detectar indicadores de posible activación de movimientos de forma oportuna.
9. El contenido de esta investigación proporciona conocimiento y brinda insumos para realizar el análisis siguiente para los 8 barrios y colonias estudiados. Tomando como ejemplo la Colonia El Reparto con periodo de retorno que lo caracteriza de 1.0000, es decir que se espera que el evento sea igualado o excedido al menos una vez cada año, al producirse un acumulado de 14.5 mm de lluvia en 2 días.
10. Mejorar los registros de los eventos de eventos deslizamientos porque estos juegan un papel importante en la GIRD. Este registro se debe realizar en todo momento, principalmente durante la temporada de lluvia, pues se observó que la falta de registros oficiales durante el huracán Mitch en 1998 y otros momentos importantes donde acontecieron precipitaciones significativas, limitó un análisis más completo.

CAPÍTULO VI

Bibliografía

Agencia de Cooperación Internacional del Japón JICA. (2014). *Manual para la elaboración del mapa de inventario de deslizamientos de tierra.* Tegucigalpa: Publigáficas.

Agencia de Cooperación Japonesa. (2017). *Minuta de reuniones entre JICA y AMDC.* Tegucigalpa: JICA.

Alcaldía Municipal del Distrito Central. (2014). *Plan de Desarrollo Municipal con Enfoque en Ordenamiento Territorial.* PATH.

Alcaldía Municipal del Distrito Central. (2017). Acuerdo de creación del Reglamento de funcionamiento del COMUDE. *Sesión de Corporación.* Tegucigalpa: AMDC.

Alcaldía Municipal del Distrito Central. (2017). Acuerdo Municipal de Creación del Comité Municipal de Datos Espaciales. *Sesión de Corporación.* Tegucigalpa: AMDC.

Alcaldía Municipal del Distrito Central. (2017). *Reglamento de funcionamiento del Comité Municipal de Datos Espaciales.* Tegucigalpa: AMDC.

Alcaldía Municipal del Distrito Central. (2018). Acuerdo de Creación de la Política Municipal de Gestión Integral de Riesgos de Desastres del Distrito Central. *Sesión de Corporación.* Tegucigalpa: AMDC.

Alcaldía Municipal del Distrito Central. (2018). *El Plan de Acción para la Reducción de Riesgos de Desastres del Distrito Central.* UNDRR.

Alcaldía Municipal del Distrito Central. (2018). *Política Municipal de Gestión Integral de Riesgos de Desastres del Distrito Central.* AMDC.

Alcaldía Municipal del Distrito Central. (2020). *Diagnóstico Institucional Municipal del Plan Local de Adaptación al Cambio Climático del D.C.* Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente.

Alcaldía Municipal del Distrito Central. (2020). *Plan Local de Adaptación al Cambio Climático del Municipio del Distrito Central.* Tegucigalpa M.D.C.: Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente.

Balzer, D., & Jager, S. &. (2010). *Manual para la Evaluación de la Exposición al Riesgo frente a Amenazas Naturales en Centroamérica - El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua.* San Salvador: Hannover.

Banco de Desarrollo Alemán Kreditanstalt für Wiederaufbau. (2018). *Acuerdo Separado del Programa de Adaptación Urbana al Cambio Climático en Centroamérica, Componente Honduras.* KfW.

Banco Mundial. (2018). *Estudio de la Urbanización en Centroamérica*. Washington.

Barahona, L. (2009). *Manual de Métodos y Técnicas de Investigación.* Tegucigalpa.

Barandiarán, M., Maricarmen, E., Lacambra, S., Suárez, G., & Zuloaga, D. (2019). *Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático para Proyectos del BID.* BID.

Bastar, S. G. (2012). *Metodología de la Investigación.* Ciudad de México: Red Tercer Milenio S. C.

Begemann, A., & Velasco, O. (2017). *Propuesta de diseño de programa.* Tegucigalpa: Antje Begemann y Osmar Velasco.

Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación.* Bogotá: Pearson Educación.

Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central CEPREDENAC. (2017). *Política Centroamericana de Gestión Integral de Riesgo de Desastres.* CEPREDENAC/SICA.

Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada.* McGRAW-HILL.

Coe, J., Michael, J., Crovelli, R., & Savage, W. (2004). Evaluación probabilística de movimientos de ladera provocados por precipitaciones utilizando registros históricos de ocurrencia de movimientos de ladera. *U.S. Geological Survey*, 111.

Cruden, D., & Varnes, D. (1996). Landslides Types and Processes. En N. Academy, *Landslides: Investigation and Mitigation, Special report 247* (págs. 36-75). Washington D.C.

Eckstein, D., Hutfils, M.-L., & Winges, M. (2018). *Índice Global de Riesgo Climático 2019.* Germanwatch e.V.

Eckstein, D., Künzel, V., Schäfer, L., & Winges, M. (2019). *Índice Global de Riesgo Climático 2020.* Germanwatch e.V.

Eckstein, D., Künzel, V., Schäfer, L., & Winges, M. (2020). *Índice Global de Riesgo Climático 2021.* Germanwatch e.V.

García, E., Suárez, G., Esquivel, M., Ruiz, A., Zuloaga, D., & Chevalier, O. (2019). *Bases generales para el desarrollo de estudios reducción de riesgos hidroclimáticos en cuidades.* Washington D. C.: BID.

Garcia-Urquia, E., & Axelsson, K. (2015). Umbrales de lluvia para el inicio de deslizamientos urbanos en Tegucigalpa, Honduras, una aplicación de la intensidad crítica de lluvia. *Geogr Ann Ser A Phys Geogr*. https://doi.org/10.1111/.geoa.12092

Instituto Nacional de Estadística. (2018). *Encuesta permanente de hogares de propósitos múltiples 2018.* Tegucigalpa, M. D. C.

Instituto Nacional de Estadística. (2018). *Estadísticas de Distrito Central, Francisco Morazán.* Tegucigalpa, M. D. C.

Martínez, D., & Suárez, G. (Mayo de 2011). Mapa Multiamenaza (Inundaciones y Movimientos de Ladera) del Municipio del Distrito Central - República de Honduras.

Navarro Racines, C., Monserrate Rojas, F., Llanos Herrera, L., Obando Bonilla, D., & Córdoba Sánchez, J. (2018). *Desarrollo de Escenarios Climáticos de Honduras.* Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres. (9 de Febrero de 2023). *UNDRR Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres*. https://www.undrr.org/sites/default/files/inline-images/SF%20and%20SDGs%20-%202.png

Olarte, J. M. (2017). *Clasificación de movimientos en masas y su distribución en terrenos geológicos de Colombia.* Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Organización de las Naciones Unidas. (2009). *Terminología sobre Reducción de Riesgo de Desastres.* Ginebra: Organización de las Naciones Unidas.

Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030.* ONU.

Organización de las Naciones Unidas. (2016). *Informe del grupo de trabajo intergubernamental de expertos de composición abierta sobre los indicadores y la terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres.* ONU.

Organización de las Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe.* ONU.

Organización de las Naciones Unidas. (9 de Febrero de 2023). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris

Organización de las Naciones Unidas. (20 de Febrero de 2023). *Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres UNDRR*. https://www.undrr.org/sites/default/files/inline-images/What%20is%20the%20SF%20-%201.jpg

Republica de Honduras. (1982). *Constitución de la Republica de Honduras.* Tegucigalpa: OIM Editorial.

República de Honduras. (26 de Diciembre de 2009). Ley del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos SINAGER. *La Gaceta*.

República de Honduras. (12 de Julio de 2018). Reglamento de zonificación, obras y uso de suelo en el Distrito Central. *La Gaceta*, págs. 51-53.

República de Honduras. (18 de Octubre de 2017). Reglamento para la Reducción del Riesgo de Desastres en el Distrito Central. *La Gaceta*.

Sampieri, R. H., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación.* México D. F.: McGRAW-HILL.

Schmelkes, C., & Elizondo, N. (2010). *Manual para la presentación de anteproyectos e informes de investigación (tesis).* Ciudad de México: OXFORD University Presss.

Secretaría de Coordinación General del Gobierno. (2021). *Plan de Reconstrucción y Desarrollo Sostenible de Honduras.* PNUD.

Secretaría Recursos Naturales y Ambiente (MiAmbiente+). (2021). *Actualización de la Contribución Nacional Determinada de Honduras.* Tegucigalpa, M. D. C.

Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Guía Metodológica para la Zonificación de la Amenaza por Movimiento en Masa.* Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

Servicio Geológico de Estados Unidos. (2002). *Huracán Mitch: Caudal de Creciente en Tramos de Ríos Seleccionados en Honduras.* Servicio Geológico de Estados Unidos.

Sierra, E. A. (2010). *Tesis Análisis Regional de Crecidas máximas para Honduras.*

Suárez Vázquez, G. (2013). *Manual para la Evaluación del Riesgo del Emplazamiento y del Medio Construido.* PNUD.

Suárez Vázquez, G. (2022). *Tesis Doctoral Movimientos de terreno en el municipio de Tegucigalpa, Honduras.* Universidad de Oviedo.

Suárez Vázquez, G., & Domínguez-Cuesta, M. J. (9 de Septiembre de 2020). Mejorando el poder predictivo de susceptibilidad a movimientos de ladera a través del mapeo de coluvión en Tegucigalpa, Honduras. *Springer Nature*, págs. 1-20. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04294-0

Suarez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico.* Bogotá: Ingeniería de Suelos Ltda.

Terraza, H., Viguri, S., & Zambrano, P. (2015). *Estudio de Crecimiento Urbano de Tegucigalpa, Honduras.* BID.

Terraza, H., Viguri, S., & Zambrano, P. (2015). *Estudio de Riesgo de Desastres y Vulnerabilidad de Tegucigalpa, Honduras.* BID.

Terraza, H., Viguri, S., & Zambrano, P. (2016). *Plan de Acción de Tegucigalpa y Comayagüela.* Tegucigalpa: BID.

Valenzuela, P. (2017). *Desencadenamiento de deslizamientos en Asturias (NO de España). Modelado de las condiciones de lluvia y humedad del suelo.* Universidad de Oviedo.

Zêzere, J., Reis, R., García, R., Oliveira, S., Rodríguez, L., Vieira, G., & Ferreira, A. (2004). Integración de datos espaciales y temporales para la definición de diferentes escenarios de peligro de deslizamiento de tierras en la zona norte de Lisboa (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Science, Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union, 4*(1), 143. https://doi.org/hal-00299085

CAPÍTULO VII

Anexos

Anexo 1. Tabla de registro de eventos ocurrido en el Distrito Central entre 1905-2022 (En digital)

Anexo 2. Tabla de barrios y colonias con los registros de deslizamientos del sector 9 del Distrito Central (En digital)

Anexo 3. Tabla de información socioeconómica de los barrios y colonias del sector 9 del Distrito Central (En digital)

Anexo 4. Tabla de precipitaciones diarias Estación hidrometeorológica UNAH con registros de 1979 al 2019 (En digital)