



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD
CONTEXTOS URBANOS

**OPORTUNIDADES DE MITIGACIÓN DEL RIESGO EN EL CERRO DEL PEÑÓN A
PARTIR DE LOS ELEMENTOS Y LA CONFIGURACIÓN DE LA FORMA URBANA**

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD

PRESENTA:

SAKIKO RTUTORA PRINCIPAL)IVERA YOSHIDA

TUTORA PRINCIPAL:

MTRA. ELENA TUDELA RIVADENEYRA (UNAM, FACULTAD DE ARQUITECTURA
COMITÉ TUTOR

DRA. AMY MICHELLE LERNER
UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA, SAN DIEGO. ESTUDIOS Y PLANEACIÓN URBANA

DRA. LAURA ELENA MARTÍNEZ SALVADOR
UNAM, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES

DRA. ELIZABETH TELLMAN
UNIVERSIDAD DE ARIZONA. ESCUELA DE GEOGRAFÍA, DESARROLLO Y MEDIO
AMBIENTE

MTRA. CLAUDIA GABRIELA ORTIZ CHAO
UNAM, FACULTAD DE ARQUITECTURA

DRA. DORA CELIA CARREÓN FREYRE
UNAM, CENTRO DE GEOCIENCIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, MAYO DEL 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Coordinación de Estudios de Posgrado
Ciencias de la Sostenibilidad
Oficio: CGEP/PCS/078/22
Asunto: Asignación de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar
Universidad Nacional Autónoma de México
Presente

Me permito informar a usted, que el Comité Académico del Programa de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, en su sesión 78 del 15 de marzo del presente año, aprobó el jurado para la presentación del examen para obtener el grado de **MAESTRA EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD**, de la alumna **Rivera Yoshida Sakiko** con número de cuenta **414044032** con la tesis titulada "Oportunidades de mitigación del riesgo en el Cerro del Peñón a partir de los elementos y la configuración de la forma urbana", bajo la dirección de la Mtra. Elena Tudela Rivadeneyra.

PRESIDENTA: M. EN C. CLAUDIA GABRIELA ORTIZ CHAO
VOCAL: DRA. DORA CELIA CARREÓN FREYRE
SECRETARIA: MTRA. ELENA TUDELA RIVADENEYRA
VOCAL: DRA. LAURA ELENA MARTÍNEZ SALVADOR
VOCAL: DRA. AMY MICHELLE LERNER

Sin más por el momento me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, Cd. Mx., 27 de mayo de 2022.



Dr. Alonso Aguilar Ibarra
Coordinador
Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM

Agradecimientos institucionales

Agradezco al Programa de Maestría en Ciencias de la Sostenibilidad y a la Universidad Nacional Autónoma de México por compartir todos sus conocimientos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca #1085019.

A los miembros del comité tutorial: Mtra. Elena Tudela Rivadeneyra, Dra. Amy Michelle Lerner, Dra. Laura Martínez Salvador, Dra. Elizabeth Tellman. Muchas gracias por sus comentarios, su compromiso, su apoyo y su entusiasmo en cada etapa del proyecto para conducirlo de la mejor manera. Me siento muy contenta y afortunada por haberlas tenido como comité, en donde cada una con sus diferentes perspectivas me hicieron afirmar lo apasionante que es estar dentro de la academia.

A mis profesores del Posgrado. Por su tiempo y dedicación en cada una de sus clases.

Agradecimientos personales

A los miembros del jurado: Mtra. Elena Tudela Rivadeneyra, Dra. Amy Michelle Lerner, Dra. Laura Elena Martínez Salvador, Dra. Claudia Gabriela Ortiz Chao y Dra. Dora Celia Carreón Freyre. Muchas gracias por sus comentarios, sus correcciones que le dieron estructura esta tesis y por todo su apoyo en el proceso de titulación.

A Elena Tudela. Por tu apertura en todo momento y desde el otro lado del mundo. Tu libertad, tu entusiasmo y tu paciencia hicieron que disfrutara muchísimo este proyecto desde los primeros pasos en donde todo se veía muy amplio y confuso. Te agradezco mucho por mostrarme nuevos caminos, conocimientos y enfoques desde tu sensibilidad como persona y arquitecta.

A Amy Lerner. Por sus comentarios tan puntuales y certeros que me hicieron reflexionar y encontrar el rumbo del proyecto. Muchas gracias por ayudarme a ver el faro en los momentos indicados.

A Laura Martínez. Por estar presente en los momentos en donde todo me resultaba confuso y ayudarme a desenredar lo que no me permitía avanzar. Muchas gracias por todos sus comentarios que me hicieron sentir segura para poder continuar.

A Beth Tellman. Por transmitirme su alegría y su pasión por las nuevas metodologías. Gracias por su entusiasmo en cada reunión que influyó en mis ganas de querer seguir aprendiendo.

Al Dr. Alonso Aguilar, Ángel Rodríguez, María José Solares y Carolina Contreras. Por siempre brindarme su apoyo y aclarar mis dudas en cada uno de los procesos de la maestría.

A Alejandro Guerra, Axel Sotelo y Lourdes Bello del equipo de la SGIRPC. Qué gusto saber que muchas de las decisiones actuales y futuras están se están llevando a cabo con tanta sensibilidad y entusiasmo. Les agradezco mucho por su tiempo, su apoyo y el intercambio de conocimientos.

A Alma García y a Guadalupe Noriega del equipo del INEGI. Por compartir su trabajo conmigo. Muchas gracias por su tiempo y sus asesorías.

A la Dra. María Teresa Ramírez. Coincidir en el último proceso de este proyecto, me ayudó muchísimo para afirmar mis ganas de seguir profundizando en la complejidad del riesgo. Muchas gracias por su tiempo y sus reflexiones.

Más agradecimientos personales

A mi hermana. Gracias a tu apoyo, tus consejos, tu paciencia y tu cariño he llegado a este día. ¡Por fin llegó tan esperado momento! Me siento muy afortunada de que hayas sido tú quien me mostró el lado de la academia y la ciencia desde tantas y tan diferentes etapas. Muchísimas gracias por acompañarme en todo lo que implicó este proyecto de inicio a fin con los correos, las correcciones en la madrugada, los análisis, las presentaciones, el CQ a la máxima potencia, las ideas, las reflexiones, las crisis y por mucho, las alegrías que pudimos compartir juntas.

A mi papá y a mi mamá. Me han enseñado cómo es la vida desde muchísimas perspectivas. Les agradezco infinitamente por todo su apoyo, esfuerzo, cariño y dedicación a lo largo de toda mi vida. Por enseñarme a tener disciplina, constancia y encontrar lo apasionante en todo lo que haga. Gracias por apoyarme y acompañarme para terminar una etapa más de mi vida.

A Nico y a Gabi. Por hacerme tener siempre presente lo bonito que es mantener curiosidad y alegría por los nuevos aprendizajes.

A José Chamorro. Por todo el tiempo, el entusiasmo y los desvelos que fueron acompañados de risas y discusiones a diferentes escalas territoriales. Muchas gracias por querer ser parte de este proyecto y seguir en el proceso a pesar de todas mis ocurrencias tan, pero tan constantes. Nosotros verdaderamente hicimos transdisciplina.

A Michelle, Remi, Carlos, Lucina y Sofía. Ustedes hicieron la diferencia en todo lo que implicó esta maestría. Muchas gracias por todos los momentos que compartimos llenos de alegrías y desahogo de frustraciones de la vida, las clases y los proyectos. Me siento muy afortunada de poder conocerlos con su forma tan bonita de ver la vida, en donde a pesar de todas las condiciones anormales con las que cursamos el posgrado, pudimos conocernos y acompañarnos de forma tan cercana y cálida.

A Ana Carranza. Tus risas y tus palabras siempre me acompañaron desde el inicio de este proyecto. Muchísimas gracias por tu apoyo, las eternas pláticas, tu compañía en los desvelos, tus consejos, por escucharme y aconsejarme en tantos aspectos tan diferentes y por tu amistad incondicional. ¡Que la vida nos permita seguir compartiendo más momentos y logros juntas!

A Ricardo Goñi. Por acompañarme en el estrés y en la alegría del término de este proyecto. Gracias por tu cariño, por emocionarte y festejar conmigo.

A Tiberio Wallentin. Por sus correcciones y sus reflexiones que influyeron muchísimo en mis ganas de seguir profundizando en la teoría y en resolver problemas complejos desde el diseño. Muchas gracias por transmitirme su pasión por la arquitectura y por hacer que la encontrara yo también.

A José Bernal. Por escucharme y leerme en cada una de mis propuestas.

A Israel Ramírez. Por todo el cariño y la dedicación que transmite en sus clases que inspira a seguir creciendo como estudiante y como persona.

0. Resumen

La planificación del suelo urbano involucra diferentes configuraciones de la forma urbana que pueden incrementar su resiliencia en situaciones de desastres naturales. Dentro de un contexto en donde la dinámica de las actividades humanas en el espacio urbano ha alterado constantemente su relación con el medio natural es visible la falta de control y el desconocimiento de nuevas estrategias que permitan abordar la incertidumbre ante estos desastres. A través del caso de estudio del Cerro del Peñón, Iztapalapa ubicado al oriente de la Ciudad de México se visualizó cómo la configuración de los lotes, bloques, espacios abiertos y redes, considerados como elementos de la forma urbana, está estrechamente vinculada con la exposición al riesgo por inundaciones y susceptibilidad al deslizamiento de laderas. Para poder caracterizar el riesgo y la forma urbana, se recolectaron datos de fuentes oficiales y se generaron mapas través del procesamiento de imágenes LiDAR, Sentinel-2A, Landsat Copernicus y MDE's en un Sistema de Información Geográfica. Estos modelos, sirvieron para analizar la interconexión entre los dos factores estresores y realizar un análisis cuantitativo y descriptivo de los dos diferentes patrones urbanos del Cerro del Peñón que corresponden al planificado y al no-planificado. A través de ellos, se definieron las características particulares de los elementos y la configuración de la forma urbana, que pueden incrementar o reducir el riesgo en diferentes eventos de desastres. Finalmente, se definieron cuáles son las oportunidades en acciones de intervenciones urbanas que permitan la mitigación del riesgo en cada patrón.

Palabras clave: riesgo, forma urbana, susceptibilidad al deslizamiento de laderas, inundaciones, patrones de urbanización.

0. Abstract

Urban land-use planning involves different configurations of the urban form that can increase its resilience to natural disasters. In urban contexts, where human dynamics have constantly altered their relationship with the natural environment, there is a clear lack of control and knowledge of new strategies to address the uncertainty in natural disasters. Through the case study of Cerro del Peñon, Iztapalapa, Mexico City, the close relationship between the configuration of lots, blocks, open spaces and networks, as elements of the urban form, and their exposure to flood risk and landslides was visualized. In order to characterize the risk to landslides and floods, data were collected from official sources and LiDAR, Sentinel-2A, Landsat Copernicus and DEMs maps were processed in GIS software to visualize the interconnection between the two types of stressors. Additionally, quantitative and descriptive analyses were carried out of the two different urban patterns of Cerro del Peñón, corresponding to the planned and unplanned urbanization. Through these analyses, the particular characteristics of the urban form elements and the configuration of the urban form were defined, which can increase or reduce the risk in different disaster events. Finally, the results show opportunities of urban intervention actions that can mitigate risk in each pattern.

Key words: risk, urban form, landslides, flood, urban patterns.

CONTENIDO

Capítulo 1.	17
Introducción	17
1.1 Planteamiento del problema	18
1.1.1 Desastres naturales en contextos urbanos	19
1.1.2 La expansión urbana en la Ciudad de México	21
1.1.3 La expansión urbana en la alcaldía Iztapalapa	22
1.2 Pregunta de investigación.....	23
1.3 Objetivos de la investigación	23
1.4 Justificación	24
1.4.1 Sostenibilidad, gestión y resiliencia.....	24
1.4.2 La urbanización planificada y la no-planificada	25
1.4.3 Aproximaciones en el estudio del riesgo con técnicas de percepción remota	27
1.5 Caso de estudio: El Peñón del Marqués Iztapalapa, Iztapalapa	27
Capítulo 2.	32
Marco conceptual	32
2.1 Riesgo, peligro y vulnerabilidad	32
2.1.1 El riesgo y sus implicaciones	33
2.1.2 Vulnerabilidad física dentro del entorno construido	36
2.1.3 Susceptibilidad al deslizamiento de laderas.....	38
2.1.4 El riesgo relacionado a los altos niveles de precipitación e inundaciones .	40
2.1.5 El deslizamiento de laderas como fenómeno inducido	42
2.1.6 Hacia la mitigación del riesgo.....	45
2.2 La forma urbana.....	46
2.2.1 Incremento de resiliencia a través de la forma urbana	47
2.2.2 La forma urbana y sus elementos constitutivos	48
2.2.3 Lotes.....	50
2.2.4 Bloques	52
2.2.5 Espacios abiertos	54
2.2.6 Redes	56
Capítulo 3.	58

Materiales y metodología	58
3.1 Caracterización del riesgo	61
Tabla 6. Recolección de datos de fuentes oficiales para la evaluación de riesgo	61
3.2 Caracterización de los elementos de la forma urbana.....	62
3.2.1 Definición de variables para la cuantificación de los elementos de la forma urbana	63
3.2.2 Datos de lotes y bloques	64
3.2.3 Datos de coberturas del suelo en bloques y espacios abiertos	65
3.2.4 Procesamiento de polígonos de entrenamiento	67
3.2.5 Análisis de la clasificación SCP por NDVI.....	73
3.3 Análisis de los factores precondicionamiento del riesgo	76
3.3.1 Análisis de la configuración de la forma urbana y el riesgo	77
3.4 Integración del potencial de la forma urbana en la mitigación del riesgo	78
Capítulo 4.	80
Caracterización del riesgo	80
4.1 Riesgo de deslizamiento de laderas	80
4.2 Peligro por inundaciones	82
4.3 Conclusión sobre la caracterización del riesgo.....	84
Capítulo 5.	86
Caracterización de los elementos de la forma urbana	86
5.1 Análisis de las coberturas del suelo del Peñón del Marqués.....	86
5.1.1 Coberturas del suelo urbanizado	86
5.1.2 Coberturas del suelo con espacios abiertos	87
5.2 Análisis cuantitativo de los elementos de la forma urbana del Peñón del Marqués	89
5.2.1 Lotes.....	89
5.2.2 Bloques	91
5.2.3 Espacios abiertos	92
5.2.4 Redes	94
5.3 Diferencias y similitudes de los elementos de la forma urbana del patrón planificado y el no-planificado	94
Capítulo 6.	96
La configuración de la forma urbana y el riesgo	96
6.1 Factores de precondicionamiento del riesgo	96
6.2 La configuración de la forma urbana	98

6.2.1 Densidad	99
6.2.2 Tamaño	101
6.2.3 Distribución.....	103
6.2.4 Compacidad	105
6.3 Conclusión sobre la configuración de la forma urbana.....	106
Capítulo 7.	108
Integración del potencial de la forma urbana en la mitigación del riesgo	108
7.1 Escenario 1. Incremento de permeabilidad del suelo para favorecer la infiltración del agua	108
7.2 Escenario 2. Habilitación de redes	111
7.3 Escenario 3. Flexibilidad de espacios abiertos en situaciones de emergencia y de recuperación	113
7.4 Escenario 4. Intervención de espacios abiertos con vegetación en puntos estratégicos.....	115
7.5 Consideraciones para la restricción del desarrollo urbano	117
7.6 Conclusiones de la integración de espacios potenciales para la mitigación del riesgo	118
Capítulo 8.	120
Discusión, perspectivas y conclusiones	120
8.1 Riesgo	121
8.2 Forma urbana	122
Referencias	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México.	28
Figura 2. Eventos y datos registrados por susceptibilidad de las laderas e inundaciones en la alcaldía Iztapalapa y en el Peñón del Marqués.....	30
Figura 3. Esquema de taludes del Peñón del Marqués	31
Figura 4. Interrelación de riesgo, peligro y vulnerabilidad.....	33
Figura 5. Modelo de vulnerabilidad de los peligros de un lugar.....	35
Figura 6. Distribución mensual de deslizamientos de laderas y precipitación media mensual entre los años 2004 y 2013 en Centroamérica y Sudamérica.....	42
Figura 7. Deslizamiento de laderas en La Pintada, Guerrero	44
Figura 8. Diagrama de diferentes patrones de las configuraciones de los elementos de la forma urbana a partir de la meso-escala.....	49
Figura 9. Diagrama de diferentes patrones de funcionamiento y configuración de los lotes.....	51
Figura 10. Diagrama de diferentes patrones de funcionamiento y configuración de bloques.....	53
Figura 11. Diagrama de diferentes patrones de funcionamiento y configuración de espacios abiertos.	56
Figura 12. Diagrama de diferentes patrones de funcionamiento y configuración de redes.	58
Figura 13. Diagrama general de metodología de investigación.....	60
Figura 14. Diagrama de metodología de investigación por objetivos específicos	61
Figura 15. Polígonos de análisis del Peñón del Marqués	64
Figura 16. Mapa de polígonos de entrenamiento del suelo urbanizado con vivienda del Peñón del Marqués	69
Figura 17. Mapa de polígonos de entrenamiento del suelo urbanizado con pavimento del Peñón del Marqués	75
Figura 18. Mapa de polígonos de entrenamiento del suelo con vegetación alta y densa del Peñón del Marqués	70
Figura 19. Mapa de polígonos de entrenamiento del suelo con de vegetación media del Peñón del Marqués	70
Figura 20. Mapa de polígonos de entrenamiento del suelo con vegetación baja del Peñón del Marqués	71
Figura 21. Mapa de polígonos de entrenamiento del suelo desnudo del Peñón del Marqués	71

Figura 22. Mapa de clasificación por cobertura del Peñón del Marqués	72
Figura 23. Mapa de clasificación de suelo urbanizado con vivienda y pavimento del Peñón del Marqués	73
Figura 24. Mapa de clasificación de suelo urbanizado con vivienda y pavimento del Peñón del Marqués	73
Figura 25. Mapa Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) del Peñón del Marqués ...	75
Figura 26. Muestras para la comprobación de clasificación de SCP por NDVI por píxeles de los polígonos A y C del Peñón del Marqués	76
Figura 27. Representación de la dirección del flujo de escorrentía	78
Figura 28. Características geológicas a nivel alcaldía, Iztapalapa, Ciudad de México..	82
Figura 29. Riesgos geológicos a nivel local en el Peñón del Marqués	83
Figura 30. Peligro de inundaciones a nivel alcaldía, Iztapalapa, Ciudad de México	84
Figura 31. Peligro por inundaciones a nivel local en el Peñón del Marqués.....	85
Figura 32. Mapa de clasificación por SCP de las coberturas del suelo urbanizado por polígono de análisis del Peñón del Marqués	88
Figura 33. Mapa de clasificación por SCP de las coberturas de espacios abiertos por polígono de análisis del Peñón del Marqués	89
Figura 34. Gráficas de cajas y bigotes que representan las variables de los lotes por polígono de análisis A, B y C del Peñón del Marqués	90
Figura 35. Gráficas de cajas y bigotes que representan las variables de los bloques por polígono de análisis A, B y C del Peñón del Marqués	93
Figura 36. Gráficas de representación de las variables de los espacios abiertos por número de píxeles por polígono de análisis A, B y C del Peñón del Marqués	94
Figura 37. Gráficas de representación de número de redes por polígono de análisis A, B y C del Peñón del Marqués	94
Figura 38. Mapa factores de preacondicionamiento del riesgo de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués	97
Figura 39. Representación gráfica de la densidad de los bloques de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués	101
Figura 40. Representación gráfica de la densidad de los espacios abiertos de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués	101
Figura 41. Representación gráfica de la densidad de población de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués.....	102
Figura 42. Representación gráfica del tamaño de las redes de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués	103
Figura 43. Representación gráfica del tamaño de los espacios abiertos de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués	104

Figura 44. Representación gráfica de la distribución de los bloques de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués	105
Figura 45. Representación gráfica de la distribución de los espacios abiertos de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués	106
Figura 46. Representación gráfica de la compacidad de los bloques y los espacios abiertos de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués	107
Imagen 47. Representación gráfica del escenario 1. Incremento de la permeabilidad del suelo para favorecer la infiltración del agua en polígonos A, B y C del Peñón del Marqués	107
Figura 48. Representación gráfica del escenario 2. Habilitación de redes del polígono A del Peñón del Marqués	112
Figura 49. Representación gráfica del escenario 3. Flexibilidad de espacios en situaciones de emergencia en polígonos A, B y C del Peñón del Marqués.....	115
Figura 50. Representación gráfica del escenario 4. Intervención de espacios abiertos con vegetación en puntos estratégicos en polígonos A, B y C del Peñón del Marqués	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conceptos y términos del riesgo.....	18
Tabla 2. Características físicas de la urbanización planificada y no-planificada.	18
Tabla 3. Pérdidas directas e indirectas de los desastres naturales.	35
Tabla 4. Categorías de inestabilidad de laderas por mecanismos.	38
Tabla 5. Vínculo de los atributos urbanos con la resiliencia.	48
Tabla 6. Recolección de datos de fuentes oficiales para la evaluación de riesgo.	62
Tabla 7. Variables para la cuantificación los elementos de la forma urbana del Peñón del Marqués.	65
Tabla 8. Tabla de datos para clasificación supervisada con bandas espectrales Sentinel-2A.....	68
Tabla 9. Variables de la configuración y los elementos de la forma urbana.....	79
Tabla 10. Criterios para la construcción de escenarios de mitigación del riesgo.	80
Tabla 11. Tabla resumen de factores de preacondicionamiento del riesgo de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués	99

Capítulo 1. Introducción

Las ciudades, como sistemas socio-ecológicos complejos, se enfrentan a los crecientes desafíos de una amplia gama de factores estresantes como el cambio climático, crecimiento demográfico, crecimiento urbano y desastres naturales. Dentro de las últimas décadas, la frecuencia de eventos relacionados a estos desastres y sus devastadores impactos han mostrado la necesidad de prestar atención en el riesgo del Antropoceno (Rus *et al.*, 2018; Tellman *et al.*, 2018). El reconocimiento de que no todas las amenazas pueden evitarse en su totalidad, ha impulsado la difusión del concepto de resiliencia como la capacidad de un sistema para soportar un estrés externo y regresar hacia un sistema de equilibrio como parte de una respuesta adaptativa (Eraydin & Tasan-Kok, 2013). Diversas investigaciones destacan la potencialidad de las gestiones urbanas dentro de un contexto de riesgo (Sharifi *et al.*, 2021; Rus *et al.*, 2018; Koren & Rus, 2019) en donde la forma urbana puede analizarse a partir de sus diferentes características como el tamaño, la configuración, la proximidad y la accesibilidad de sus elementos (Xu *et al.*, 2019).

Según el informe del Banco Mundial sobre los principales sitios con mayor exposición a amenazas naturales, alrededor de 3.8 millones de habitantes a nivel mundial están expuestos por lo menos a dos tipos de peligros. A menudo, un peligro como es el caso de los terremotos e inundaciones puede desencadenar otros eventos como el deslizamiento de laderas (Guzzetti *et al.*, 2007; Cardinali *et al.*, 2006). A pesar de la evidencia de la estrecha relación de los eventos, más que verse como la suma de un conjunto de componentes individuales, se requiere de un análisis que considere su interacción como una red de partes que interactúan entre sí (Kappes *et al.*, 2012). En este sentido, se considera de gran relevancia adoptar un enfoque de multi-riesgo que permita una evaluación integral que se encamine a nuevas estrategias de mitigación de riesgo. Dado que el término del riesgo tiende a diferentes definiciones según el contexto

en el que se aplique, se proporciona un glosario que resume los principales conceptos que aborda esta investigación (Tabla 1).

Concepto	Definición	Fuente
Exposición	Grado en el que un grupo de seres humanos o ecosistemas entran en contacto con tensiones particulares.	McLaughlin & Dietz, 2008
Mitigación	Intervención antropogénica para reducir el riesgo.	Klein <i>et al.</i> , 2007
Multi-riesgo	Riesgo derivado de varios peligros interrelacionados.	Kappes <i>et al.</i> , 2012
Peligro	Proceso o fenómeno natural que puede ocasionar la muerte, lesiones y otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos o daños ambientales.	UNISDR, 2009
Riesgo	Combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas en pérdidas de vida, personas lesionadas y propiedades, medios de subsistencia o medio ambiente con daños como resultado de peligros naturales.	UNISDR, 2009 Budimir <i>et al.</i> , 2014
Riesgo de desastre	Pérdidas potenciales en vidas, estado de salud y servicios que podrían ocurrirle a una comunidad o sociedad durante un período de tiempo futuro específico.	UNISDR, 2009
Vulnerabilidad	Grado de pérdida de un elemento o conjunto de elementos de un área afectada por un peligro.	Kappes <i>et al.</i> , 2012

Tabla 1. Conceptos y términos del riesgo. Elaboración propia a partir de Budimir *et al.*, 2014; McLaughlin & Dietz 2008; Kappes *et al.*, 2012; Klein *et al.*, 2012 & UNISDR, 2009; Mora & Kepi, 2006).

1.1 Planteamiento del problema

Una característica que se destaca en muchas ciudades en desarrollo es la heterogeneidad en los patrones de vivienda (Kuffer & Barros, 2011). El crecimiento demográfico que acompaña el suministro de tierras asequibles ha favorecido la expansión urbana en zonas desfavorables que amenazan el medio ambiente, la seguridad y la calidad de vida de los habitantes (Sarvestani *et al.*, 2011). Muchas de estas ciudades cuentan con grandes zonas urbanas no-planificadas que pueden superar, en proporción, a las zonas planificadas (Kombe, 2005). La ONU pronostica que para el año 2035, más del 50% de la población mundial vivirá en estas zonas (Horwood, 2007). El hecho de que la urbanización no-planificada, en comparación de la urbanización planificada, aumenta inadvertidamente el riesgo, hace visible la necesidad de prestar atención a las características urbanas que difieren en su nivel de exposición.

La vulnerabilidad y el riesgo dentro de los contextos urbanos pueden abordarse como parte de un sistema complejo por su composición de factores sociales, ambientales y económicos dentro de un mismo sistema. Esta visión ha permitido comprender y analizar desde un enfoque multidisciplinario los problemas urbanos a partir de diferentes factores y perspectivas (Dionisio *et al.*, 2010). Entre ellas se destaca el crecimiento urbano como parte de un proceso del sistema complejo el cual está estrechamente relacionado con el desencadenamiento de riesgos. Esto, se debe a que el incremento de las presiones al subsuelo, los cuales contribuyen directamente al desarrollo de amenazas y desastres naturales por la pérdida y la alteración del ciclo del sistema natural.

A pesar de que la alta densidad urbana se relaciona, en su mayoría, con patrones que reflejan la ausencia de planificación urbana, existen también patrones urbanizados previamente planificados que están ubicados en sitios propensos a diversos peligros. Cuando ambos urbanizan un mismo sitio, el patrón no-planificado, se desarrolla una tendencia a conducir mayores desigualdades en el acceso a oportunidades, servicios e infraestructura, que reduce la interacción de las comunidades con el espacio urbano (Khanani, 2019). Estas desigualdades dentro de un contexto de riesgo pueden ser una condicionante en el nivel de exposición y, por tanto, en la capacidad del sistema para responder en situaciones de emergencia. La presencia de un patrón planificado responde a la interconexión de regímenes sociales y económicos (Eraydin, 2013) los cuales intervienen un sitio bajo un esquema de mayor capital.

1.1.1 Desastres naturales en contextos urbanos

Los procesos naturales son componentes que interactúan con los sistemas socio-espaciales que se desencadenan en peligros cuando conducen a desastres que acompañan pérdidas humanas y económicas, así como a grandes afectaciones ambientales. El aumento en la frecuencia, la intensidad y la duración de los eventos extremos como las inundaciones y la susceptibilidad al deslizamiento de laderas, puede ser abordado a través de un enfoque de multi-riesgo. Este término, que surgió con el objetivo de lograr una mejor gestión del riesgo, propone un análisis de múltiples riesgos

e impactos acumulativos en donde diferentes sistemas y actividades naturales y humanas están potencialmente expuestas (Gallina *et al.*, 2016). Desde este punto sistémico, diferentes componentes interactúan en un peligro y estos, pueden alterar un entorno en la disposición de otros (Budimir *et al.*, 2014). Por ejemplo, los impactos que están relacionados con el aumento de la frecuencia, la intensidad y duración de la precipitación, en combinación con la falta de infiltración al subsuelo por la urbanización, pueden incrementar la susceptibilidad al deslizamiento de laderas.

Las inundaciones urbanas se han convertido en uno de los desastres hidrometeorológicos más frecuentes en los últimos años. Esto, en gran medida se debe a que el suelo natural ha sido sellado por la infraestructura urbana con extensas superficies pavimentadas y, con ello, se ha presentado el aumento en el flujo, la velocidad y el volumen del escurrimiento superficial de agua causando inundaciones. Esta problemática además de inducir el riesgo se encuentra estrechamente relacionada con el crecimiento urbano descontrolado y con la carencia de planificación, así como con una considerable pérdida de coberturas naturales (Ramírez-Herrera & Gaidzik, 2017). Las superficies impermeables incrementan la escorrentía superficial e interrumpen la infiltración de agua disminuyendo la capacidad de los acuíferos.

Cabe mencionar que la extracción excesiva de agua de los acuíferos se asocia a los hundimientos generalizados o de subsidencia y a la eventual deformación diferencial del suelo dependiendo de las condiciones geológicas y geomecánicas del sitio (Carreón-Freyre *et al.*, 2010; Carreón *et al.*, 2015). Recientemente, las coberturas naturales se han adoptado como medidas importantes en diversas estrategias de manejo de aguas pluviales dentro del diseño urbano. Estas prácticas, sugieren que los sistemas naturales como el suelo y la vegetación sean incorporados en el control de escorrentía urbana y con ello mitigar los peligros de inundaciones (Alexander *et al.*, 2019).

La permeabilidad del suelo y la conectividad de las coberturas naturales, además de mejorar la calidad ambiental y la estética urbana, influyen en el equilibrio de los ecosistemas, el nivel de evo-transpiración vegetal y la infiltración del agua al subsuelo.

Como se ha demostrado en diferentes regiones del mundo, la tala de árboles es un factor de baja seguridad debido a la descomposición de raíces (Knapen *et al.*, 2006). Además, hay diversas investigaciones que respaldan la relación de los cambios en la hidrología que se reflejan con el aumento de escorrentía y velocidad del agua de lluvia con la susceptibilidad de las laderas (Ramírez-Herrera & Gaidzik, 2017; Knapen *et al.*, 2012).

1.1.2 La expansión urbana en la Ciudad de México

La Ciudad de México es una de las ciudades más pobladas a nivel mundial con una densidad de casi 6,000 hab/km² (SGIRPC, 2020). Debido a su crecimiento demográfico y al alto coste del suelo urbano, la urbanización se ha expandido hacia la periferia y, como consecuencia, ha favorecido a la formación de una franja rural-urbana cada vez más difusa. Este esquema de crecimiento urbano se ha llevado a cabo a través de múltiples asentamientos humanos que, por diferentes medios, han reemplazado considerablemente las áreas naturales por viviendas (Tellman, 2019). La reducción y degradación de las coberturas naturales no sólo han alterado las funciones de los ecosistemas, también en contextos particularmente densos y propensos al riesgo han restringido su capacidad de absorción de impactos y de agua itinerante posterior a una perturbación. Dentro de este contexto, la pobreza y la marginación se manifiestan por la proliferación de asentamientos humanos que se caracterizan por la precariedad de las viviendas.

La alta densidad del suelo de la Ciudad de México junto con el suministro insuficiente de suelo asequible ha provocado el crecimiento de urbanización no planificada que coinciden a menudo con áreas desfavorecidas en situaciones de riesgo (Romero *et al.*, 2011). Este tipo de urbanización ha dado como resultado la expansión de patrones relacionados a la explotación de la tierra, la invasión de recursos naturales y la transgresión de los puntos de inflexión de equilibrio natural del medio ambiente. La interrupción del flujo natural de los recursos entre el entorno construido y el entorno natural ha afectado en el aumento de la frecuencia y la intensidad de eventos perturbadores como las inundaciones y la susceptibilidad al deslizamiento de laderas. La

información sobre la urbanización no-planificada a menudo no está disponible (Delgadillo, 2016). Sin embargo, profundizar en sus características particulares resulta de gran relevancia para integrar estrategias de intervención urbana hacia la mitigación del riesgo, sobre todo, en contextos donde el riesgo domina el desarrollo planificado.

1.1.3 La expansión urbana en la alcaldía Iztapalapa

La alcaldía Iztapalapa cuenta con una extensión territorial de 11,667 ha, con 293 colonias y 502, 620 viviendas. Se ubica al oriente de la Ciudad de México y al oriente de la Cuenca de México en la Provincia Fisiográfica Faja Volcánica de México. Esta Provincia está conformada por sierras volcánicas, coladas de lava, conos dispersos y depósitos de arena y cenizas (Atlas de Riesgos Naturales CDMX, 2011). La Cuenca de México es el resultado de diversos eventos de fallamiento y vulcanismo de edad Plio-Cuaternario (Ferrari *et al.*, 2012). En cuanto a su morfología, el 95% de la superficie total de la alcaldía, se forma por áreas planas y semiplanas que actualmente se encuentran urbanizadas en pendientes no mayores a 5%. El 5% restante de la superficie pertenece a elevaciones volcánicas como la Sierra de Santa Catarina, el Cerro de la Estrella y el Peñón del Marqués (SGIRPC, 2021). El alto desarrollo demográfico de Iztapalapa ha comprometido altos niveles de desempleo, estándares inadecuados de vivienda y accesibilidad a los servicios básicos con un déficit de agua entubada del 0.25%, energía eléctrica del 0.05% y drenaje del 0.06% (SGIRPC, 2021). Esto representa un alto nivel de vulnerabilidad de las condiciones sociales y económicas, la capacidad de prevención y respuesta local del riesgo.

El Peñón del Marqués que es comúnmente conocido por otros nombres como “Cerro del Peñón” “Cerro del Peñón del Marqués” y “Cerro del Peñón Viejo”, ha experimentado patrones de crecimiento urbano y desarrollo desarticulado espacial que se caracterizan, en su mayoría, por una configuración física irregular y una escasa planificación territorial. El reemplazo de las importantes coberturas naturales por la urbanización de múltiples viviendas situadas en las laderas ha incrementado la inestabilidad del sitio (Atlas de Riesgos Naturales CDMX, 2011). De acuerdo con el Atlas

de Riesgos de la Ciudad de México (2011), en la alcaldía Iztapalapa, en donde está ubicado el Peñón del Marqués, existen diferentes áreas naturales que son factibles para el uso de suelo forestal. Sin embargo, estas condiciones se han deteriorado por el incremento de asentamientos humanos y la explotación de canteras o bancos de material que representan un alto nivel de riesgo a los habitantes que se ubican en esta zona. Además, la reducción y la alteración de las coberturas naturales, la presencia de materiales arcillosos en esta región y las condicionantes geológicas del sitio, han promovido la aparición de amenazas y riesgo de desastres.

1.2 Pregunta de investigación

¿Cuáles son las posibles oportunidades de intervención a través de los elementos y la configuración de la forma urbana en el Peñón del Marqués, Iztapalapa, Ciudad de México para la mitigación del riesgo por inundaciones y susceptibilidad al deslizamiento de laderas?

1.3 Objetivos de la investigación

El objetivo principal de esta investigación es identificar las posibles oportunidades de intervención, a través de los elementos y la configuración de la forma urbana del Peñón del Marqués para la mitigación del riesgo por inundaciones y susceptibilidad al deslizamiento de laderas. Para el desarrollo de este objetivo, los alcances específicos son los siguientes:

- Caracterizar el riesgo por inundaciones y susceptibilidad al deslizamiento de laderas del Peñón del Marqués a partir de fuentes oficiales de información.
- Realizar un análisis descriptivo de los elementos de la forma urbana de los dos diferentes patrones urbanos del Peñón del Marqués, que corresponden al planificado y el no-planificado.
- Identificar la relación que existe entre los elementos y la configuración de la forma urbana y las características del riesgo por inundaciones y susceptibilidad al deslizamiento de laderas del Peñón del Marqués.

- Proponer posibles acciones de intervención de los elementos y la configuración de la forma urbana para mitigar el riesgo por inundaciones y susceptibilidad al deslizamiento de laderas del Peñón del Marqués.

Los objetivos específicos serán abordados a partir de las siguientes preguntas:

- ¿Qué factores incrementan el riesgo geológico e hidrometeorológico en el Peñón del Marqués?
- ¿Cuáles son las diferencias entre los elementos de la forma urbana de un patrón planificado y uno no-planificado en el Peñón del Marqués?
- ¿Cómo influye la configuración de la forma urbana dentro de un contexto de riesgo por inundación y susceptibilidad al deslizamiento de laderas?
- ¿Qué acciones se pueden tomar a partir del análisis de la forma urbana para mitigar el riesgo geológico e hidrometeorológico en el Peñón del Marqués?

1.4 Justificación

1.4.1 Sostenibilidad, gestión y resiliencia

La época actual del Antropoceno se caracteriza por la presencia de impactos ambientales, sociales y económicos que se manifiestan por la degradación de los ecosistemas, la pérdida de biodiversidad y el incremento de desastres naturales (Wu, 2013). Al ser estos impactos cada vez más constantes, las ciencias de la sostenibilidad han surgido como un campo interdisciplinario que busca la comprensión y la solución de problemas del sistema social y natural acoplado (Miller, 2013; Clark, 2003). Algunos autores como Kates *et al.* (2001) han definido la sostenibilidad como la acción de transformar las formas actuales de vida para maximizar las oportunidades de las condiciones ambientales y sociales que pueden cambiar en beneficio de los seres humanos. La preocupación de que principalmente las actividades humanas han puesto al límite la capacidad de un entorno natural requiere de centrarse en conceptos de sostenibilidad, gestión y resiliencia del sistema social y natural.

En la segunda mitad del siglo XX, las ciencias de la sostenibilidad han hecho visible la necesidad de comprender el entorno natural y el entorno construido. Esta visión que analiza la teoría del caos o del no-equilibrio (Ahern, 2011) argumenta que, la naturaleza y los sistemas sociales que son expresados culturalmente, son inciertos y propensos a cambios inesperados. Desde un enfoque de la ecología del paisaje, la falta de equilibrio en los contextos urbanos ha adoptado el concepto de la gestión a través del cual, es posible abordar la incertidumbre y *aprender haciendo* por la concepción y el diseño de estrategias urbanas experimentales que permita aprender nuevos métodos a prueba de fallas. Ante el cuestionamiento de si la condición estática urbana puede ser sostenible dentro de un contexto de cambios impredecibles, la posición de *safe-to-fail* puede anticipar fallas en la gestión en el desarrollo sostenible. De esta forma, el incremento de resiliencia resulta ser un método de adaptación que hace frente a las perturbaciones sociales y naturales (Walker & Salt, 2006).

1.4.2 La urbanización planificada y la no-planificada

A medida que las poblaciones continúan desarrollándose en áreas propensas a peligros naturales, incrementa el riesgo que conllevan afectaciones en la infraestructura y en la población expuesta (Shanon, 2015). Generalmente las comunidades socialmente más vulnerables que se ubican en zonas de alto riesgo son aquellas con menor equipamiento para hacer frente a las amenazas y su capacidad de respuesta puede verse también afectada para su recuperación. La autoorganización de un sistema socio-ecológico, establece la transformación como la capacidad de crear nuevas condiciones sociales, ecológicas y económicas que permiten reducir los impactos por desastres naturales (Eraydin & Tasan-Kok, 2013). Para ello, es fundamental la comprensión del funcionamiento urbano que permita el abordaje de estrategias de planificación hacia la mitigación del riesgo.

En la Ciudad de México la información sobre la urbanización no-planificada es a menudo escasa y generalmente se asocia con el término de Asentamientos Humanos Irregulares (AHI). Por definición, estos asentamientos, corresponden a los “núcleos de

población ubicados en áreas o predios fraccionados o subdivididos sin autorización correspondiente o independiente a su régimen de tenencia de la tierra” (DOF, 2016). Esta investigación, más que categorizar la urbanización por su régimen de tenencia, busca analizar sus características físicas a través de los elementos de la forma urbana que la componen. Así, como punto de partida, los términos de urbanización planificada y no-planificada, se definieron a través de la revisión de la literatura que aborda únicamente sus características físicas de acuerdo con su entorno inmediato (Tabla 2).

Patrón	Características
Urbanización no-planificada	<ul style="list-style-type: none"> _Alta densidad (80% de la superficie total contruida) _Estructura de diseño orgánico (traza urbana irregular) _Falta de espacios públicos en las zonas residenciales _Dimensiones de las edificaciones por debajo de lo establecido por la normatividad
Urbanización planificada	<ul style="list-style-type: none"> _Densidad baja a moderada _Estructura de diseño regular (traza urbana regular) _Presencia de espacios públicos en zonas residenciales _Dimensiones de las edificaciones dentro de lo establecido por la normatividad

Tabla 2. Características físicas de la urbanización planificada y no-planificada. Adaptación de Kuffer & Barros, 2011.

Al tener claras las características físicas de estos dos diferentes patrones, dentro de esta investigación, la urbanización no-planificada se define como los núcleos de población con alta densidad, morfología de traza urbana irregular, falta de espacios abiertos públicos y con dimensiones de las viviendas por debajo de lo establecido por la normatividad. Por su lado, la urbanización planificada, se define como los núcleos de población de densidad de baja a moderada, morfología de traza urbana regular, presencia de espacios abiertos públicos y con dimensiones de las viviendas dentro de lo establecido por la normatividad. En cuanto a la normatividad, de acuerdo con esta definición, se pueden considerar los parámetros del capítulo 2 del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RDCDF, 2012) que integra la habitabilidad, accesibilidad y funcionamiento de la vivienda unifamiliar, así como su calidad y estabilidad estructural.

1.4.3 Aproximaciones en el estudio del riesgo con técnicas de percepción remota

La percepción remota se refiere a las actividades de registrar, observar y percibir objetos o procesos de la superficie de la tierra utilizando sistemas remotos. El uso de imágenes satelitales, modelos digitales de elevación y datos LiDAR (Light Detection and Ranging), tiene grandes ventajas en áreas inaccesibles por su alta densidad urbana o forestal e inseguridad por delincuencia. También, debido a su alta precisión y resolución, estas imágenes han permitido desde la década de 1970, la observación de la tierra a través de varios espectros temporales y espaciales. Las áreas urbanas, pueden analizarse y estudiarse utilizando sensores activos y pasivos. Los sensores activos, como los datos LiDAR, son aquéllos que emiten su propia energía y posteriormente, la cantidad de energía reflejada en la superficie o algún objeto es recibida. Los sensores pasivos, como los datos Sentinel-2, capturan la energía externa, es decir, la energía solar y son reflejados por la superficie de la tierra.

Dentro del contexto urbano, los datos de percepción remota pueden utilizarse para integrarse en mapas y modelos utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta información cartografiada proporciona datos descriptivos sobre las características de la superficie terrestre de forma específica en la cobertura del suelo, la vegetación, las edificaciones y los cuerpos de agua. Particularmente para la evaluación de riesgo, por ejemplo, por inundaciones y susceptibilidad al deslizamiento de laderas, el procesamiento de estos datos puede enfocarse en el estudio de las coberturas naturales y el de flujo de escorrentía.

1.5 Caso de estudio: El Peñón del Marqués Iztapalapa, Iztapalapa

El Peñón del Marqués es un volcán que está ubicado en el extremo oriente de la alcaldía Iztapalapa (19°22'43.68" Norte (N), 99°01'56.64" Oeste (O)) con una elevación de 2370 msnm. Su litología, está conformada por cenizas, rocas basálticas y basáltico-andesitas que se caracterizan por presentar fallamiento estructural regional (Carreón-Freyre et al., 2010). Para fines de esta investigación, el sitio se delimitará territorialmente por las colonias Paraíso y Ampliación Paraíso que comprenden una superficie total de 4,

847.83 m² (Figura 1). Como muchas zonas periféricas de la Ciudad de México, el Peñón del Marqués ha sufrido diversas modificaciones físicas a lo largo del tiempo que reflejan una imagen urbana fragmentada con distintos patrones y morfologías. Además de haber sido objeto de extracción de tezontle como materia prima para la construcción, el Peñón del Marqués ha albergado a múltiples habitantes en búsqueda de espacios de refugio y patrimonio. La población que actualmente reside en el sitio corresponde a un sector de bajos ingresos económicos que, en su mayoría, fueron desplazados del centro de la ciudad por diferentes afectaciones del sismo de 1985.

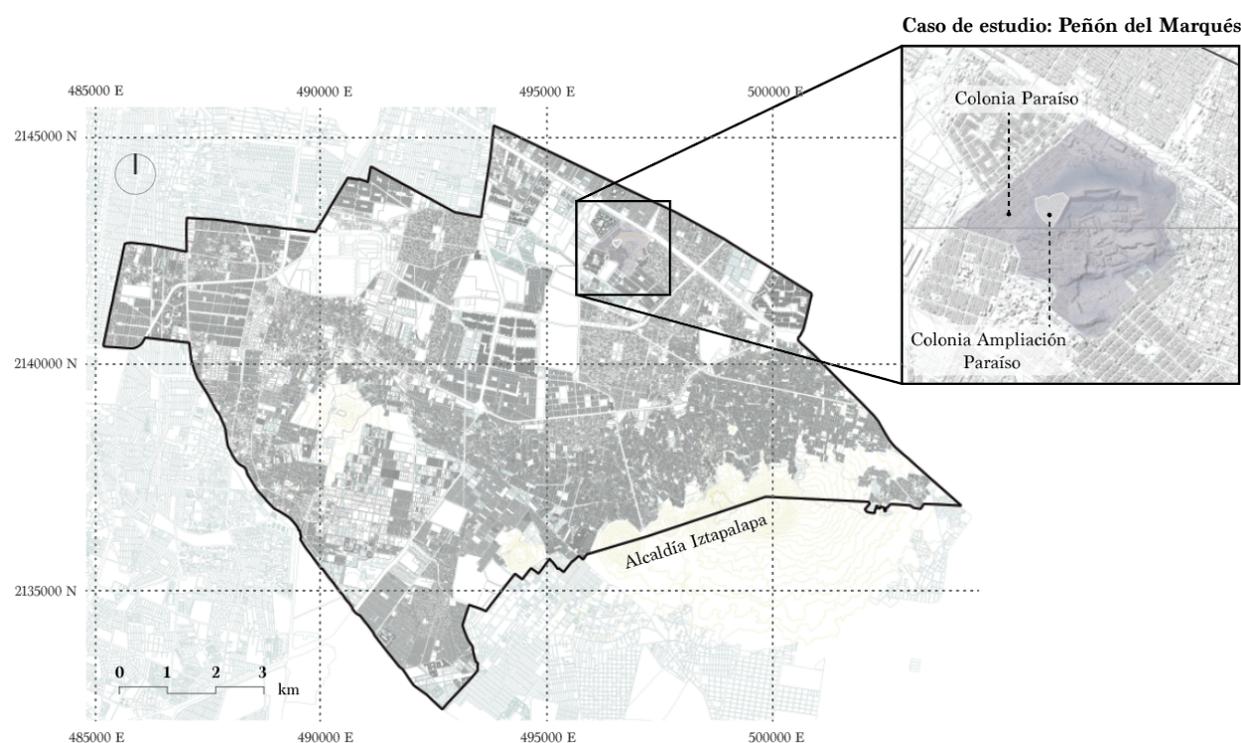


Figura 1. Localización del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Escala 1:10000. Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia con datos de SIGCMDX, 2021.

En términos de patrones urbanos, el Peñón del Marqués puede clasificarse en la urbanización planificada y la no-planificada. A pesar de que su gran mayoría corresponde al patrón no-planificado, está presente de forma contrastante el patrón planificado de 19 edificios de vivienda multifamiliar con cinco niveles cada uno. Este último patrón, que se logró mediante la intervención de la inmobiliaria GEO edificaciones S.A. de C.V., cuenta

con características urbano-arquitectónicas que han reducido su exposición al riesgo de deslizamiento de laderas a pesar de estar ubicados dentro del mismo sitio (PAOT, 2005). Dentro del contexto de riesgo presente, es posible que el peligro sea mayor para un patrón urbano que para otro en relación con sus técnicas de construcción, infraestructura y configuración de la forma urbana, lo cual, los vuelve apropiados de analizar. Así, el Peñón del Marqués se expone como un caso de estudio apropiado debido a los siguientes motivos: 1) la variabilidad en la forma urbana, 2) la presencia del riesgo geológico por las características particulares del sitio y 3) la urgencia en identificar estrategias inmediatas para la mitigación del riesgo.

El Peñón del Marqués ha sido estudiado por la academia y el sector gubernamental por sus características geológicas e hidrometeorológicas (Atlas de Riesgos de la Ciudad de México, 2011; Hinojosa, 2010; Vera, 2008; Carreón-Freyre *et al.*, 2010; Cerca *et al.*, 2010). Sin embargo, las estrategias hacia una mejor planificación territorial y prevención y mitigación del riesgo aún son escasas. Desde la perspectiva de la sostenibilidad, los cambios sociales y ambientales que se han llevado a cabo en el sitio requieren de nuevos enfoques para comprender, preparar y responder ante futuras amenazas (Eraydin & Tasan-Kok, 2013; Godschalk, 2003; Geis, 2000). Parte fundamental de esto es la evaluación del sitio con un monitoreo que permita convertir datos en conocimiento para los tomadores de decisiones sobre el territorio.

Actualmente, el Peñón del Marqués no cuenta con datos suficientes para la generación de un inventario que permitan identificar los patrones en la ocurrencia y distribución de eventos relacionados a inundaciones y susceptibilidad al deslizamiento de laderas. A pesar de que esta investigación no tiene el propósito de generar un inventario, las notas periodísticas han registrado daños relacionados por susceptibilidad al deslizamiento de laderas e inundaciones. La Figura 2 muestra que, en los años 2016, 2017 y 2018, han ocurrido eventos con impactos directos a la infraestructura y a la población. Sin embargo, el desconocimiento y la falta de abordaje de la causa, la duración y la magnitud de los eventos, expone hasta el momento, como una única

respuesta hasta el momento mencionada por parte del sector gubernamental, la evacuación de 45 viviendas en el año 2019.

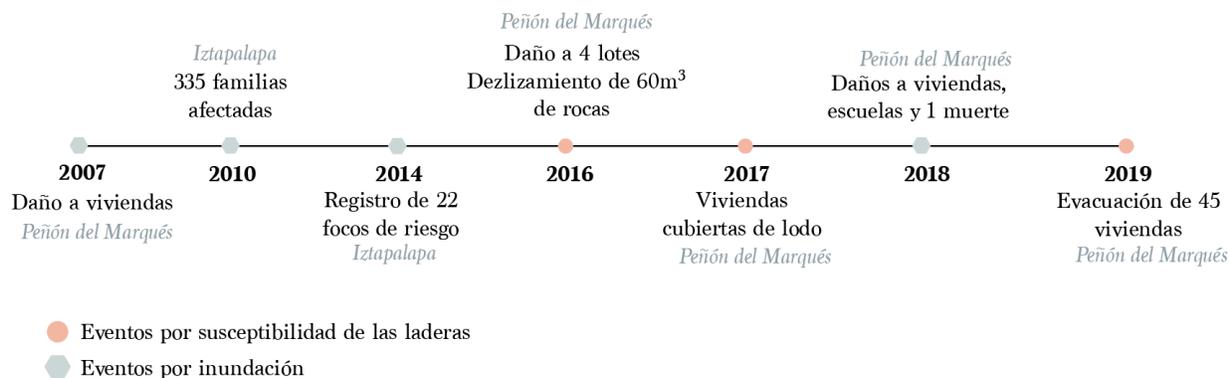


Figura 2. Eventos y datos registrados por susceptibilidad al deslizamiento de laderas e inundaciones en la alcaldía Iztapalapa y en el Peñón del Marqués. Elaboración propia a partir de datos de La Jornada, 2007; La Jornada, 2010; La Jornada, 2014; El Universal, 2016; Aristegui Noticias, 2016; Noticieros Televisa, 2017; La Jornada, 2019.

Considerando lo anterior, el área de estudio se expone como una zona extremadamente vulnerable al deslizamiento de laderas. Además de la presión al subsuelo por la alta densidad urbana, la alta precipitación en sus pendientes pronunciadas puede estar relacionada a la ocurrencia de eventos que pueden desencadenar flujos de escombros. De acuerdo con la literatura sobre peligro por deslizamiento de laderas, algunos de los factores que pueden relacionarse a la presencia de estos eventos son: 1) la ausencia de coberturas vegetales en las pendientes, 2) los terremotos que producen movimientos de masa, 3) los terremotos de pequeña magnitud que debilitan la estabilidad en zonas de pendiente y 4) la creciente urbanización (Gaidzik *et al.*, 2017).

Dentro de esta investigación, el corte de la vegetación en el Peñón del Marqués se expone como un factor de pre-acondicionamiento del riesgo debido a que la deforestación, ha contribuido a que el suelo erosione. Este factor, parte de una alteración por actividades humanas a grandes escalas y socavado de taludes para la construcción de viviendas y cambios en el relieve con maquinaria. La Figura 3 hace referencia a cuatro secciones del sitio las cuales visualizan un corte pronunciado de los taludes y cambios

en la topografía natural por parte del patrón urbano planificado. Por el contrario, a pesar de que el patrón urbano no-planificado ha reemplazado las coberturas naturales por vivienda, ha continuado con la morfología de las laderas. Además de las características geológicas del sitio y la reducción de árboles, la alteración de la topografía natural puede implicar una correlación en la ocurrencia de los deslizamientos de laderas en el patrón urbano no-planificado al condicionar su estabilidad.

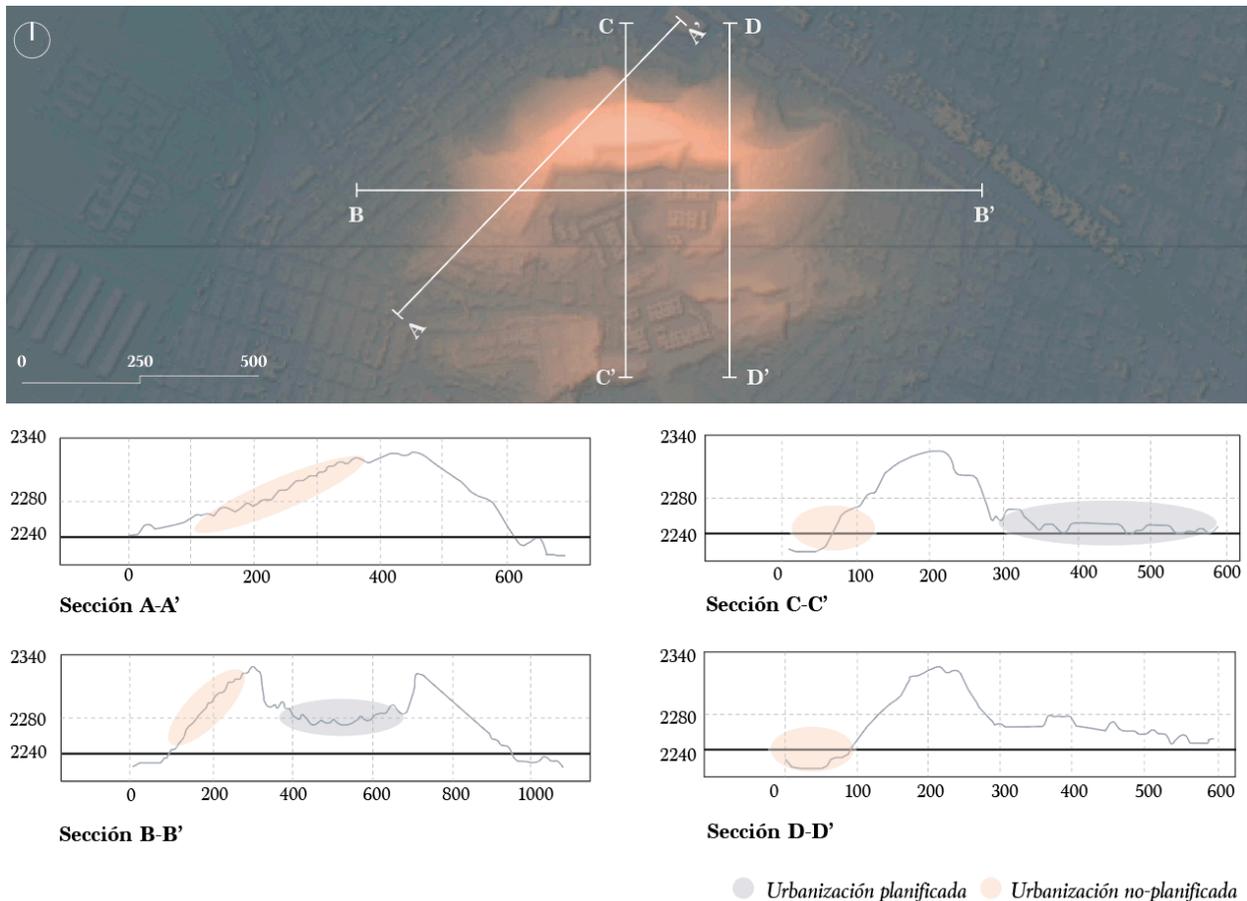


Figura 3. Esquema de taludes del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Los óvalos en color naranja ubicados en las secciones indican la presencia de urbanización-no planificada y los óvalos en color gris la presencia de urbanización planificada. Los valores en x indican la distancia metros y los valores en y la altura expresada en msnm. Elaboración propia a partir de MDE (Modelos Digitales de Elevación) con resolución de 5 m de INEGI, 2021.

Capítulo 2.

Marco conceptual

2.1 Riesgo, peligro y vulnerabilidad

Los peligros, en el sentido más amplio, se definen como los procesos, situaciones o acciones que tienen el potencial de provocar daños, pérdidas o efectos adversos a los atributos que son valorados por los seres humanos (Crozier & Glade, 2012, p.1). En este sentido, existe una incertidumbre en cuándo y cómo ocurrirá el peligro, por lo cual, este término puede abordar dos diferentes enfoques: 1) el proceso o actividad física potencialmente dañino y 2) el estado o la condición de amenaza que está indicado por la probabilidad de ocurrencia. Las consecuencias de la ocurrencia de los peligros pueden ser de diferente magnitud, directas o indirectas, y pueden manifestarse a diferentes distancias espaciales y temporales según su ocurrencia inicial. Así, el riesgo, que hace referencia a la ocurrencia de que suceda un evento adverso, es la combinación de la probabilidad de que ocurra algo adverso junto con sus consecuencias (Figura 4).

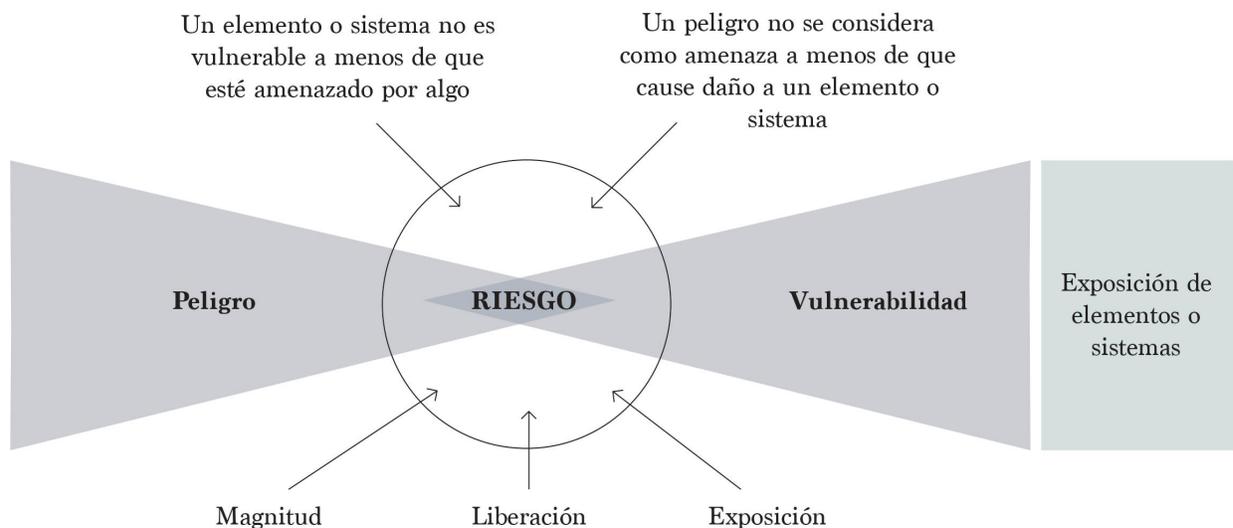


Figura 4. Interrelación de riesgo, peligro y vulnerabilidad. El riesgo como intersección del peligro con el valor de los elementos vulnerables. Adaptado de Crozier & Glade, 2012.

La Figura 4 muestra el nivel de riesgo como la intersección del peligro con la vulnerabilidad que considera, que un elemento o un sistema no es vulnerable a menos de que cause un daño y altere su valor. Particularmente, en los peligros naturales, el riesgo puede diferir en magnitud, liberación y exposición de acuerdo con los eventos como, por ejemplo, los geofísicos en forma de terremotos, deslizamientos de laderas y/o inundaciones (Alcántara-Ayala, 2002). Así, la relación de la ocurrencia de estos eventos con las crecientes actividades humanas transforma un proceso natural en la formación de un peligro en donde el sistema socio-ecológico se encuentra amenazado.

2.1.1 El riesgo y sus implicaciones

El término del riesgo ha evolucionado a partir de diferentes enfoques como las ciencias naturales y las ciencias sociales dependiendo de los factores involucrados dentro de una problemática (Cardona, 2001). Este enfoque multidisciplinar se expresa debido a que adicional al daño físico, las pérdidas de vida y las pérdidas económicas, están presentes diversos factores sociales, organizacionales e institucionales relacionados al desarrollo de las comunidades. Desde las ciencias naturales se ha contribuido junto con el desarrollo tecnológico, a la medición de los desastres de origen natural a partir de las disciplinas que la integran como la biología, la física y la geología (Cardona, 2011). A través de ellas, se han abordado los desastres naturales como la ocurrencia de fenómenos como inundaciones, huracanes, tsunamis y deslizamientos de laderas. Este enfoque ha permitido a expertos en geofísica, sismólogos y meteorólogos, analizar los fenómenos con mecanismos físicos de desencadenamiento de eventos. La implementación de la avanzada instrumentación para su medición ha permitido anticipar o predecir el riesgo como estrategia de respuesta ante múltiples eventos (Myint *et al.*, 2008; Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2021; Leshchinsky *et al.*, 2014).

A diferencia de las ciencias naturales, las ciencias sociales han aportado diversos conocimientos sobre el riesgo impulsados especialmente, por la geografía y la ecología humana con la conceptualización de la vulnerabilidad. Los desastres naturales se han analizado como sistemas acoplados entre el ser humano y el medio ambiente (Turner *et*

al., 2003). La vulnerabilidad de estos dos sistemas aborda las potenciales pérdidas que pueden variar dependiendo del tiempo y el espacio (Cutter *et al.*, 2000, p. 242). A través este enfoque, pueden definirse tres principales principios que identifican 1) las condiciones que hacen que las personas o lugares sean vulnerables a eventos naturales, 2) la conceptualización de la vulnerabilidad como una condición social o medida de resistencia y 3) la extensión de la vulnerabilidad dada por la variabilidad en cuanto a la duración, la frecuencia y la magnitud de diferentes eventos (Clark *et al.*, 2000).

Recientes estudios se han centrado en el análisis de los impactos ambientales que incrementan la vulnerabilidad de los sistemas sociales (Cutter *et al.*, 2000; Cutter *et al.*, 2003; Douglas, 2007). De acuerdo con los principios de Cutter *et al.* (2000), la vulnerabilidad social se ha definido como una medida de resistencia frente a exposiciones potenciales en regiones particulares. A través de ella, se ha hecho visible que las desigualdades sociales pueden dar forma a la susceptibilidad de los daños por su capacidad de respuesta. El peligro relacionado con la interacción de la mitigación y el riesgo es moderado por un filtro geológico que comprende la ubicación, la situación del lugar y la proximidad junto con el tejido social del lugar (Figura 5). Así, la capacidad de una comunidad para responder, afrontar, adaptarse y recuperarse ante la afectación de los peligros depende de factores económicos que integran sus características demográficas y de vivienda.

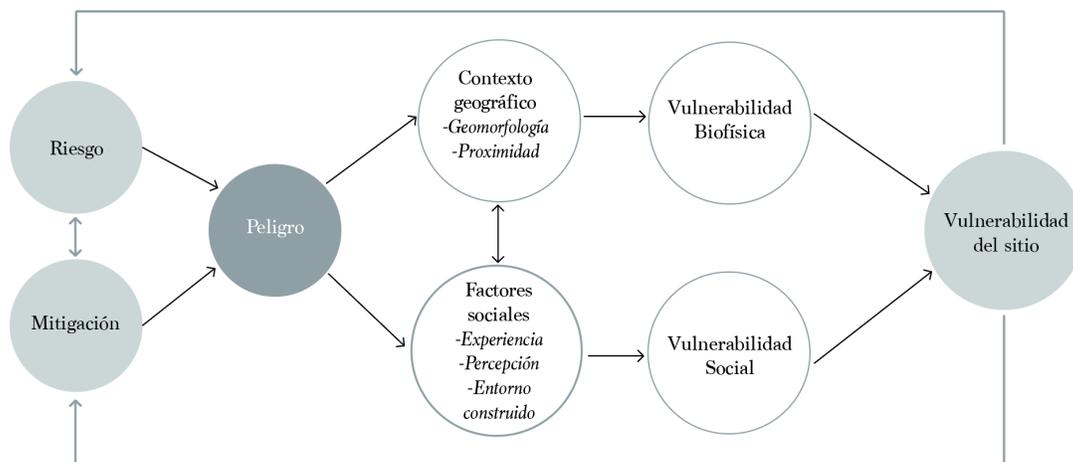


Figura 5. Modelo de vulnerabilidad de los peligros de un lugar. El riesgo (la probabilidad de un evento de peligro) interactúa con la mitigación (medida para disminuir los peligros o reducir su impacto) de un peligro. Adaptado de Cutter *et al.*, 2003.

Como se observa en la Figura 5, dentro del contexto del riesgo, la vulnerabilidad biofísica conlleva una manifestación geográfica dependiendo de la ubicación, geomorfología y su proximidad a la fuente de amenaza. La degradación ambiental que está implícita dentro de la vulnerabilidad biofísica tiene una estrecha relación con la vulnerabilidad social y el riesgo de desastres naturales. También, parte de los aspectos sociales, pueden reconocerse a través de las situaciones económicas en donde la población de bajos ingresos tiende a habitar sitios que se ven constantemente afectados por desastres naturales (Romero *et al.*, 2011). Ante esta problemática, se reconoce además de la carencia de ingresos y acceso a los recursos, la falta de conocimiento de información integrada y técnica que aborde los desastres naturales como una combinación compleja de los peligros naturales y la acción humana.

Las pérdidas potenciales provocadas por los desastres naturales se definen como el producto de la vulnerabilidad de los elementos expuestos en donde las afectaciones, pueden diferir dependiendo de la magnitud y la vulnerabilidad de los elementos en exposición (van Westen *et al.*, 2005). También, pueden clasificarse como directas o indirectas de acuerdo con el resultado del evento (Guillard-Gonçaves, 2016) dentro de las cuales, las lesiones, daños en edificios e infraestructura, corresponden a pérdidas potenciales directas. Las indirectas son entonces, aquellas que resultan de las consecuencias del desastre (Eidsvig *et al.*, 2014). La Tabla 2 enlista algunas de las pérdidas directas e indirectas que resultan de los desastres naturales.

	Sociales	Físicas	Económicas	Ambientales
Pérdidas directas	<ul style="list-style-type: none"> • Muertes • Lesiones • Pérdida de empleo • Pérdida de vivienda 	<ul style="list-style-type: none"> • Daños estructurales • Colapso de vivienda • Daños en la infraestructura 	<ul style="list-style-type: none"> • Interrupción en el trabajo debido a daños en la vivienda • Pérdida de fuerza de trabajo por lesiones y muertes • Costos de capital de respuesta 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación • Sedimentación • Destrucción de áreas naturales
Pérdidas indirectas	<ul style="list-style-type: none"> • Enfermedades • Discapacidad • Daños psicológicos • Pérdida de cohesión social • Inestabilidad política 	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro progresivo en los daños de la vivienda e infraestructura 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas económicas debido a la interrupción a corto plazo de las act. económicas • Pérdidas económicas a largo plazo • Pérdida del capital en la recuperación de los daños 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de la biodiversidad • Pérdida de diversidad e identidad cultural

Tabla 3. Pérdidas directas e indirectas de los desastres naturales. Adaptado de Guillard-Gonçaves, 2016.

Las investigaciones se han concentrado en la evaluación de las pérdidas tanto físicas como sociales (Flüchs *et al.*, 2007; Eidsvig *et al.*, 2014; Petley, 2012; Kappes, 2012; Papathöma-Khole *et al.*, 2003). Por ejemplo, Flüchs *et al.* (2007), han prestado atención en la vulnerabilidad física derivado de los deslizamientos de laderas de acuerdo con la relación entre la pérdida y la reconstrucción de los daños de las edificaciones basándose en su tipo y tamaño. En cuanto a la vulnerabilidad socio-económica, Eidsvig *et al.* (2014) han evaluado a través de indicadores que representan grados de preparación, la efectividad de la respuesta y recuperación del daño. Estos dos enfoques hacen referencia junto con otras investigaciones a la evaluación de las pérdidas potenciales directas a los eventos. Sin embargo, la evaluación de las pérdidas indirectas aún ha sido poco abordado.

2.1.2 Vulnerabilidad física dentro del entorno construido

El entorno natural puede presentarse a los seres humanos como un conjunto de oportunidades con peligros. Los sitios geológicamente inestables como lo son algunos tipos de laderas, o las regiones propensas a inundaciones o terremotos, proporcionan terrenos de bajo costo para la adecuación de viviendas (Birkmann, 2006). Las modificaciones antropogénicas al ambiente natural son, junto con los eventos climáticos y geológicos (en particular los sismos), los principales factores que pueden desencadenar desastres naturales (Alcántara-Ayala, 2002; Alexander *et al.*, 2019). Esto hace que los entornos urbanos, especialmente los que se caracterizan por un acelerado crecimiento demográfico en zonas periurbanas, induzcan un aumento en la demanda del uso de suelo.

Los estudios de vulnerabilidad dentro de las últimas dos décadas han hecho énfasis en la evaluación de los daños hacia la población en exposición y los impactos socioeconómicos como factores de igual importancia. A pesar de que esta evaluación, pueda expresarse en una escala inicial de 0 (sin pérdida) y 1 (pérdida parcial o total), un enfoque integral de la vulnerabilidad podría expresarse más que como un grado de daño,

como una característica del comportamiento humano dentro de un entorno físico y social (Kappes *et al.*, 2012).

El término de vulnerabilidad puede utilizarse de diferentes formas dependiendo el enfoque, por lo cual, ha generado que varias disciplinas tengan una definición de acuerdo con su interés. Papathoma-Khöle *et al.* (2010), afirman que, desde las ciencias naturales, la vulnerabilidad física se define como el grado de pérdida para el elemento dado o conjunto de elementos dentro de un área afectada por un peligro. Así, a través de esta definición, el análisis de la vulnerabilidad física puede abordarse a través de tres principales enfoques: 1) las curvas de vulnerabilidad, 2) las matrices de daño, y 3) las variables de vulnerabilidad (Kappes *et al.*, 2012). Las curvas de vulnerabilidad suelen analizar la intensidad del peligro con el costo de los daños ocasionados en la infraestructura en forma de valor total del riesgo. Las matrices de daño componen una clasificación cuantitativa por daños y niveles de los eventos. La desventaja de estos dos primeros enfoques se centra en la generalización y distinción de ciertas características como el tipo de edificaciones, por lo cual no logran profundizar en propiedades específicas del contexto que también contribuyen en la exposición al riesgo.

La información relacionada a las características de un entorno urbano como lo son sus materiales, tipo de edificación, nivel de compactación y número de niveles, puede influir en la exposición a un peligro específico. Al igual que estas características particulares, su relación con el sitio en cuanto a su topografía y geomorfología, requieren de ser analizados. Dentro de algunas investigaciones se destaca, por ejemplo, que la altura de un edificio puede ser de gran importancia dependiendo del peligro como en inundaciones, sismos y deslizamientos de laderas (Papathoma-Köhle *et al.*, 2007). En eventos de inundación el peligro puede corresponder a la ruta de evacuación vertical por la imposibilidad de una evacuación al nivel del suelo. Sin embargo, en situaciones de caída de rocas, sobre todo en sitios con pendientes pronunciadas, puede contribuir en el impacto por derrumbe de una edificación vertical, lo cual deriva considerables pérdidas económicas y pérdidas de vida. De igual forma, la presencia de edificios vecinos puede proteger a otros al reducir la fuerza del agua. Sin embargo, la falta de porosidad entre

ellos junto con la poca permeabilidad del suelo imposibilita el flujo de la misma hacia el subsuelo (Papathoma-Köhle *et al.*, 2003).

2.1.3 Susceptibilidad al deslizamiento de laderas

La susceptibilidad se define como la propiedad de las condiciones favorables o desfavorables para la estabilidad de los taludes o laderas que hacen referencia a los factores intrínsecos del suelo y/o las rocas (CENAPRED, 2019, p.3). Generalmente, la terminología que aborda esta propiedad hace referencia a procesos de remoción de masa, movimientos de laderas, deslizamientos, deslizamientos de laderas y procesos gravitacionales (CENAPRED, 2019). La inestabilidad de las laderas está determinada por su origen y su desarrollo a través de diferentes tipos de mecanismos que se pueden agrupar por cuatro categorías, así como una derivada de la combinación de estas (Tabla 3). El término de deslizamiento es el más común dentro de las investigaciones debido a su traducción del idioma inglés *landslide*. Como su nombre lo indica, implica el movimiento de cierto tipo de material en forma de rocas, tierra, detritos o suelo, sobre un plano o superficie de deslizamiento (Alcántara, 2000, p.8). Debido a que esta investigación aborda el peligro por el movimientos y caídas de suelo y/o tierra por sus impactos, se empleará el término de *deslizamiento de laderas*.

Mecanismo	Definición
Caída o derrumbe	“Movimiento repentino de suelo o fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes abruptas y acantilados, por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre, rodando o rebotando”.
Flujo	“Movimiento de suelo y/o fragmentos de rocas laderas abajo, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o se desliza sobre una superficie de falla”.
Deslizamiento	“Movimiento de una masa de materiales térreos pendiente abajo, delimitada por una o varias superficies, planas o cóncavas, sobre la cual se desliza el material inestable”.
Movimientos complejos	“Resultado de la transformación del movimiento inicial en otro tipo de movimiento al ir desplazándose ladera abajo”.

Tabla 4. Categorías de inestabilidad de laderas por mecanismos. Elaboración propia a partir de CENAPRED, 2021, pp.5-7.

Existen diferentes procesos del suelo tanto externos como internos que ocasionan la inestabilidad de las laderas. Los factores externos incrementan los esfuerzos en una ladera, lo cual, produce una mayor concentración de las fuerzas motoras o actuantes. Los factores internos, disminuyen la concentración de las fuerzas resistentes, es decir, la resistencia de los materiales (CENAPRED, 2021). Además de ellos, hay factores importantes que desencadenan los deslizamientos en las laderas como las actividades humanas a través de la urbanización y la excavación masiva con maquinaria. También el incremento de población en las zonas que se caracterizan por sus pendientes pronunciadas es un factor crítico en la determinación de alto número de daños y muertes. Las viviendas que se ubican en estas zonas generalmente son asentamientos informales y en condiciones precarias. Esto se considera particularmente alarmante, ya que los datos indican que el 41% de los deslizamientos ocurren en este tipo de asentamientos, lo cual representa el 81% de muertes (PNDU, 2013).

En las últimas décadas, se han incrementado las investigaciones sobre el deslizamiento de laderas debido a que los daños han sido cada vez mayores en cuanto a la frecuencia distribución y magnitud (Valdés Carrera *et al.*, 2021; Bell & Glade, 2003; van Westen *et al.*, 2005; Cardinalli *et al.*, 2006). A pesar de que las sequías, las tormentas de viento, las inundaciones y terremotos, ocurran con una alta frecuencia, los deslizamientos de tierra son la séptima causa de muerte entre los desastres naturales (Alimohammadlou *et al.*, 2013). Los deslizamientos de laderas son la expresión del nivel de susceptibilidad e inestabilidad, y pertenecen al grupo más amplio de movimientos de masas que están categorizados por tierra, roca y escombros (Glade & Crozier, 2012). Los efectos relacionados a este peligro pueden tener una variación en cuanto a su impacto y medición dependiendo de su ubicación geográfica. Por ejemplo, los deslizamientos de laderas en Europa son reconocidos por sus importantes pérdidas económicas, mientras que en Asia y América Latina están relacionados por las pérdidas de vida (Arce *at al.*, 2019; Sepúlveda & Petley, 2005).

Por su ubicación geográfica, América Latina junto con el Caribe es una región que está altamente expuesta a fenómenos geológicos como los deslizamientos de laderas,

terremotos, tsunamis y erupciones volcánicas. Esto, en gran parte se debe a una tectónica activa con altas tasas de levantamiento que favorecen las zonas de pendiente (Sepúlveda & Petley, 2015). Las amenazas de la región han afectado hasta el 2021, 216 millones habitantes, lo cual representa el 38% de la población mundial (Valdés, 2021) dentro y los sectores que han tenido más afectaciones corresponden a las viviendas con un 74%, el sector productivo con un 19% y la infraestructura con un 7% (CEPAL, 2014).

Las afectaciones en las viviendas han sido objeto de estudio en múltiples investigaciones (Petley, 2010; Papathoma-Khöle *et al.*, 2007; Papathoma-Khöle & Dominey (2003); Kappes *et al.*, 2012) debido a que representan considerables pérdidas de vida. Sin embargo, uno de los más grandes desafíos, consiste en la dificultad de ubicar con precisión los sitios en los que ocurrirán los eventos. Además, a pesar de que la ubicación de cada deslizamiento se identifica generalmente dentro de aproximadamente 2 kilómetros, no hay registros sobre las víctimas y su recuperación tras un deslizamiento, así como el tiempo y las pérdidas económicas y de vida de la población expuesta (Sepúlveda & Petley, 2015).

2.1.4 El riesgo relacionado a los altos niveles de precipitación e inundaciones

Por definición, el riesgo de inundación se refiere a la frecuencia y la magnitud de los eventos y la exposición de personas, los medios de subsistencia, los ecosistemas y los activos en donde ha ocurrido o podría ocurrir un peligro (IPCC, 2020). Las inundaciones pueden verse exacerbadas por diversas características del sistema climático como lo es particularmente la precipitación en cuanto a la intensidad, cantidad y tiempo (Kundzewicz *et al.*, 2013). De acuerdo con las respuestas hidrológicas de las cuencas, las inundaciones pueden clasificarse en lentas y súbitas. Las primeras, se generan en vías durante un tiempo relativamente largo que varía de horas a días y son capaces de saturar el suelo. Por otra parte, las inundaciones súbitas se forman minutos y horas, en áreas específicas que pueden ocasionar pequeñas corrientes y desencadenar en torrentes violentos (CENAPRED, 2007). La severidad de las

inundaciones ha incrementado debido a factores como el cambio de clima, el uso de la tierra, la infraestructura y la demografía (Tellman *et al.*, 2021).

Las actividades humanas tienen una relación directa con la alteración del ciclo hidrológico y, como consecuencia, del incremento de la precipitación y la incapacidad del suelo de contener el agua. El crecimiento urbano altera las coberturas del suelo y la regulación natural de los procesos de flujo y la infiltración del agua de lluvia. Asimismo, la extensión de la inundación puede verse modificada por el bloqueo de la infraestructura, la saturación de las alcantarillas y la sobrecarga al drenaje. De esta forma, la problemática de estas zonas urbanas es el alto valor del coeficiente de escorrentía mientras que el coeficiente de absorción de agua es bajo. Es importante destacar que el daño por los factores que provocan inundaciones no sólo es en función de la profundidad, velocidad y persistencia del flujo de agua. En contextos geológicamente susceptibles, la acumulación y la presión del agua en el suelo puede conducir al flujo de escombros y rocas (Wieczorek & Glade., 2007) así como la posibilidad de ocurrencia de deslizamiento de laderas.

El aumento en la intensidad y la frecuencia de las lluvias implica también cambios en la reducción de la cohesión y estabilidad de los taludes (Guzzetti *et al.*, 2005). Los datos anuales muestran altos niveles de variación anual en la distribución temporal de los deslizamientos de laderas. Sin embargo, los patrones sugieren una estacionalidad en el desencadenamiento del evento relacionado a las condiciones climáticas (Sepúlveda & Petley, 2015; Schneider *et al.*, 2011). A pesar de que el ciclo de precipitación difiera dependiendo de las regiones, es posible identificar en algunos casos de estudio una clara correlación positiva entre el número de eventos de deslizamientos de laderas y los datos de precipitación mensuales (Schneider *et al.*, 2011).

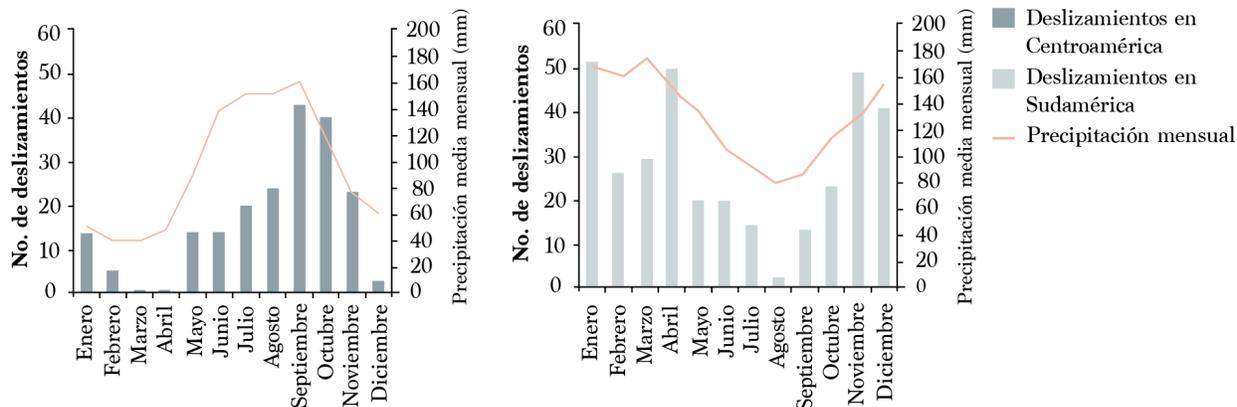


Figura 6. Distribución mensual de deslizamientos de laderas y precipitación media mensual entre los años 2004 y 2013 en Centroamérica y Sudamérica. Fuente: Schneider *et al.*, 2011.

Los datos de la Figura 6 muestra una estacionalidad en el número de deslizamientos con los patrones de precipitación mensual tanto en Centroamérica como en Sudamérica. También se indica que los meses de mayor precipitación mensual de Centroamérica es principalmente entre septiembre y octubre, mientras que en Sudamérica se reflejan altas precipitaciones en los meses de enero, abril, noviembre y diciembre. El reconocimiento de que cada región tiene una variación en cuanto a las temporadas de lluvia puede considerarse como premisa de alerta del posible desencadenamiento de eventos de deslizamientos de laderas en sitios geológicamente inestables.

2.1.5 El deslizamiento de laderas como fenómeno inducido

Diversas investigaciones afirman que la correlación entre los sitios con una alta frecuencia de inundaciones con el aumento del número y la frecuencia de deslizamientos de laderas (Crozier & Grade, 2005; Guzzetti *et al.*, 2015; Gaizdik *et al.*, 2017; Salvati *et al.*, 2010; Medina *et al.*, 2021). A través de ellos, se ha profundizado este peligro como fenómeno inducido. Guzzetti *et al.*, (2005), analizaron dentro de un contexto europeo, una tormenta con una duración de dos días, que provocó la muerte de 42 personas por deslizamiento de laderas en 11 sitios. Este mismo evento de lluvia produjo una inundación generalizada que causó la muerte de 55 y 85 personas lesionadas en 22 sitios. A pesar de que el número de víctimas de los deslizamientos de laderas tiende a

ser más alto debido al impacto directo que tiene sobre la infraestructura, es de gran importancia resaltar que estos mismos eventos pueden reducir la estabilidad de las laderas a corto y largo plazo.

Los eventos meteorológicos, a menudo, dan como resultado el peligro por inundaciones y deslizamiento de laderas. Existe un consenso general por diversas investigaciones que afirman la correlación entre los sitios de una frecuencia de inundaciones con el aumento del número y la frecuencia de deslizamientos de laderas (Crozier & Glade, 2005; Guzzetti *et al.*, 2015; Gaizdik *et al.*, 2017; Salvati *et al.*, 2010; Medina *et al.*, 2021). Estas investigaciones han profundizado en el desencadenamiento del peligro como fenómeno inducido dentro de un contexto europeo. Sin embargo, se considera de gran valor dentro de esta investigación para argumentar que el peligro por deslizamiento de laderas puede considerarse como un fenómeno inducido por inundaciones.

Con la finalidad de hacer visible la correlación entre estos dos peligros (inundaciones y deslizamiento de laderas) dentro del contexto mexicano como lo es el caso de estudio de esta investigación, a continuación, se expone brevemente el caso de estudio del deslizamiento de La Pintada, Guerrero con fecha del 16 de septiembre del 2013. Este sitio se ubica en la Sierra Madre Sur a 40 kilómetros de la costa. Este evento se presentó en dos etapas por la movilidad y la forma de los depósitos desencadenados por una tormenta extrema de cuatro días por la llegada del huracán Manuel (Pasch & Zelinsky, 2014). El incremento de la escorrentía asociada a la alta precipitación en el sitio se ha dado, en gran medida, por la falta de vegetación y la tala socavada a lo largo del talud de 250 metros de altura con una pendiente de 25° (Figura 6). El deslizamiento, provocó un total de 71 muertes, por lo cual, se clasifica como uno de los más mortíferos que han ocurrido en México. A pesar de que este caso de estudio difiera por ubicación, geología, litología y geomorfología al sitio de interés, así como en la magnitud y pérdidas del evento, se destacan factores importantes que desencadenaron el evento, lo cual, es de gran utilidad conocer dentro de esta investigación.



Figura 7. Deslizamiento de laderas en La Pintada, Guerrero. Ejemplos de deslizamientos relacionados a las lluvias del huracán Manuel. Fuente: Ramírez-Herrera & Gaidzik, 2017.

El derrumbe que ocurrió en esta fecha no ha sido el primer evento que ocurre dentro de La Pintada. En el año de 1974, junto con el registro de nuevos movimientos, se presentó el mismo fenómeno que coincidió con la llegada del huracán Dolores (HURDAT2, 2016; García Herrera, 2014). La ubicación del deslizamiento de 1974 fue la misma que en el año 2013 con una pendiente $>25^\circ$, por lo tanto, el gradiente de pendiente era probablemente la misma de la del último evento. Las fotografías de la figura 6 muestran una presencia significativa de vegetación y una zona desprovista de ella en donde se originó el deslizamiento. Así, se destaca que la falta de vegetación en el talud contribuyó potencialmente a la erosión más intensa y la reducción de la estabilidad. Asimismo, la tala de árboles se considera un factor importante en la generación del deslizamiento, ya que su condición natural boscosa habría evitado el desplazamiento del suelo hacia abajo.

Con base en las observaciones de esta investigación, se muestra que las alteraciones antropogénicas comprometen la estabilidad de las laderas. Los cambios en el relieve y la sobrecarga en el suelo por la construcción de viviendas es otro factor que se resalta en el peligro por deslizamiento. Es importante recalcar que, ante la destrucción de múltiples viviendas, el gobierno reconstruyó y adecuó una nueva zona en la ruta exacta del deslizamiento del 2013. Esto hace visible la necesidad urgente de integrar no sólo nuevas estrategias de planeación urbana sino, también, dar las herramientas y los conocimientos necesarios a la población que está expuesta como método de prevención y respuesta ante el riesgo.

2.1.6 Hacia la mitigación del riesgo

Dentro de esta investigación se argumenta que la introducción de nuevas estrategias de intervención en la planeación territorial, puede ser una vía de mitigación del riesgo. El incremento de vulnerabilidad social, económica y ambiental por el desarrollo de áreas urbanas requiere de la construcción de sistemas urbanos resilientes. Esto puede lograrse través de diferentes intervenciones urbanas que incrementen 1) la habilidad de un sistema de absorber o amortiguar perturbaciones al tiempo que mantengan sus atributos, 2) la habilidad de adaptación en condiciones cambiantes y 3) la capacidad de aprendizaje y adaptación en contextos de cambios constantes (Berkes *et al.*, 2003). En contextos como el caso de estudio del Peñ, la visión de la planificación puede inspirar a los tomadores de decisiones a crear un urbanismo integrado hacia la mitigación de riesgo para entornos más sostenibles.

Algunas instituciones gubernamentales como la ONU a través de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), se ha abordado como primera fase en los discursos, la necesidad inmediata del manejo de fenómenos físicos seguida del hincapié de los impactos sociales para comprender por qué los peligros similares pueden tener daños muy diferentes dependiendo de la región. También, se ha abordado el impacto del desarrollo mundial sostenible particularmente en contextos que se caracterizan con la pobreza y la degradación ambiental. Esto con la finalidad, de prestar más atención en la comprensión de la complejidad de los desastres en cuanto a su exposición, vulnerabilidad y seguridad (ONU, 2005).

La integración de estrategias de adaptación y transformación en la planificación de los contextos urbanos expuestos a desastres naturales es necesaria para lograr sitios más resilientes y sostenibles. El hecho de que los elementos de la forma urbana como los bloques y las redes se consideren dentro de los componentes más duraderos de las ciudades, hace visible la importancia de abordarlos en estrategias de mitigación del riesgo. Para ello, es importante identificar las características, los principales elementos y

las configuraciones de la forma urbana como una premisa importante hacia la mejora de gestión de desastres y el equilibrio de los sistemas sociales y naturales (Sharifi, 2019b).

2.2 La forma urbana

Ante las constantes transformaciones sociales y ambientales en los contextos urbanos, se ha vuelto cada vez más necesario hacer frente a las amenazas naturales que repercuten su habitabilidad y funcionalidad. Existe evidencia empírica y teórica sobre el funcionamiento y la configuración física de la ciudad, que hace visibles los esfuerzos por incrementar su resiliencia a través de intervenciones urbanas después de una perturbación (Sharifi, 2019a; Allan & Col, 2013). La forma urbana, dentro de esta investigación, hace referencia a la forma física de un contexto urbano, que se produce a partir de las intervenciones del ser humano en las cuales se involucran diferentes interacciones sociales, económicas, geográficas y culturales (Sharifi & Yamagata, 2018; Xu *et al.*, 2019). Al tratar aspectos físicos, se cuenta con elementos potenciales que pueden organizarse y planificarse, de tal manera que generen patrones positivos en el fortalecimiento del bienestar de sus habitantes.

La planificación urbana para las grandes ciudades favorece su flexibilidad y agilidad en contextos cada vez más cambiantes (Sharifi, 2019b). El papel potencial de las formas físicas de las ciudades se argumenta, como una de las principales vías por las cuales se pueden generar intervenciones del sistema urbano para la reducción del riesgo (León & March, 2016; Allan *et al.*, 2013). El diseño de entornos construidos y no construidos refuerza las medidas de gestión y modificación del espacio que permiten un mejor funcionamiento de las ciudades (Wamsler, 2014) y, así, la reducción de riesgo a largo plazo. Ésto puede lograrse, por ejemplo, a través de una red de espacios en forma de calles, plazas y parques que permitan albergar a los habitantes en eventos de desastres causados por fenómenos geológicos y/o meteorológicos y minimizar las alteraciones y daños en las comunidades (Cutter *et al.*, 2018).

La flexibilidad y la adaptabilidad de la forma urbana es de gran importancia para abordar el efecto de los desastres naturales. Las investigaciones que han explorado el rol de la forma urbana han incluido la configuración de elementos físicos en cuanto a su tamaño, forma, patrones y conectividad (Quiao *et al.*, 2014). En estas situaciones, no es precisamente la cantidad del espacio, sino las cualidades particulares que pueden favorecer al diseño urbano (Allan *et al.*, 2013). Hacer frente a la calidad del espacio requiere de un estudio con implicaciones de diseño ya que, por ejemplo, las superficies amplias de espacio libre pueden crear trayectorias inadecuadas debido a su accesibilidad y, por el contrario, superficies escasas restringen su potencial (Mitchell, 2004).

2.2.1 Incremento de resiliencia a través de la forma urbana

Durante los últimos años se ha utilizado cada vez con mayor frecuencia del concepto de resiliencia relacionada con las áreas urbanas. Este término hace referencia a la capacidad de un sistema potencialmente expuesto a un peligro para resistir, asimilar, adaptarse y recuperarse del impacto y efectos de un fenómeno perturbador en un corto plazo y de manera eficiente (GOBCMDX, 2019). Existe una amplia literatura sobre la evaluación de la resiliencia urbana en donde autores como Andersson (2016), Tierney (2013), Chang (2010) y Sharifi (2019) sugieren estrategias cuantitativas y descriptivas espaciales al igual que el papel de la ecología en los contextos urbanos. También Walker y Salt (2006) han desarrollado una descripción de los atributos urbanos potenciales en la construcción de resiliencia urbana.

Los atributos que se muestran en la Tabla 4, definen los atributos urbanos y su vínculo con el incremento de resiliencia desde la visión de Sharifi (2019, pp. 12). En cuanto a la evidencia en la teoría urbana, se consideraron las propiedades establecidas por Walker & Salt (2006, pp. 145-148). Estos atributos son lo suficientemente generales para ser aplicados de forma universal. Sin embargo, las oportunidades específicas de cada sitio pueden ser abordadas como premisa del funcionamiento de los contextos urbanos.

Atributo	Vínculo con la resiliencia	Evidencia en la teoría urbana
Diversidad	Mejora la capacidad de un sistema para adaptarse a una amplia gama y diversidad de circunstancias impredecibles.	Uso de suelo mixto, variedad en la edad, densidad y geometría de las edificaciones, bloques de corta distancia y heterogeneidad espacial.
Modularidad	Permite que los módulos sigan funcionando individualmente cuando otros fallan, por lo cual, se considera como una oportunidad de autoorganización.	Forma urbana policéntrica, flexibilidad y conectividad en las redes.
Innovación	Incrementa la experimentación y el conocimiento local como método de preparación, adaptación y recuperación.	Estrategias de intervención.
Retroalimentación	Fortalece las redes sociales y la determinación en la toma de decisiones.	Capacidad de un sistema de autoorganizarse, acciones de abajo hacia arriba (Bottom Up).
Superposición en la gobernanza	Incluye la redundancia en la estructura institucional.	Diversidad, comunidad y desarrollo urbano.
Servicios ecosistémicos	Incluye propuestas de equilibrio, desarrollo y evaluación de los sistemas socio-ecológicos.	Densidad y extensión urbana, conservación y recuperación del sistema natural.
Capital social	Incrementa la capacidad de respuesta de las comunidades.	Delimitación de espacios públicos y heterogeneidad socio-espacial.
Variabilidad	Adopta acciones en lugar de fomentar rigidez tanto en la toma de decisiones como en la forma de respuesta local.	Ingeniería ecológica y redundancia.

Tabla 5. Vínculo de los atributos urbanos con la resiliencia. Elaboración propia a partir de Sharifi, 2019, pp.12 y Walker & Salt, 2006, pp. 145-148.

2.2.2 La forma urbana y sus elementos constitutivos

La forma urbana se define como la representación espacial de un conjunto complejo y dinámico de interacciones entre factores sociales, económicos, geográficos, culturales, físicos y tecnológicos que definen el proceso de formación y transformación de las ciudades (Sharifi, 2019, p. 239; Kropf, 2009). A través de sus elementos constitutivos y dependiendo de su escala puede clasificarse y estudiarse con diferentes enfoques. Por ejemplo, Silva *et al.* (2017) han profundizado en un entorno construido y conectado por redes urbanas, mientras que Dempsey *et al.* (2010) han profundizado en sus características generales como la densidad, tipo de edificación, infraestructura y uso de suelo.

Siguiendo una aproximación jerárquica, los elementos de la forma urbana pueden ser categorizados por bloques, vecindarios, regiones y ciudades. Sharifi (2019),

ha introducido el análisis de los elementos con base a tres diferentes escalas en marco, meso y micro. La macro-escala se refiere a toda la estructura de una ciudad y su posición. La meso-escala, que es la que concierne esta investigación, aborda los lotes, bloques espacios abiertos y redes de acuerdo con su forma, configuración y distribución (Sharifi & Yamagata, 2018; Figura 8). Por último, la micro-escala, se centra en la estructura granular del diseño de las edificaciones y su posición respecto a sus colindantes y sus espacios abiertos. Parte fundamental del abordaje a una meso-escala, es la necesidad de prestar atención en la importancia no sólo de la presencia de estos elementos, sino como una configuración de un todo de ellos dentro de un espacio.

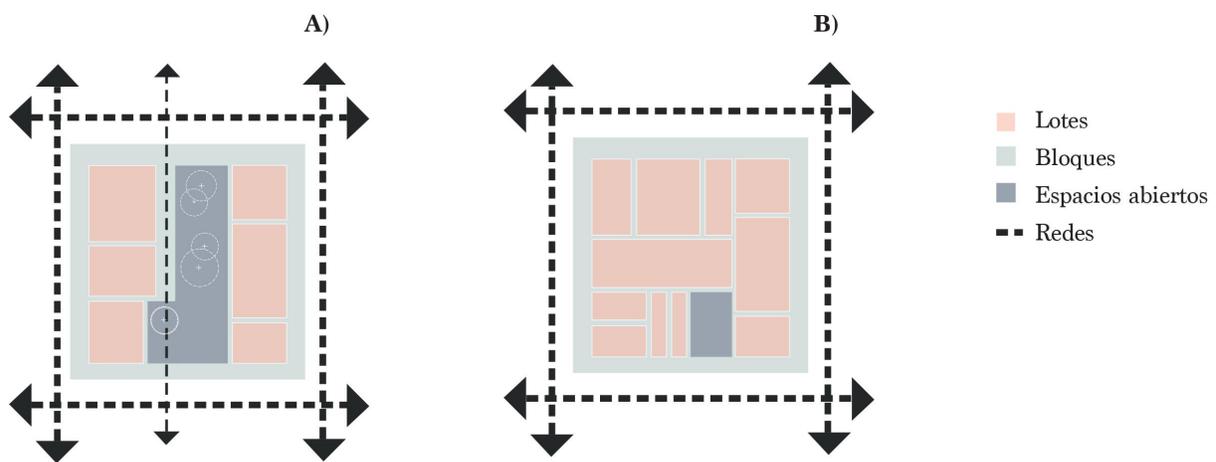


Figura 8. Diagrama de diferentes patrones de las configuraciones de los elementos de la forma urbana a partir de la meso-escala. La figura A muestra un patrón urbano de lotes grandes contenidos por un bloque con cuatro redes principales y un espacio abierto central que en la cual se encuentra una red secundaria. La figura B) muestra un patrón de lotes pequeños contenidos por un bloque con cuatro redes y un espacio abierto de escala pequeña y sin redes secundarias. Elaboración e interpretación propia de investigaciones de Sharifi, 2019; Sharifi & Yamagata, 2018 y Kropf, 2019.

Dentro de esta investigación se hará uso de los lotes, bloques, espacios abiertos y redes como elementos de la forma urbana a una meso-escala tal como puede apreciarse en la Figura 8. En ella es posible identificar que, a pesar de contar con los mismos cuatro elementos, su configuración puede generar dinámicas con grandes diferencias. La Figura 8A muestra un patrón de bloque de forma cuadrada con lotes de gran tamaño y un espacio abierto central que están delimitados por cuatro redes principales. Al contar con un espacio abierto de gran tamaño, tiene la capacidad de convertirse en una red adicional, es decir, una red secundaria que permite una permeabilidad por ser un espacio

no construido. Por el contrario, la Figura 8B, a pesar de contar con la misma forma del bloque, sus lotes de menor tamaño indican una mayor densidad y, por tanto, en contextos de riesgo, puede representar un mayor tiempo de evacuación ante situaciones de emergencia. También, es posible ver dentro de esta figura, que este patrón cuenta únicamente con un espacio abierto ubicado en su lado inferior. Al estar contenido por lotes, imposibilita la generación de una red secundaria.

2.2.3 Lotes

El lote es la unidad básica de la forma urbana que consiste en la subdivisión del suelo sobre la cual se asientan uno o más edificios (Sharifi, 2019; Kropf, 2014). El control y la regulación tanto del tamaño como de la distribución de este elemento, es esencial para el fortalecimiento de las capacidades de adaptación en situaciones cambiantes. Las propiedades tanto horizontales en lo que se refiere a la proximidad con otros, morfología y tamaño, y las verticales con relación con el número de niveles, puede favorecer a diversos usos que fomenten la integración social y espacial (Feliciotti *et al.*, 2017). También, la combinación en cuanto al tamaño de los lotes puede considerarse como una medida de incremento de flexibilidad y capacidad adaptativa del sistema urbano. La presencia de lotes pequeños se establece como deseable debido a su potencial de intervención y adaptación posterior a un evento perturbador. En contraste, el tamaño grande dentro del mismo contexto de riesgo geológico y/o hidrometeorológico podría obstaculizar la capacidad de autoorganización de las comunidades, así como las posibilidades de intervención como zonas de refugio.

Los contextos urbanos con exposición alta a desastres naturales como son las inundaciones y los deslizamiento de ladeas, generalmente se caracterizan por la ausencia de planificación y alta densidad urbana. A pesar de que en estas zonas no sea posible implementar la diversidad en cuanto al tamaño, promover lotes de grano fino junto con un número de niveles moderado, permite destinar pequeñas fracciones del suelo urbano en vías de circulación, espacios abiertos y parques (Byahut & Mittal, 2017). Además de proveer de servicios ecosistémicos, la permeabilidad entre ellos es un factor esencial en el control de flujo de lluvia y control de islas de calor (Bruwier *et al.*, 2018).

En cuanto a su geometría, las formas regulares como lo es el cuadrado o el rectángulo con una proporción, por ejemplo, $LL < 2LC$ (lado largo menor a 2 veces el lado corto), pueden promover la flexibilidad en la agregación y disgregación los usuarios. En zonas en donde dominan los lotes de un lado largo considerablemente mayor al lado corto o los frentes de las edificaciones están en sentidos opuestos, puede limitar una pronta evacuación y con ella la eficacia en la forma de responder ante amenazas y la calidad de la integración social.

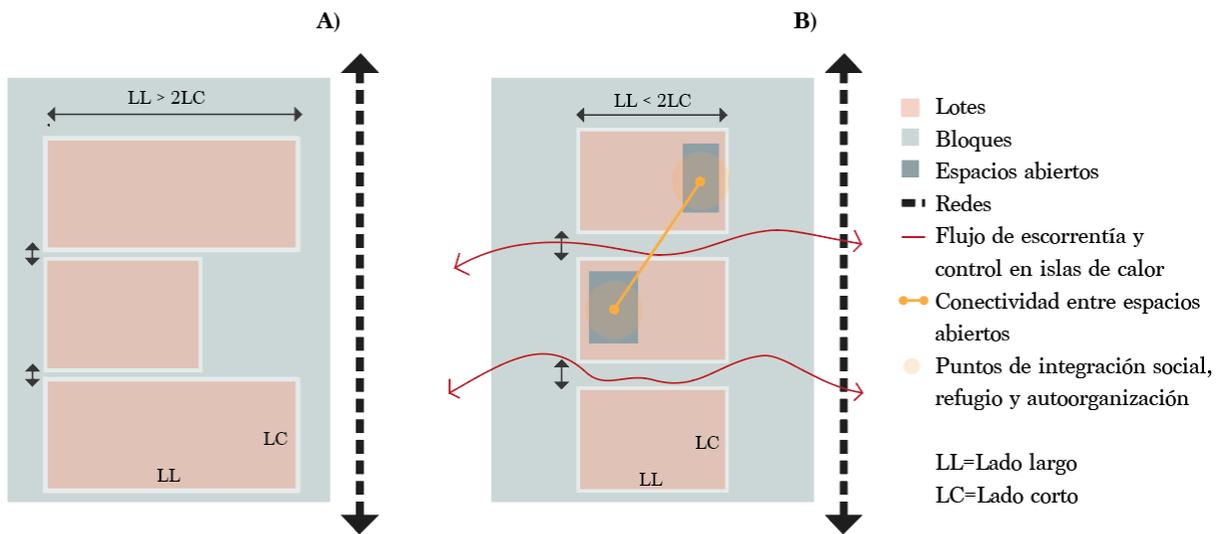


Figura 9. Diagrama de diferentes patrones de funcionamiento y configuración de los lotes. La Figura A muestra un patrón urbano de lotes de tamaño $LL > 2LC$, espacio reducido entre ellos y sin espacios abiertos. La Figura B muestra un patrón urbano de lotes de tamaño $LL < 2LC$ con mayor espacio entre ellos que la figura A y con espacios abiertos que permiten un mejor conectividad, flujo de escorrentía y control en islas de calor. Elaboración e interpretación propia de investigaciones de Sharifi, 2019; Bruwier *et al.*, 2018; Feliciotti *et al.*, 2017 y Byahut & Mittal, 2017.

La Figura 9 muestra dos patrones urbanos con diferentes funcionamientos y configuraciones por la variación en el tamaño y la proximidad de los lotes. En la Figura 9A se identifican lotes con una proporción de $LL > 2LC$, una distancia reducida entre ellos en un sentido vertical y la presencia de espacios abiertos. En cambio, la Figura 9B, representa un patrón con lotes con una proporción de $LL < 2LC$, una distancia entre ellos mayor a la Figura 9A y la presencia de dos espacios abiertos. Estas tres diferencias aparentemente mínimas, se exponen de gran importancia debido a las cualidades que puede tener un sistema urbano como respuesta adaptativa. Mientras la distancia entre lotes promueve el control en el flujo de escorrentía y de islas de calor, el tamaño y la

presencia de espacios abiertos permiten generar puntos de integración social, de refugio y de autoorganización antes y después de eventos perturbadores.

2.2.4 Bloques

El bloque se define como una superficie de tierra rodeada de calles que integra espacios construidos, espacios abiertos y/o cuerpos de agua (Sharifi, 2019). Autores como Sharifi (2019, 2021) y Allan (2021) argumentan que los bloques de tamaño chico y mediano que además tienen una forma regular, son esenciales para evitar bloques en accesibilidad y representan patrones flexibles. Estas características promueven la permeabilidad del flujo de usuarios a través de espacios transitables, múltiples puntos de acceso y conectividad vehicular y peatonal con las calles (Aguilar, 2004; Jacobs, 1961). En contraste los bloques grandes, además de que representan mayores distancias, generalmente refieren a una alta densidad urbana que, en contextos de riesgo, puede imposibilitar una evacuación eficiente.

La configuración urbana que se le atribuye a la ubicación y forma de los bloques ha sido analizada a través de simulacros de evacuación en diferentes regiones. A través del estudio de Allan (2011), se concluyó que ante peligros geológicos de una duración corta, por ejemplo, los sismos y los deslizamientos de laderas, los habitantes han presentado dificultad para llegar a espacios seguros debido al bloqueo de redes de salida por edificaciones o rocas caídas. Estos peligros que generalmente ocurren de forma repentina, a gran escala y expansiva en el sentido de derrumbe de viviendas y laderas, lo cual, indica que espacialmente, la modularidad continua de los bloques en tamaño y forma, pueden facilitar una pronta evacuación. Ante estas situaciones de emergencia, los espacios abiertos que también pueden estar contenidos en los bloques, tienen la capacidad de activarse durante y después de estos eventos como una circulación secundaria a modo de permanencia segura.

Una de las respuestas más espontáneas posteriores al daño en una zona desastre es la adaptación de espacios por las mismas comunidades. Este

comportamiento hace que, instintivamente, se establezcan las condiciones necesarias para mejorar y generar un capital social para agilizar la recuperación. Por ejemplo, en algunos barrios que cuentan con un parque o espacio de reunión se asigna un representante en donde frecuentemente se discuten estrategias de supervivencia (Allan, 2011). La configuración regular de los bloques sin específicamente tener un espacio abierto puede actuar como un espacio que sea reconocido por las propias comunidades como punto de reunión e intercambio de información. Para ello, se ha identificado que un sistema urbano es deseable un sistema modular compuesto por pequeñas unidades interconectadas para crear un todo funcional.

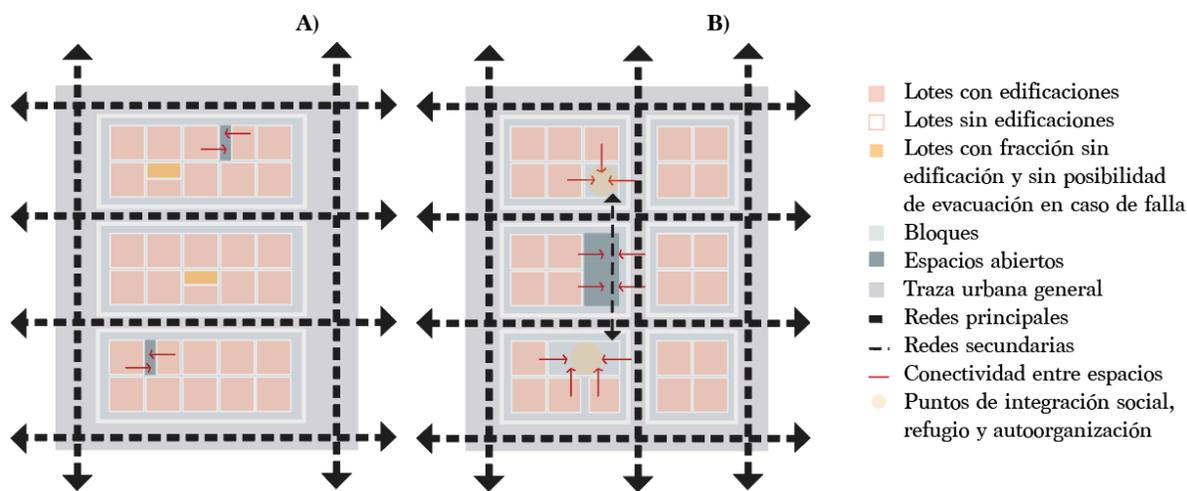


Figura 10. Diagrama de diferentes patrones de funcionamiento y configuración de bloques. La figura A indica inflexibilidad entre ellos con poca posibilidad de acción en caso de emergencia. La figura B) indica bloques flexibles entre ellos que permite la circulación entre los lotes y cuenta con una red secundaria en caso de emergencia. Elaboración e interpretación propia de investigaciones de Sharifi, 2019; Sharifi, 2021; Allan, 2011; Jacobs, 1961 y Aguilar, 2004.

La Figura 10 muestra dos patrones urbanos con diferentes funcionamientos y configuraciones por la variación en el tamaño y la modularidad de los bloques. La Figura 10A visualiza bloques de gran tamaño que, en situaciones de emergencia, podrían representar distancias largas para evacuar. También, se identifica la presencia de espacios abiertos de tamaño reducido y pocos lotes con fracciones sin edificación, en donde debido su ubicación y tamaño de los bloques tienen una accesibilidad limitada. La Figura 10B representa bloques de menor tamaño y con una modularidad regular. También, cuenta con un espacio abierto de gran tamaño y dos lotes sin edificaciones

que permiten una circulación a través de redes secundaria y puntos de integración social, refugio y autoorganización con accesibilidad a los propios bloques y a los colindantes.

2.2.5 Espacios abiertos

Los espacios verdes dentro de esta investigación hacen referencia a cualquier espacio de suelo con propiedades y materiales permeables ya sea natural o intervenido por el ser humano (Sharifi, 2019). En el diseño urbano y la arquitectura de paisaje generalmente se refiere a estos espacios con una variedad de significados que incluyen parques, patios y jardines (Allan & Bryant, 2010). A pesar de que no todas las investigaciones los consideran dentro de los elementos que constituyen un entorno urbano construido, otras han reconocido su estrecha relación con el medio natural como espacios de refugio posterior a situaciones de desastre (Byahut, S. & Mittal, J., 2017; Allan & Bryant, 2011). Su diseño puede jugar un papel muy importante dentro de la planificación de cambios espaciales y temporales para abordar la gestión del riesgo (Mazereeuw, 2015). Por ejemplo, al integrar los espacios abiertos a los sistemas urbanos, se pueden generar capacidades de absorción y recuperación de diferentes eventos de desastre a través del aumento de porosidad urbana. Así, dependiendo de su tamaño, diseño y configuración, estos espacios pueden contribuir a la adaptación y a la recuperación del sistema a través de importantes propiedades como la conectividad, flexibilidad y modularidad de un entorno urbano.

La multifuncionalidad de los espacios abiertos se también se refleja en la construcción de comunidades resilientes debido a su capacidad adaptativa ante el riesgo (León & March, 2014; Koren & Rus, 2019). Diseñar espacios para reunirse y asistir a diferentes eventos sociales y culturales, puede aumentar las interacciones sociales y el nivel de autoorganización de una comunidad. Diversas investigaciones que han referido la potencialidad de los espacios abiertos en el fortalecimiento social examinan la importancia de abordar escalas pequeñas y grandes (Dionisio *et al.*, 2010). La razón para enfocarlas presenta la lógica del riesgo relacionado a la alta densidad urbana en donde existen problemas significativos relacionados con la accesibilidad a las posibles áreas de

evacuación (Flüchter, 2003). Además, se argumenta que la escala puede estar relacionada con el sentido de organización y pertenencia y, por consecuencia, puede proporcionar un potencial significativo para mejorar las capacidades locales de adaptación y recuperación ante eventos perturbadores.

La diversidad en el tamaño y el tipo de los espacios abiertos contribuye en el modo de respuesta del sistema urbano ante un fenómeno natural perturbador. Por ello, es necesario también abordar la particularidad tanto del evento con la del sitio, con la finalidad de obtener un mejor conocimiento sobre las variaciones del modo de respuesta. Algunos autores como Xu *et al.*, 2019; Ishikawa, 2002; Cavan *et al.*, 2014, han expuesto que los espacios abiertos pueden favorecer en la conformación de zonas de amortiguamiento entre esferas naturales y urbanas en beneficio de la biodiversidad y la regulación de la temperatura. Asimismo, Quiao *et al.*, 2014, Stangl, 2018 y Dionisio *et al.*, 2012 mencionan que los espacios abiertos, sin importar que sean pequeños, generan grandes beneficios por promover espacios de refugio en situaciones de emergencia y contribuyen en la provisión de microambientes para el control de islas de calor.

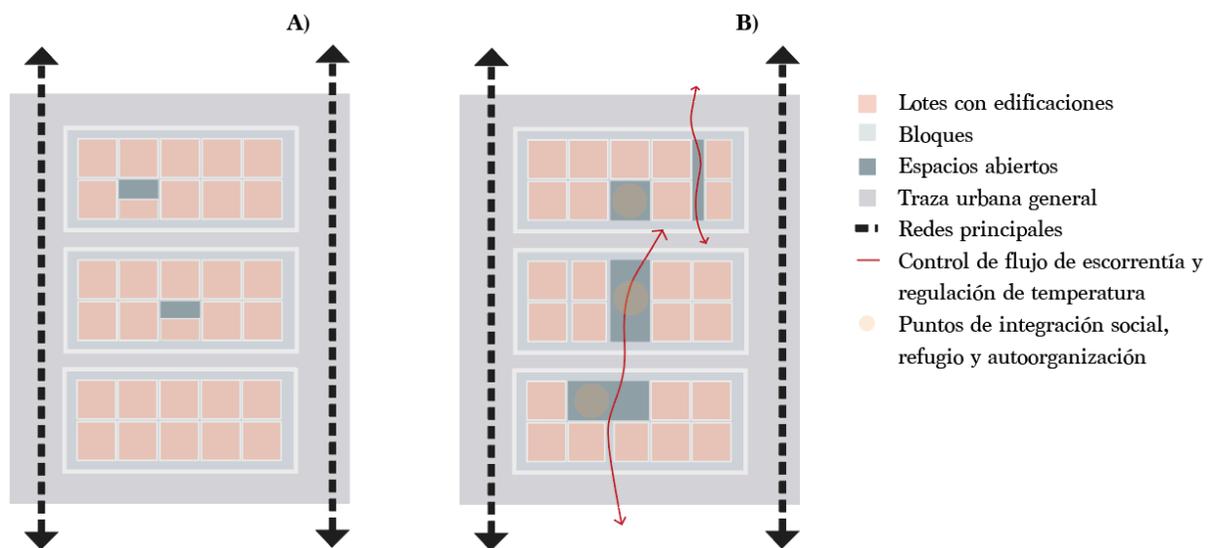


Figura 11. Diagrama de diferentes patrones de funcionamiento y configuración de espacios abiertos. La Figura A indica obstrucción de flujo de escorrentía y ausencia de puntos de integración social, refugio y autoorganización. La figura B indica permeabilidad urbana para el flujo de escorrentía, regulación de temperatura y presencia de puntos de integración social, refugio y autoorganización. Elaboración e interpretación propia de investigaciones de León y March, 2014; Koren & Rus, 2019; Dionisio *et al.*, 2010; Flüchter, 2013; Xu *et al.*, 2019; Ishikawa, 2002; Cavan *et al.*, 2014; Quiao *et al.*, 2014 y Stangl, 2018.

La Figura 11 muestra dos diferentes patrones urbanos por la presencia, ubicación y configuración de los espacios abiertos. A pesar de que la Figura 11A representa la presencia de dos espacios abiertos, se encuentran delimitados por lotes con edificaciones. Esto se considera, además de una accesibilidad limitada para los usuarios, un factor de obstrucción del flujo de escorrentía y regulación de la temperatura. Por su lado, la Figura 11B, indica la presencia de espacios abiertos de mayor tamaño en los tres bloques, lo cual permite la permeabilidad urbana tanto de los usuarios como del flujo del agua y la regulación de temperatura.

2.2.6 Redes

Las calles y los caminos como redes de conexión son fundamentales para guiar el crecimiento y el desarrollo de las ciudades. Sin embargo, dependiendo de su estructura y su diseño, pueden generar rutas tanto positivas (de distancias reducidas y sin bloqueo) como negativas (de distancias largas y con bloqueo). El diseño y las propiedades morfológicas de las redes tienen implicaciones significativas para el funcionamiento continuo, eficiente y confiable de la infraestructura urbana (Sharifi, 2018). Las propiedades pueden expresarse a través de los nodos y las vías (Porta *et al.*, 2006) que representan las intersecciones y los segmentos. Estos dos elementos cuentan con la misma jerarquía al abordar la medida de centralidad por implicar factores de tiempo y distancia para la evacuación en eventos perturbadores. Por ejemplo, al ocurrir un desastre, junto con los espacios abiertos, las redes se activan como un sistema modular que tiene una redundancia incorporada para una evacuación segura (Allan *et al.*, 2013).

La eficiencia de las redes se maximiza cuando la distancia promedio de los nodos es más corta. Cuando un desastre ocurre, la desactivación de los nodos no es deseable porque significa que las ramificaciones serán significativamente más largas. El proceso de analizar la robustez de las redes es de gran relevancia para comprender cómo es su funcionamiento y cuándo colapsan ante una disrupción (Wang, 2015). Además, de ser una superficie vacante que proporciona la flexibilidad que asegura un respaldo o una alternativa disponible para cambiar y adaptarse ante un desastre. La estructuración de

las redes puede mejorar la resiliencia a través de conexiones entre el tejido urbano. Como lo demuestra la forma urbana en algunas ciudades como Tokio, la distancia menor a los 50 m entre nodos ha incrementado la flexibilidad y la deformidad urbana ante situaciones de desastre (Salat & Bourdic, 2012).

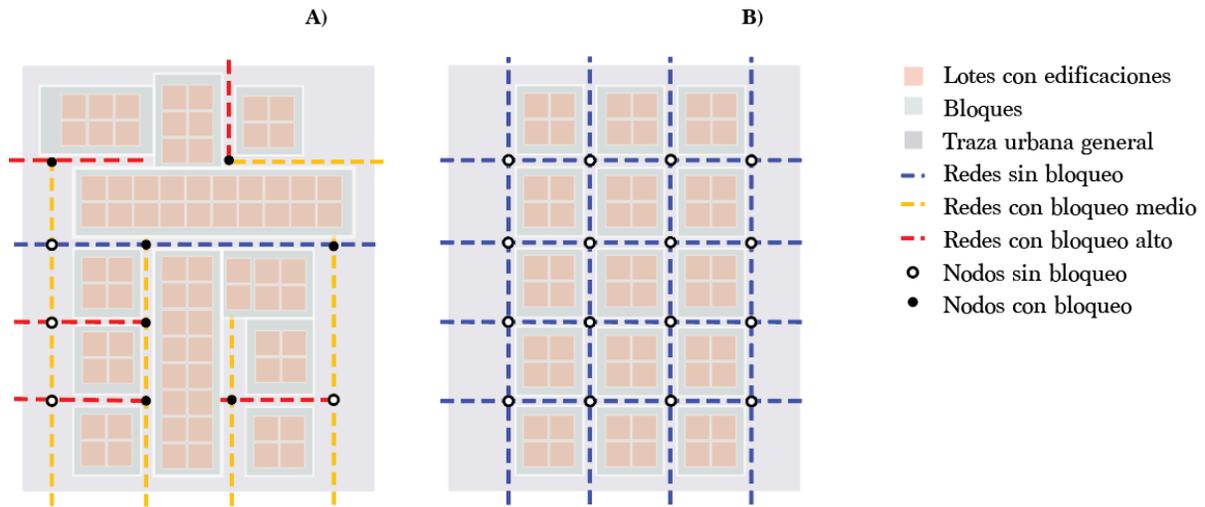


Figura 12. Diagrama de diferentes patrones de funcionamiento y configuración de redes. La figura A indica presencia de bloqueo en redes y nodos. La figura B indica ausencia de bloqueo en redes y nodos. Elaboración e interpretación propia de investigaciones de Sharifi, 2018; Allan *et al.*, 2013; Wang, 2015 y Salat & Bourdic, 2012.

La Figura 12 muestra dos diferentes patrones urbanos de funcionamiento y configuración de las redes. La Figura 12A indica bloqueo de vías en las líneas en color rojo y amarillo y bloqueo de nodos en puntos rellenos. Esta figura que cuenta únicamente con una vía sin bloqueo representada en color azul, indica que su intersección con aquellas que se encuentran bloqueada genera una propiedad de bloqueo en el nodo al no lograr una continuidad en la red. Por el contrario, la Figura 12B visualiza un patrón urbano con una red que se caracteriza por una red con modularidad regular en donde todas las vías y nodos están libres de obstrucciones.

Capítulo 3.

Materiales y metodología

La base de esta investigación es prestar más atención a cómo la lectura y el análisis de los elementos y la configuración de la forma urbana pueden generar acciones de mitigación del riesgo por inundación y deslizamiento de laderas. Dentro del caso de estudio del Peñón del Marqués, se llevó a cabo la evaluación del riesgo a través de un enfoque mixto que incluye la revisión bibliográfica del sitio y el procesamiento de imágenes de percepción remota. La metodología plantea una evaluación que integra las características geológicas e hidrometeorológicas que pueden representar amenazas de inundación y deslizamiento de laderas. Estos son los dos únicos factores de riesgo considerados en esta investigación. Debido a que el crecimiento urbano en la zona de estudio se ha llevado a cabo de forma contrastante por la urbanización planificada y la no-planificada, se realizó un análisis cuantitativo de cada uno de los patrones, a través de la variación de los elementos de la forma urbana.

Para la caracterización del Peñón del Marqués y el análisis de factores de preacondicionamiento del riesgo, se procesaron imágenes Landsat Copernicus, Sentinel-2A, LiDAR (Light Detection and Ranging) y MEDs (Modelos de Elevación Digital) que se integraron en un Sistema de Información Geográfica (SIG) dentro del software libre QGIS 3.16.16. Con ellas, se generaron mapas a través de diferentes capas que permitieron representar gráficamente las características físicas de las coberturas del suelo urbanizado y no-urbanizado del sitio. Esta última clasificación se estableció con la finalidad de analizar los espacios abiertos. Los datos obtenidos de la caracterización de la forma urbana de la zona de estudio se utilizaron para establecer una relación con el riesgo potencial. Finalmente, se identificaron las oportunidades de acción a partir de la forma urbana a través de cuatro escenarios de intervención para ser encaminados hacia estrategias de mitigación del riesgo (Figura 13).

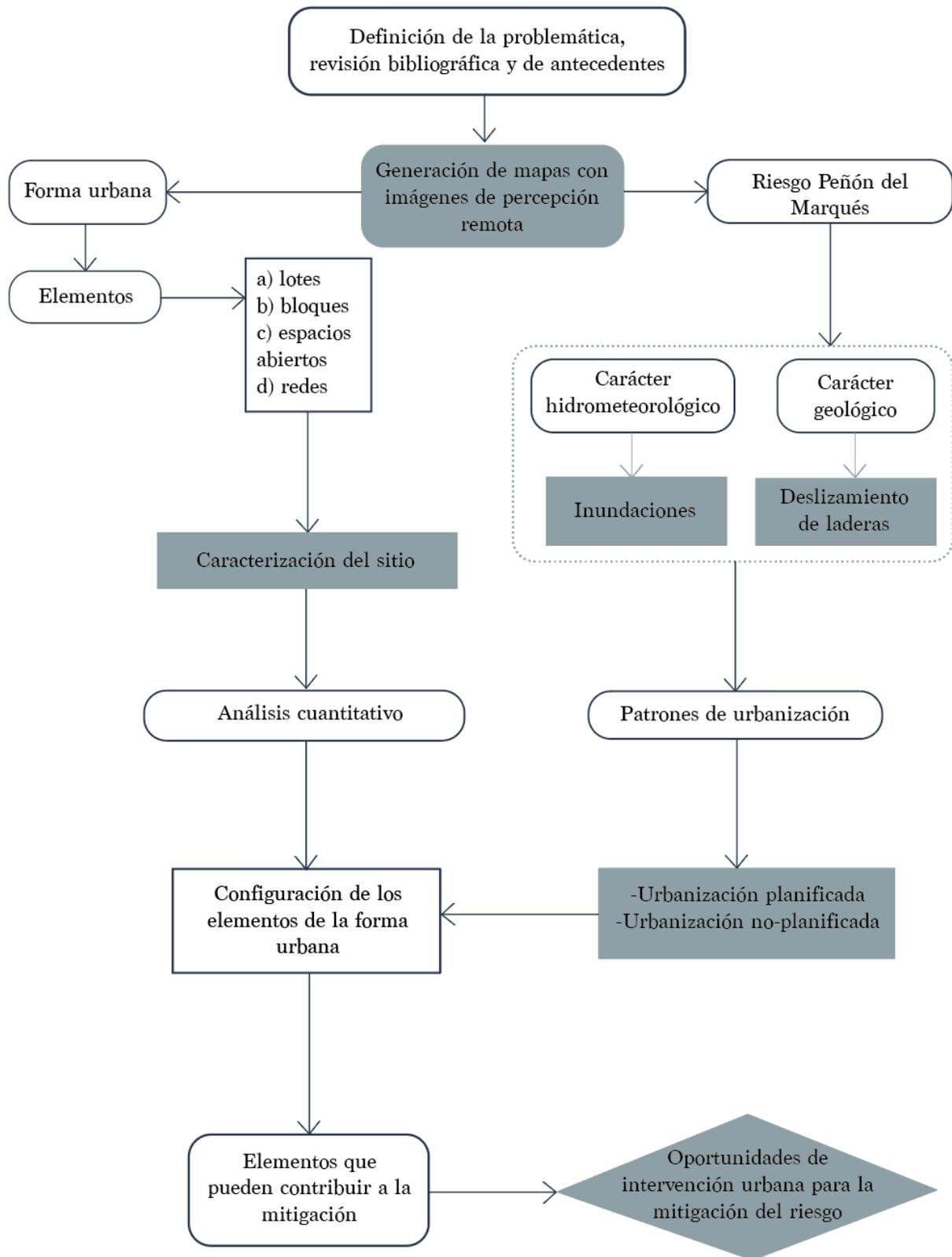


Figura 13. Diagrama general de metodología de investigación. Elaboración propia.

Como se mencionó, esta investigación, tiene como objetivo general identificar las posibles oportunidades de intervención a través de los elementos y la configuración de la forma urbana en el Peñón del Marqués, Iztapalapa para la mitigación del riesgo por inundaciones y deslizamiento de laderas. Para ello, se propusieron cuatro objetivos específicos que se desarrollaron de forma secuencial, es decir, que los objetivos 1 y 2 consolidaron el objetivo 3 y éste, a su vez, el objetivo 4 (Figura 14).

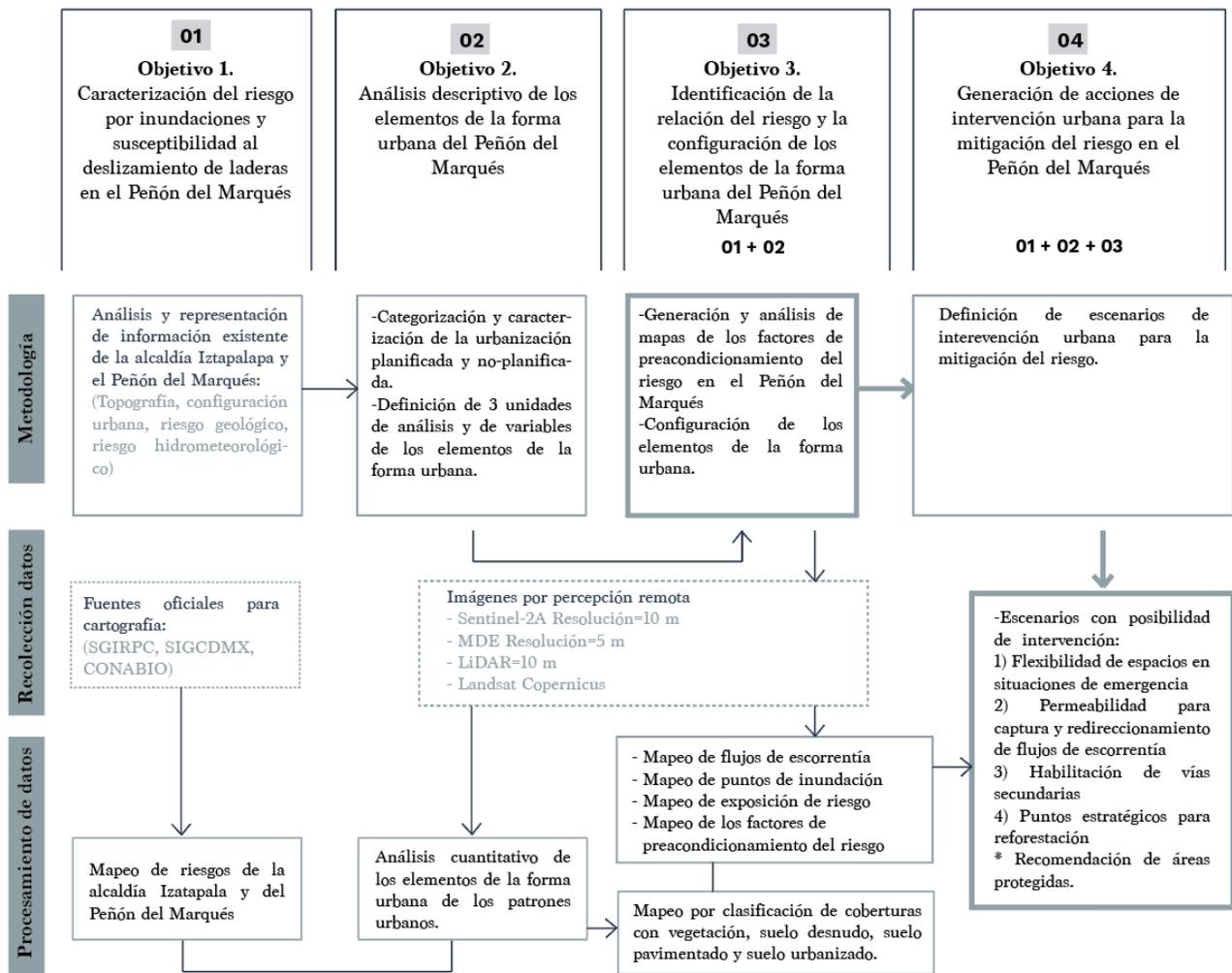


Figura 14. Diagrama de metodología de investigación por objetivos específicos. Elaboración propia.

3.1 Caracterización del riesgo

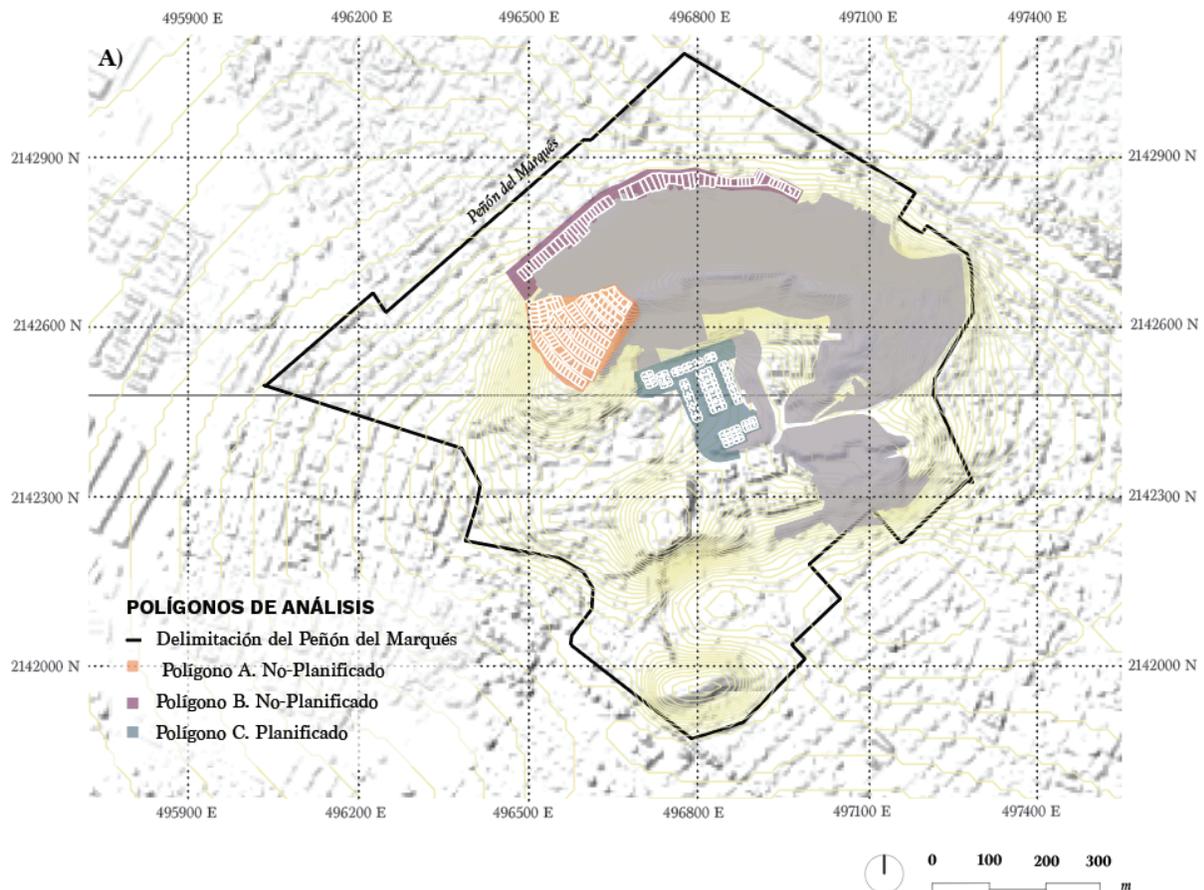
La primera evaluación del riesgo se realizó únicamente a través de la recolección de datos e información secundaria obtenida por fuentes oficiales de información. Esto, con la finalidad de visualizar los espacios vacíos actuales en el abordaje del riesgo por deslizamiento de laderas e inundaciones. Para ello, se realizaron mapas tanto a nivel alcaldía como a nivel local para visualizar el contexto general del Peñón del Marqués. El software que se utilizó fue QGIS 3.16.16 utilizando los *shapefiles* que, por definición, son formatos de almacenamiento de datos vectoriales en donde se representa la ubicación, la forma y los atributos por entidades geográficas. Los *shapefiles* que comprenden esta sección se obtuvieron por medio de la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad), SGIRPC (Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil) junto con la Dirección General de Resiliencia y el SIGCMDX (Sistema Abierto de Información Geográfica de la CDMX) (Tabla 5). Los datos de inestabilidad de laderas, puntos de encharcamiento y e inundaciones, fueron proporcionados por la Dirección General de Resiliencia. También se realizó una revisión del Atlas de Riesgos de la Ciudad de México (2011) sobre las características del suelo para complementar los resultados por cartografía.

Tipo	Capa	Producto	Fuente
Datos generales	Traza urbana	shape (.shp)	SIGCMDX, 2021
	Curvas de nivel	shape (.shp)	SIGCMDX, 2021
	Drenaje	shape (.shp)	SIGCMDX, 2021
Características geológicas	Susceptibilidad de laderas	shape (.shp)	CONABIO, 2021
	Fallas	shape (.shp)	SIGCMDX, 2021
	Fracturas	shape (.shp)	SGIRPC, 2021
	Deslizamiento del suelo	shape (.shp)	CONABIO, 2021
	Inestabilidad de laderas	shape (.shp)	SIGCMDX, 2021
	Inestabilidad de laderas (talud)	Imagen (.jpg)	SGIRPC, 2021
Riesgo por inundaciones	Inundaciones	shape (.shp)	SGIRPC, 2021
	Encharcamientos	Imagen (.jpg)	SGIRPC, 2021
	Inundaciones	Imagen (.jpg)	SGIRPC, 2021

Tabla 6. Recolección de datos de fuentes oficiales para la evaluación de riesgo. Elaboración propia.

3.2 Caracterización de los elementos de la forma urbana

La categorización y la caracterización de la urbanización planificada y no-planificada del Peñón del Marqués tuvo la finalidad de identificar las diferencias entre un patrón y otro al considerar que ambos están ubicados en el mismo sitio. Para poder delimitarlos y representarlos cartográficamente, se utilizaron los *shapefiles* de la traza urbana obtenidos del SIGCDMX (Sistema Abierto de Información Geográfica de la CDMX) y se respaldaron con imágenes Landsat Copernicus 2021. Posteriormente, con la finalidad de analizar las características de cada patrón, se hizo la selección de tres polígonos de análisis en donde dos de ellos corresponden a un patrón no-planificado (polígonos A y B) y el restante al planificado (polígono C). Esto debido a que los dos primeros patrones cuentan con diferentes características físicas y mayor exposición al riesgo de acuerdo con las características geológicas del sitio en comparación del patrón planificado.



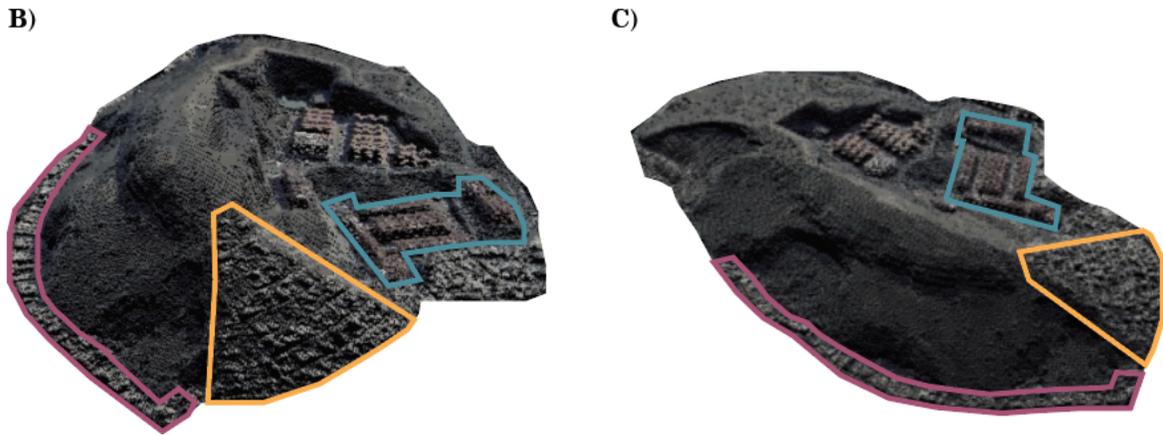


Figura 15. Polígonos de análisis del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. A) mapa de polígonos de análisis (Escala 1:7000). B) y C) Imágenes de polígonos de análisis a través de nube de puntos LiDAR. Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de datos de INEGI, 2021; SIGCDMX, 2021 y vuelo de aeronave INEGI con fecha del 25 de marzo del 2014.

La Figura 15 visualiza las diferencias físicas entre los tres polígonos de análisis en cuanto a su ubicación, morfología y configuración urbana. El polígono A se encuentra asentado sobre la ladera como se muestra en las Figuras 15B y 15C. En cuanto a su configuración urbana, es posible identificar que el crecimiento urbano de este polígono sigue la topografía natural y disponible del sitio. El polígono B que al igual que el polígono A corresponde a un patrón no-planificado, también sigue la topografía natural del sitio. Sin embargo, su ubicación en la falda de la ladera, lo condiciona a tener una morfología alargada, así como una topografía con mayor regularidad que la del polígono A. En contraste, el polígono C, se encuentra asentado en una superficie plana que responde a la presencia de planificación.

3.2.1 Definición de variables para la cuantificación de los elementos de la forma urbana

El desafío en la cuantificación de los elementos de la forma urbana de los polígonos de análisis se centra en la carencia y granularidad de los datos. Esto, en gran medida se debe a que las zonas con un patrón urbano no-planificado, generalmente se han consolidado sin el registro de las instituciones gubernamentales encargadas de la planificación territorial. También, al ser viviendas en condiciones precarias y de hacinamiento, dificulta su definición y delimitación. La resolución de las imágenes

satelitales permite identificar con precisión la delimitación de los bloques y las redes en cuanto a las vías de conexión y nodos. Sin embargo, el análisis y la cuantificación de los espacios abiertos con relación a una superficie construida para la configuración de los lotes y los bloques no es posible clasificar visualmente.

Dado que dentro de esta sección se busca analizar los elementos de la forma urbana de la urbanización planificada y la no-planificada del Peñón del Marqués, se establecieron algunas de las variables seleccionadas del marco de investigación de Sharifi (2021). La Tabla 6, indica las variables de los lotes, bloques, espacios abiertos y redes que se utilizaron para hacer un análisis cuantitativo de los polígonos A, B y C que integra esta investigación para determinar la diferencia entre ellos.

Elemento	Variable	Descripción	Unidad	Fuente
Lote	x1	Tamaño	m2	INEGI, 2016; Landsat Copernicus, 2021
	x2	Pendiente máxima	%	MDE INEGI, 2012
	x3	Pendiente mínima	%	MDE INEGI, 2012
Bloque	x4	Tamaño	m2	INEGI, 2016
	x5	No. total de viviendas	vivienda	INEGI, 2016
	x6	No. de viviendas habitadas	vivienda	INEGI, 2016
	x7	No. de viviendas no habitadas	vivienda	INEGI, 2016
	x8	Población	px	INEGI, 2016
Espacios abiertos	x9	Densidad	%	INEGI, 2016
	x10	Superficie	no. píxel	Sentinel-2A, 2021
	x11	Superficie de vegetación alta y densa	no. píxel	Sentinel-2A, 2021
	x12	Superficie de vegetación media	no. píxel	Sentinel-2A, 2021
	x13	Superficie de vegetación baja	no. píxel	Sentinel-2A, 2021
Redes	x14	Superficie de suelo desnudo	no. píxel	Sentinel-2A, 2021
	x15	No. de vías	no. vías	Landsat Copernicus, 2021
	x16	No de nodos	no. nodos	Landsat Copernicus, 2021

Tabla 7. Variables para la cuantificación los elementos de la forma urbana del Peñón del Marqués. Elaboración propia a partir del marco de investigación de Sharifi, 2021.

3.2.2 Datos de lotes y bloques

La urbanización del Peñón del Marqués, independientemente de su patrón planificado y no-planificado, se ha llevado a cabo de forma desarticulada. A pesar de que los polígonos A y B corresponden a un patrón no-planificado, hasta el momento no hay registro de datos en versión *shapefile* del polígono C que permita obtener el tamaño de

los lotes y bloques para su cuantificación. Por ello la recolección de los datos de estos dos elementos, se realizó a través de imágenes de Landsat Copernicus las cuales se procesaron con el software QGIS 3.16.16. Los datos de los polígonos A y B sí están disponibles en esta versión, mismos que se utilizaron dentro de esta investigación.

La pendiente de la superficie en la cual se encuentran asentados los lotes se obtuvo a través del MDE (Modelo Digital de Elevación) de la clave carta E14A39C4 del INEGI (2012) que corresponde al área de interés, con una resolución de 5 m. Los píxeles de esta resolución tienen dimensiones de 5 x 5 m, lo cual, dentro del sitio, representa que cada lote puede tener más de un píxel. Para poder cuantificar la fluctuación de a pendiente, se tomaron los valores mínimos y máximos tomando como criterio, ya sea en el valor máximo o mínimo, la cobertura del píxel mayor al 60% de la cobertura total del elemento de interés.

3.2.3 Datos de coberturas del suelo en bloques y espacios abiertos

La percepción remota que también se conoce como teledetección, es un conjunto de herramientas y técnicas con las cuales puede obtenerse información de un sitio sin estar físicamente en él. La generación de datos se obtiene a través de sensores que miden la resolución espectral y radiométrica que permiten discriminar las variaciones de una superficie en la radiación que capta y refleja. Sentinel es un proyecto multisatélite que se desarrolló por la Agencia Espacial Europea en la plataforma Copernicus. Este proyecto, compone 5 satélites diferentes que miden la tierra y los océanos, la superficie terrestre, los cuerpos marinos y la calidad del aire. Sentinel-2A comprende una constelación de dos satélites capaces de monitorear la superficie terrestre para generar imágenes de alta resolución de 10, 20 y 30 m.

Dentro de esta investigación el análisis de coberturas del suelo es de gran importancia, ya que además de poder cuantificar los espacios abiertos, la clasificación de espacios urbanizados por pavimento y vivienda permite visualizar la impermeabilidad física urbana y la presión que las viviendas ejercen en el suelo. Para poder realizar una

clasificación de las coberturas urbanizadas y con espacios abiertos, se realizó una clasificación supervisada con el software libre QGIS 3.16.16 junto con el plugin Semi-Automatic Classification (SCP). Las bandas espectrales Sentinel que comprenden este análisis son la 4, 3 y 2 (T14QMG_20210725T1 6901) con tipo de producto S2MSI2A con fecha del 25 de julio del 2021 y con resolución de 10 m, es decir, píxeles de 10x10 m. El rango de fechas se estableció por la disponibilidad en bandas sin obstrucción de nubes. Las bandas corresponden a lista de combinación de color natural por RGB (Red: 4, Green: 3 y Blue: 2).

El primer paso para esta clasificación fue aplicar una corrección atmosférica a cada una de las tres bandas a través de su pre-procesamiento. Este tipo de corrección permite hacer una ponderación de píxeles para determinar los valores más cercanos a la realidad y liberar las obstrucciones relacionadas con nubes, bloques de contaminantes o la reflectancia de elementos de agua. La clasificación supervisada a través de estas bandas categorizó cada píxel de la imagen por medio de áreas de entrenamiento que determinaron el tipo de suelo del Peñón del Marqués. Para ello, se utilizó el software libre QGIS 3.16.16 junto con el plugin *Semi-Automatic Classification* (SCP) en donde a través de *Band Processing*, se cargaron las bandas Sentinel-2A. Este tipo de clasificación requiere que se integren regiones de interés (ROI) también llamadas áreas de entrenamiento, que se delimitan manualmente como polígonos sobre la superficie.

El análisis de las coberturas del Peñón del Marqués se realizó a través de 6 macro clases que se propusieron para responder a las variables seleccionadas y corresponden a 1) suelo urbanizado con vivienda, 2) suelo urbanizado con pavimentado, 3) suelo desnudo, 4) vegetación alta y densa, 5) vegetación media y 6) vegetación baja y escasa (Tabla 8). A través de ellas se seleccionaron manualmente 6 polígonos de entrenamiento que corresponden a la clasificación de las subclases. La cobertura que se consideró como área total de entrenamiento fue una superficie de 3x3 km tomando como centro el Peñón del Marqués.

MC	MC Info	C ID	C Info	Color [overlap MC_ID-C_ID]
1	Suelo urb. c/viv	1;2;3;4;5;6	Suelo urb. c/viv 1;2;3;4;5;6	
2	Suelo urb. c/pav	1;2;3;4;5;6	Suelo urb. c/pav 1;2;3;4;5;6	
3	Vegetación alta y densa	1;2;3;4;5;6	Vegetación alta y densa 1;2;3;4;5;6	
4	Vegetación media	1;2;3;4;5;6	Vegetación media 1;2;3;4;5;6	
5	Vegetación baja y escasa	1;2;3;4;5;6	Vegetación baja y escasa 1;2;3;4;5;6	
6	Suelo desnudo	1;2;3;4;5;6	Suelo desnudo 1;2;3;4;5;6	

Tabla 8. Tabla de datos para clasificación supervisada con bandas espectrales Sentinel-2A. Elaboración propia.

3.2.4 Procesamiento de polígonos de entrenamiento

El criterio para la selección de polígonos de entrenamiento se basó en las coberturas de los polígonos de análisis que integra esta investigación, así como la gama de colores por píxel del resto de los polígonos para lograr una máxima precisión en los resultados. Al tener seleccionadas las zonas de entrenamiento, se obtuvo un mapa con los píxeles de las 6 macro clases. Esta metodología se implementó para categorizar las coberturas del urbanizadas, es decir, los lotes y los bloques y las coberturas no urbanizadas de los espacios abiertos.

Las Figuras 16 y 17 indican a la delimitación de las zonas entrenamiento de las macro clasificaciones de suelo urbanizado con vivienda y con pavimento (MC1 y MC2). La selección de los seis polígonos de entrenamiento de cada MC se indica del lado derecho de cada figura (1.1-1.6). Esta siguió el criterio de las superficies con mayor claridad por píxel que se ubican en las zonas urbanas planificadas. Las Figuras 18, 19, 20 y 21 indican la delimitación de las macro clasificaciones de suelo no urbanizado que corresponden a la vegetación alta, media y baja y al suelo desnudo (MC3, MC4, MC5 y MC6). Al igual que las MC1 y MC2, la selección de los seis polígonos de entrenamiento de cada MC se indica del lado derecho de cada figura (1.1-1.6).

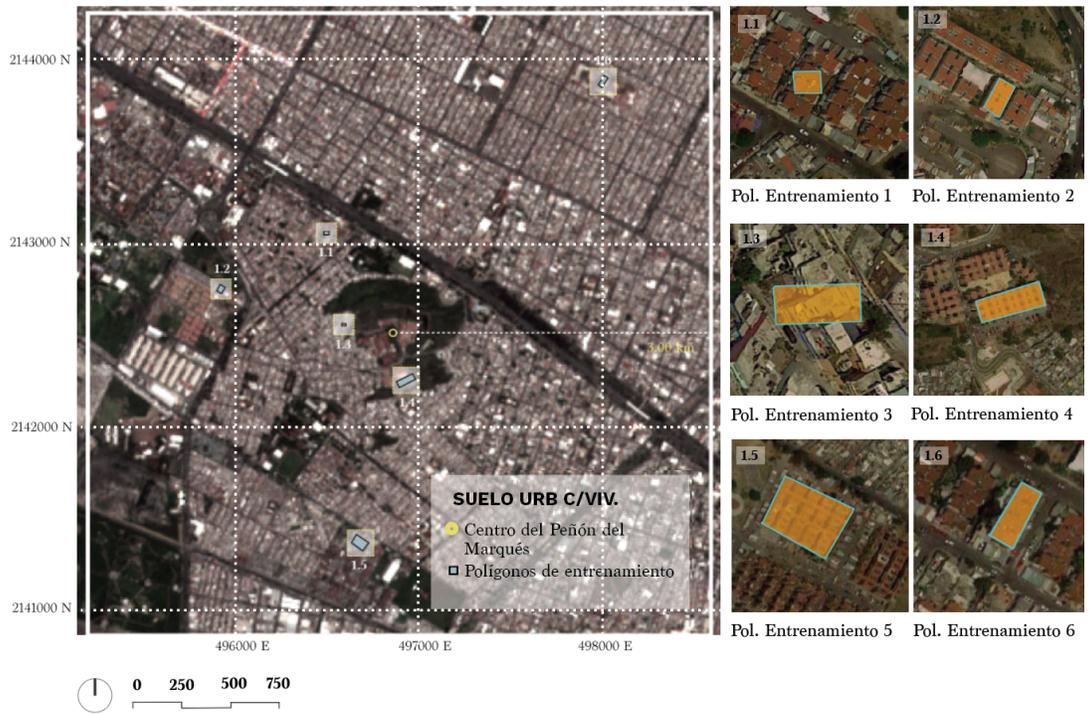


Figura 16. Mapa de polígonos de entrenamiento del suelo urbanizado con vivienda del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. (Escala 1:2000) Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

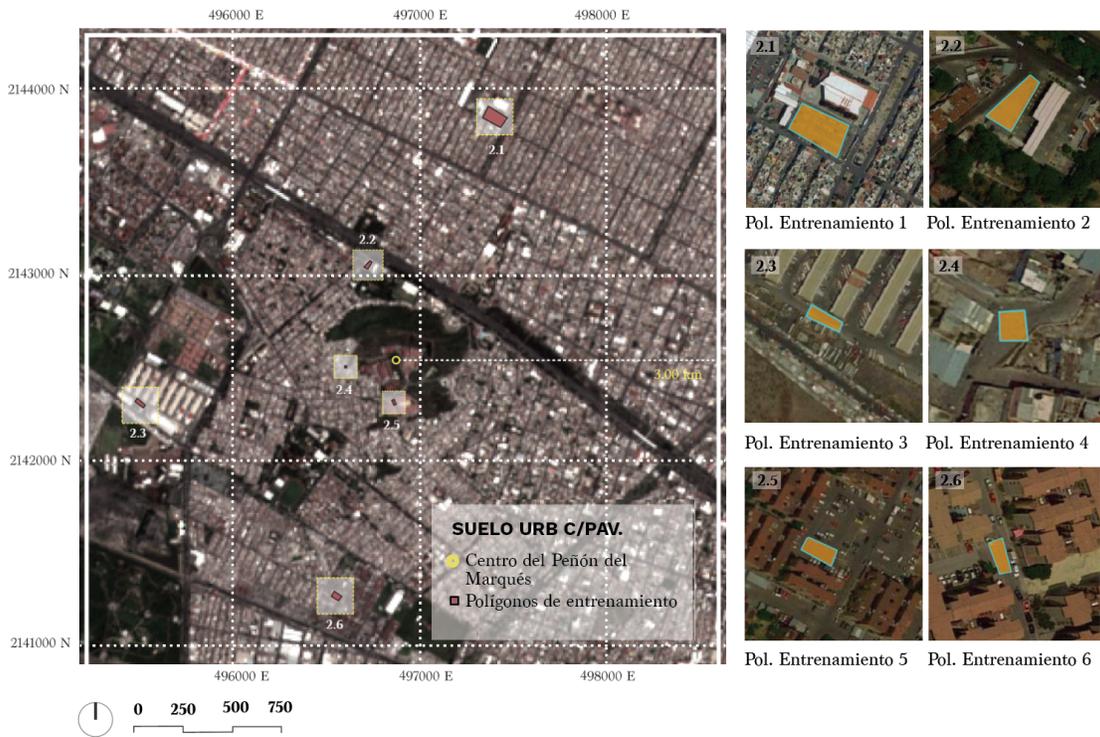


Figura 17. Mapa de polígonos de entrenamiento del suelo urbanizado con pavimento del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

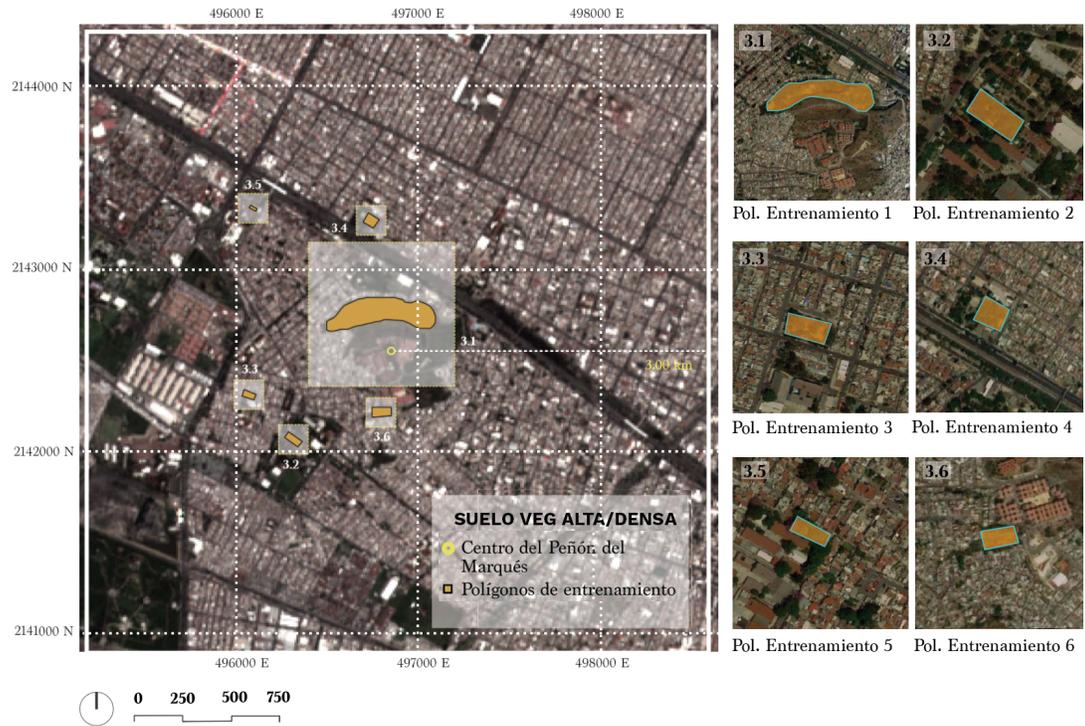


Figura 18. Mapa de polígonos de entrenamiento del suelo con vegetación alta y densa del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. (Escala 1:2000). Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

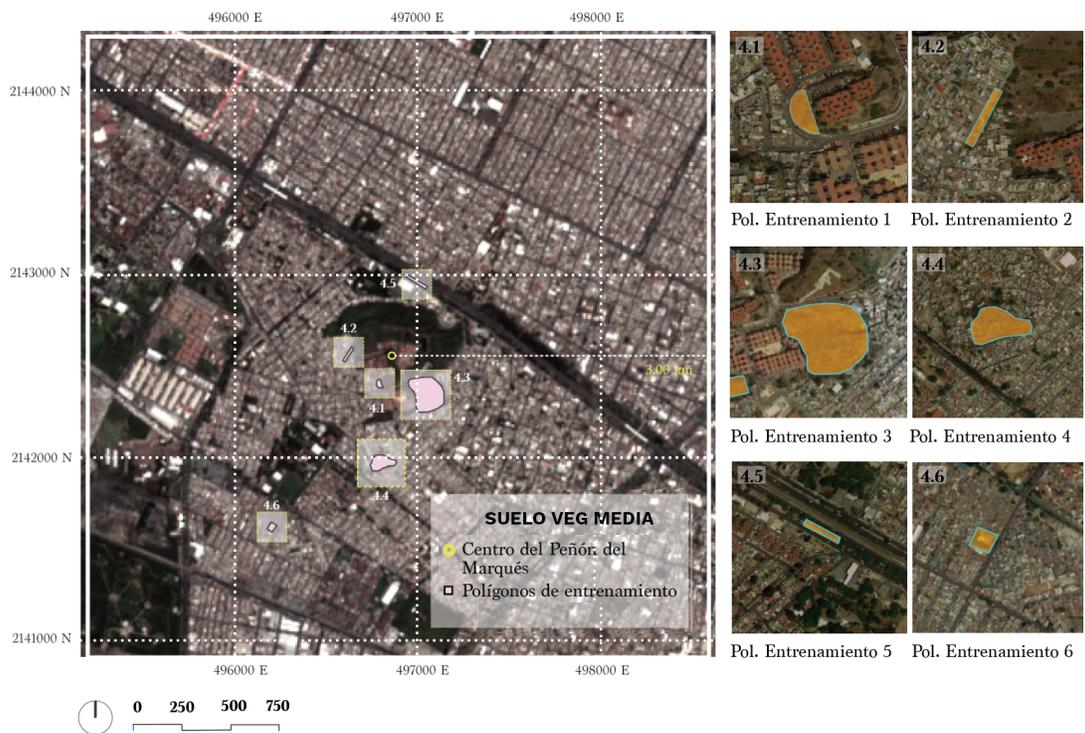


Figura 19. Mapa de polígonos de entrenamiento del suelo con de vegetación media del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. (Escala 1:2000) Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

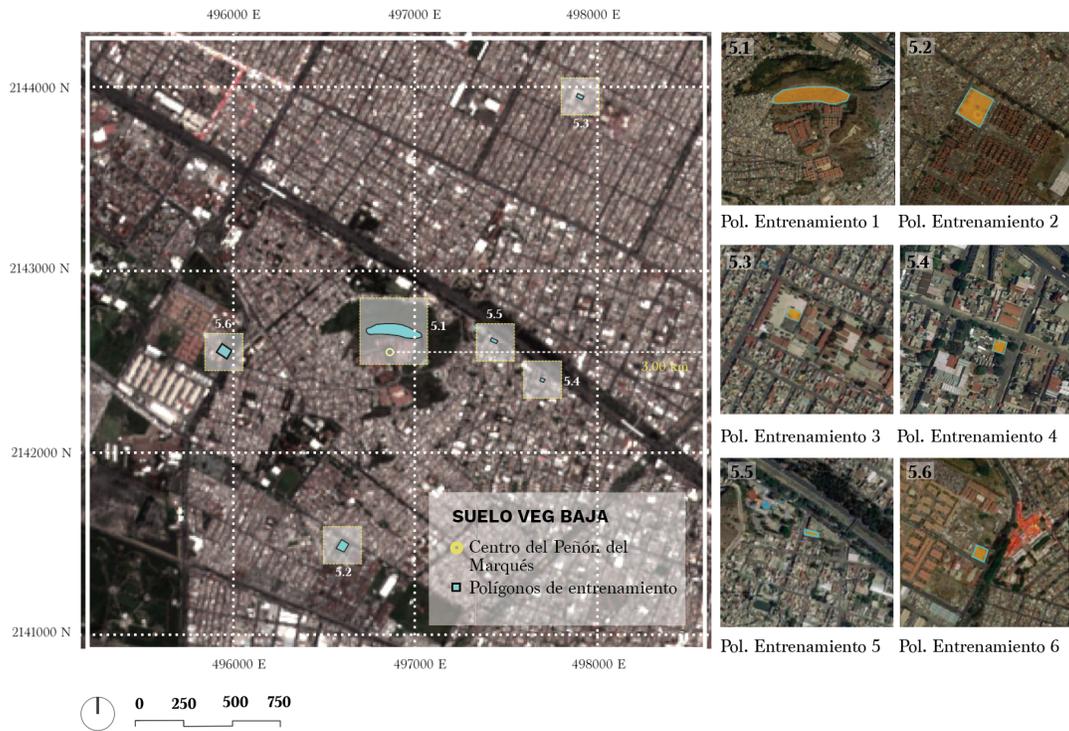


Figura 20. Mapa de polígonos de entrenamiento del suelo con vegetación baja del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. (Escala 1:2000) Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

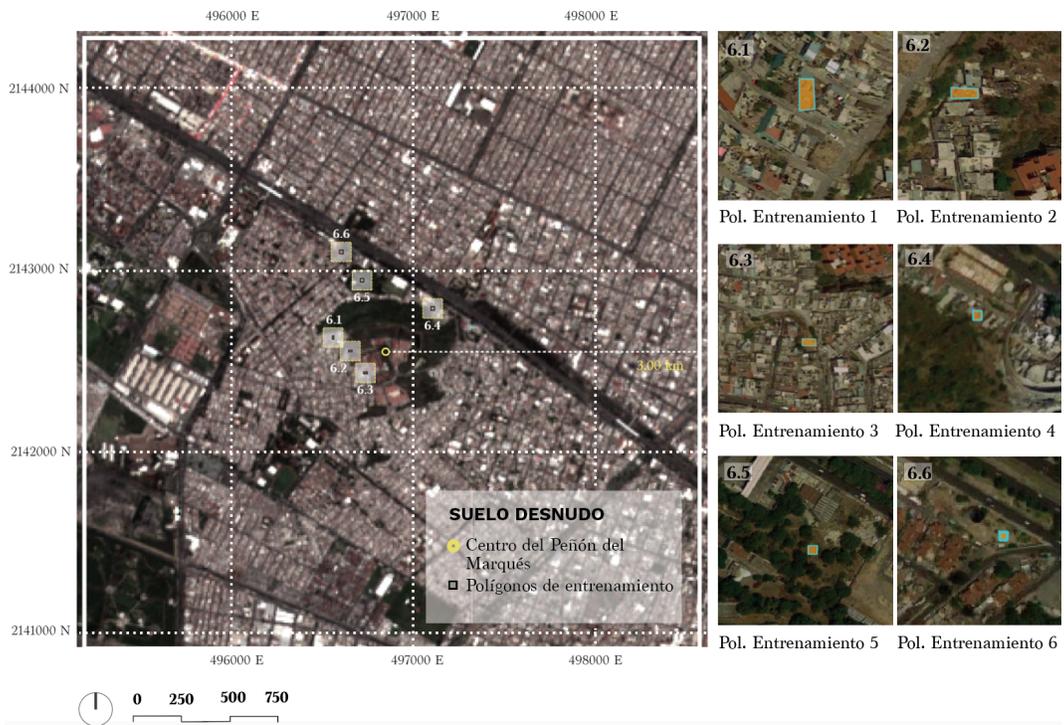


Figura 21. Mapa de polígonos de entrenamiento del suelo desnudo del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. (Escala 1:2000) Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

La Figura 22 corresponde al mapa resultante de la clasificación SCP de las seis macro clases cuya representación está dividida por seis diferentes capas por píxel. Se muestra que el Peñón del Marqués, a pesar de ser una zona urbanizada, cuenta con píxeles continuos de vegetación alta, media y baja lo cual, hace visible la conservación del sistema natural en el lado oriente del cerro que no ha sido intervenida por las actividades humanas. Se destaca de gran importancia debido a las características biofísicas, escénicas y de calidad ambiental que pueden proveer dentro de un contexto urbano. La Figura 23 corresponde al mapa de clasificación de suelo urbanizado por vivienda y por pavimento en el cual es visible que el patrón urbano planificado, tiene una delimitación clara de los dos tipos de cobertura. Por el contrario, el patrón urbano no planificado no cuenta con píxeles continuos de cobertura por su carencia de planificación. La Figura 24 que corresponde al mapa de clasificación de espacios abiertos (vegetación y suelo desnudo), confirma que las zonas urbanas han reducido considerablemente las áreas naturales al no existir una ausencia de integración espacial.

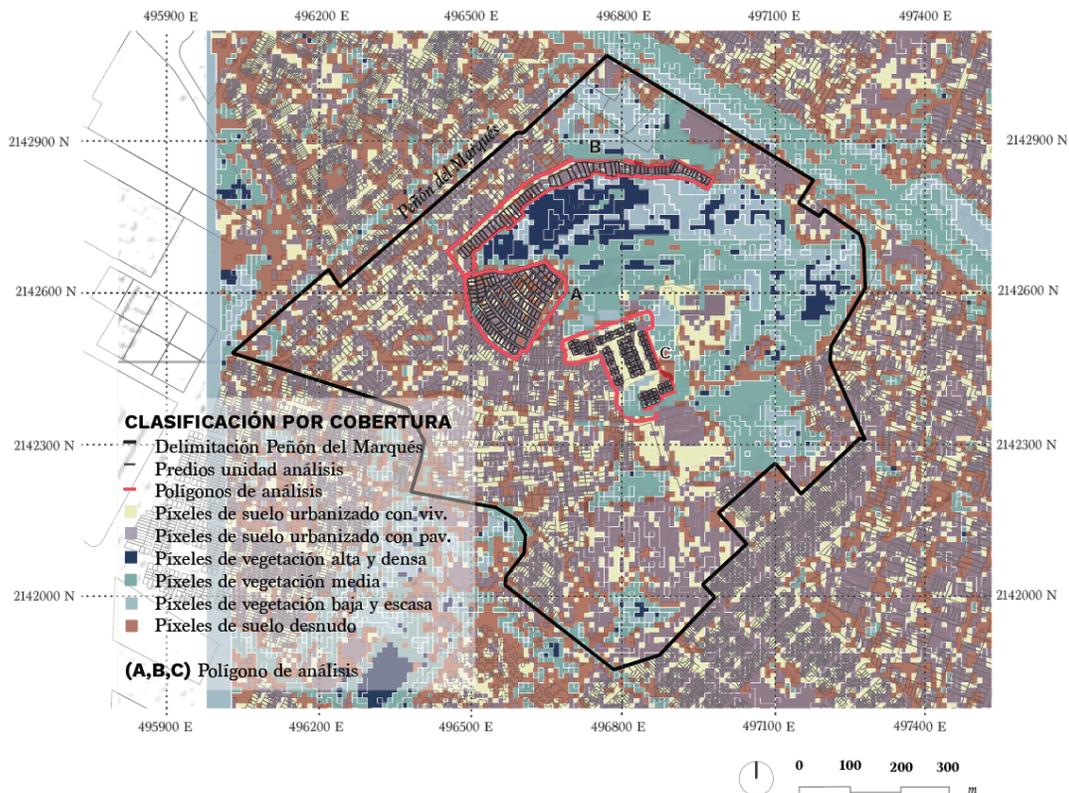


Figura 22. Mapa de clasificación por cobertura del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. (Escala 1:7000) Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

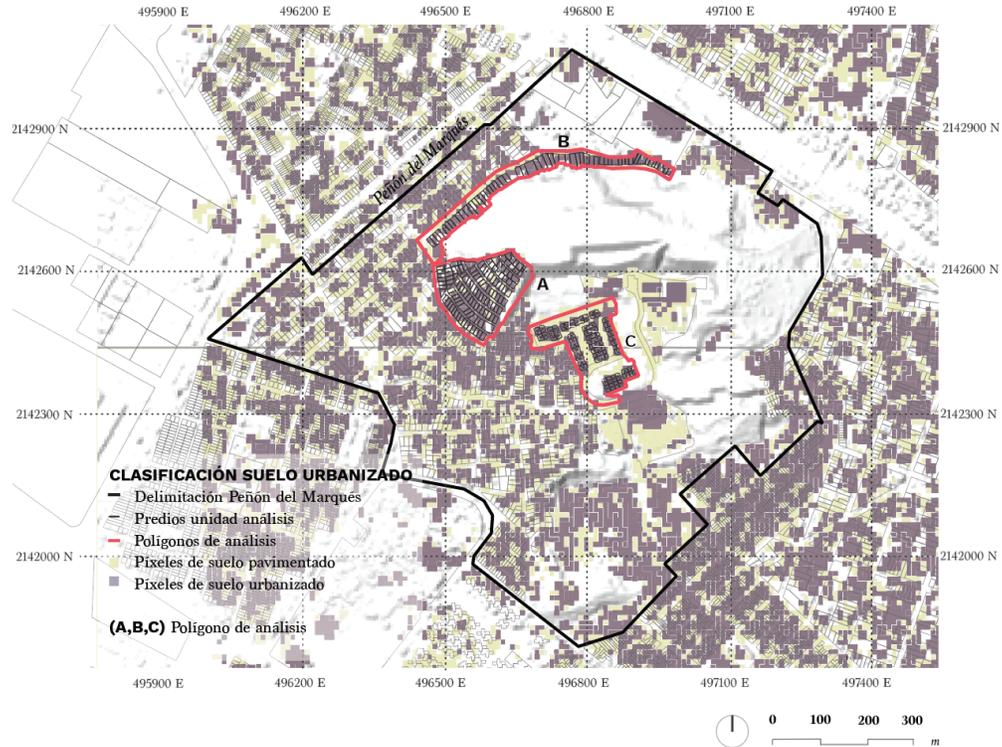


Figura 23. Mapa de clasificación de suelo urbanizado con vivienda y pavimento del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. (Escala 1:7000) Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

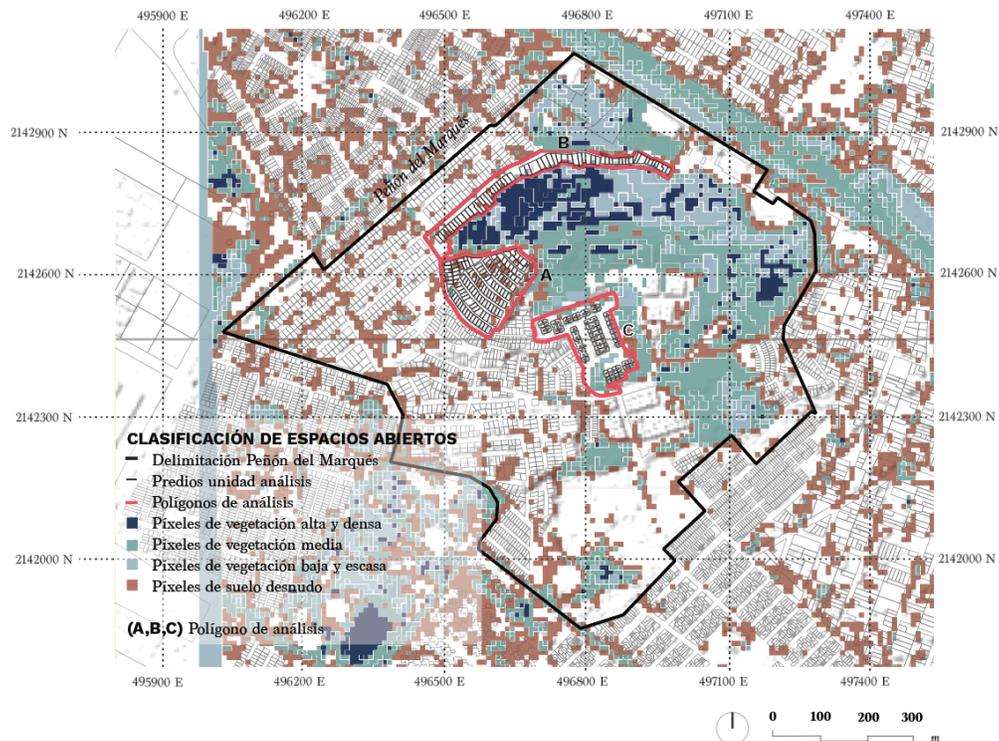


Figura 24. Mapa de clasificación de suelo urbanizado con vivienda y pavimento del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. (Escala 1:7000) Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

3.2.5 Análisis de la clasificación SCP por NDVI

La clasificación por SCP fue analizado y operacionalizado a través del Índice de Vegetación Normalizada (NDVI-Normalized Difference Vegetation Index). Esta comparación se propuso con la finalidad de analizar dos diferentes formas de clasificación y definir si los resultados son lo suficientemente cercanos a la realidad. El NDVI permite estimar los valores útiles de la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. Los datos utilizados en su desarrollo corresponden a las mismas bandas espectrales de Sentinel-2A, por lo cual, los resultados permitieron determinar la efectividad en la clasificación por SCP sobre todo en los espacios abiertos. Para el desarrollo del NDVI se utilizó el software libre QGIS 3.16 junto con las bandas 4 y 8 de Sentinel-2A, mismas que se implementaron en la clasificación SCP con una resolución de 10 m con fecha del 1 al 31 de julio del 2021. Con ellas, se comparó a través de una ecuación, la cantidad de luz roja visible absorbida (R) que corresponde a la banda 4 y la luz infrarroja cercana reflejada (NIR) que corresponde a la banda 8 a través de la siguiente fórmula matemática:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

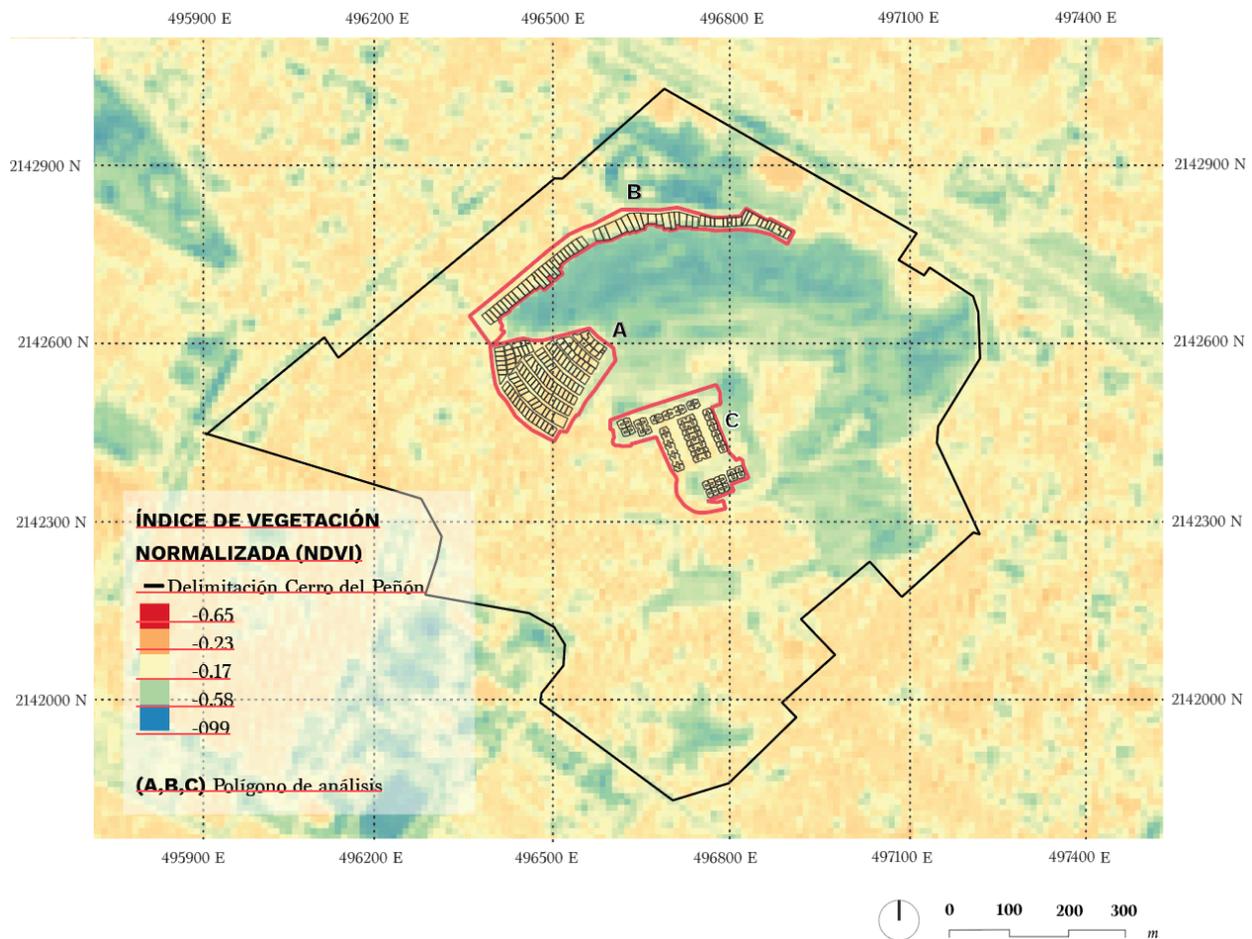


Figura 25. Mapa Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. (Escala 1:7000). Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Los valores positivos representan vegetación sana y los negativos las zonas urbanizadas o suelo desnudo. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

La Figura 25 corresponde al mapa de NDVI representa la distinción entre las coberturas con vegetación, que se indican en amarillo, verde y azul en la rampa de colores y las coberturas urbanizadas que se indican en naranja y rojo. A pesar de que el NDVI y el SCP difieren en valores, se identifica una similitud de sus resultados a través de las coberturas de los mapas. La efectividad de esta comparación, se realizó con la selección de dos muestras del polígono de análisis A y dos muestras del polígono de análisis C, las cuales se conforman por polígonos de 12 píxeles, es decir, un total de 48 píxeles (Figura 26). El criterio de selección de estas muestras fue la variabilidad en la concentración del suelo urbanizado y de espacios abiertos por polígono.

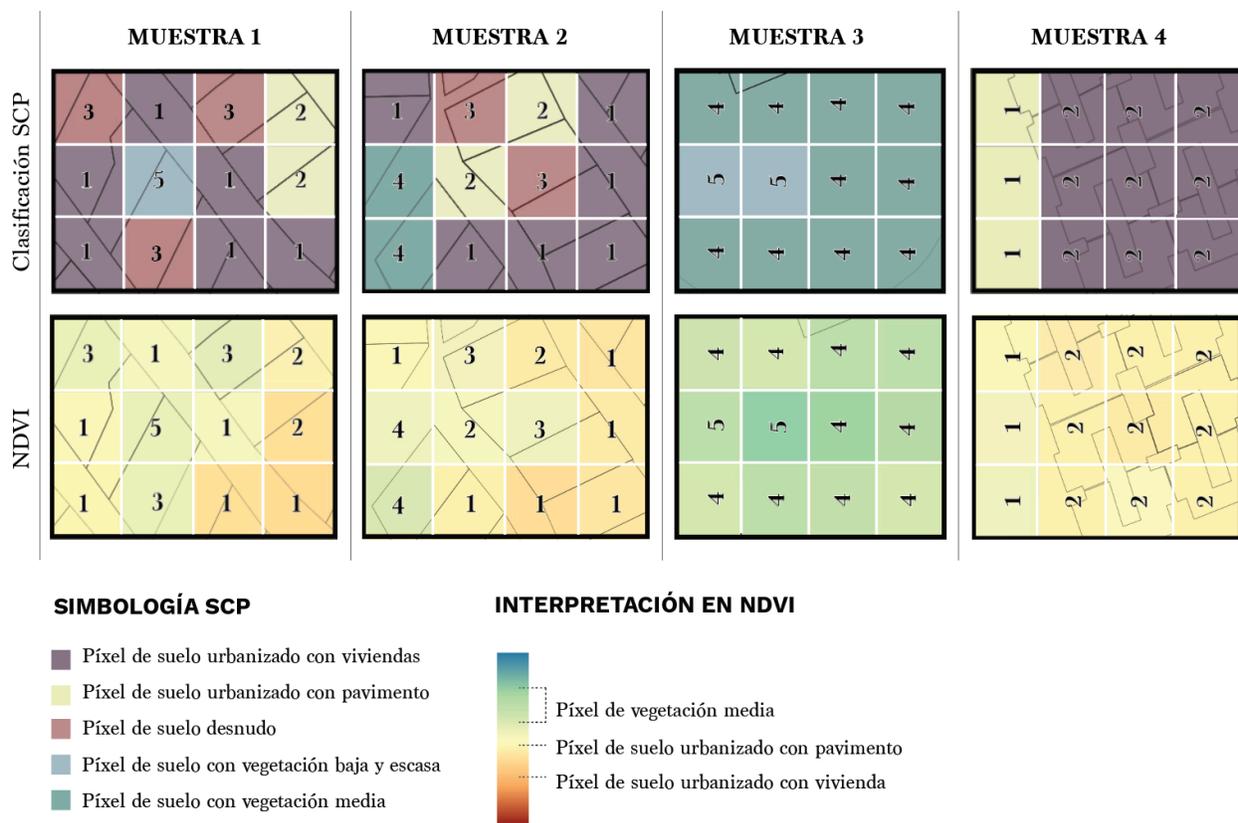


Figura 26. Muestras para la comprobación de clasificación de SCP por NDVI por píxeles de los polígonos A y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

El resultado de la comparación de coberturas de la clasificación por SCP y NDVI que se muestra en la Figura 26 indica una variación de acuerdo con la representación de sus colores que, en gran medida, se debe a interpretación por su rampa. El NDVI como se mencionó anteriormente, se centra en el análisis de la presencia y la ausencia de vegetación por lo cual, no es posible hacer una segunda categorización de lo que correspondería a una cobertura pavimentada o con vivienda. También es posible identificar que la variación en la comparación de muestras influye en la forma de representación por colores en el caso de la clasificación por SCP y por rampa de colores en el NDVI. Dado que esta investigación integra las variables de los espacios abiertos por las superficies de las coberturas de suelo, la clasificación por SCP se considera adecuada para el caso de estudio del Peñón del Marqués.

3.3 Análisis de los factores precondicionamiento del riesgo

Como se mencionó en el Capítulo 1, hay estudios dentro de los cuales se ha analizado la influencia de las características geológicas y geomorfológicas de un sitio para el riesgo de inundaciones y deslizamiento de laderas (Gaidzik et al., 2019; Ramírez-Herrera & Gaidzik, 2017). Sin embargo, la investigación del impacto de la configuración urbana sobre la severidad de estos dos peligros aún se considera reducida. Para comprender su vínculo, esta investigación integra las características geológicas del sitio, así como los factores que Gaidzik *et al.* (2019) y Ramírez-Herrera y Gaidzik (2017), refieren como precondicionamiento del riesgo. Estos factores se consideran de gran relevancia dentro de esta investigación debido a que aún no han sido abordados en el Peñón del Marqués.

Dado que los patrones urbanos tienen una fuerte influencia en las inundaciones (Bruwier *et al.*, 2018) de acuerdo con el ancho, la orientación y la configuración de las calles, se analizó el comportamiento del agua en las inundaciones en el Peñón del Marqués. Para representarlo se realizó un modelo de flujo de escorrentía con el MDE (Modelo Digital de Elevación) de la carta con clave E14A39C4 del INEGI (2012) que corresponde al sitio de interés con una resolución de 5 m, es decir, píxeles de 5 x 5 m. A través del software libre QGIS 3.16.16 junto con la herramienta *Fill Sink* de SAGAGIS se realizó el modelo de acumulación de flujo.

Para identificar el sentido de flujo de escorrentía y con ello las zonas de inundación, se utilizó el algoritmo *Regular Points*. Éste, creó una capa adicional al modelo con puntos de espaciamiento de centro a centro de cada píxel. Al tener estos puntos se utilizó el plug-in *Point Sampling Tool* para combinar los datos de la capa del modelo de flujo de escorrentía y, de esta forma, representar el sentido a través de una flecha. Para esto, se construyó una expresión matemática del Algoritmo de Programación de Phytón del ángulo de la pendiente del sitio, con valores del 0 al 7 en donde cada uno, incremente 45°, es decir, la equivalencia de su rotación (Figura 27).

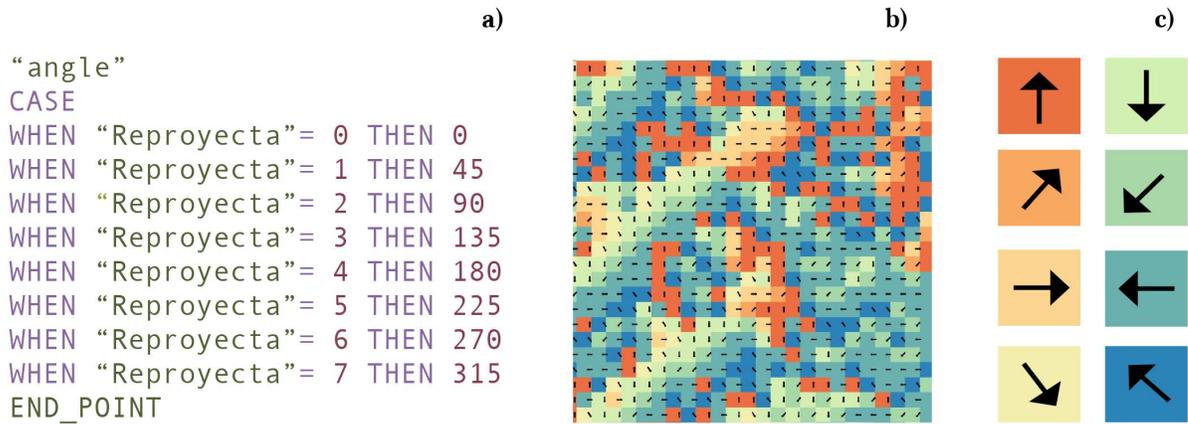


Figura 27. Representación de la dirección del flujo de escorrentía. La figura a) muestra la construcción de la expresión para el flujo, la figura b) muestra el resultado obtenido, y la figura c) muestra el detalle de la dirección por colores. Elaboración propia a partir del DEM de la carta con clave E14A39C4, INEGI, 2012.

3.3.1 Análisis de la configuración de la forma urbana y el riesgo

Los lotes, bloques, espacios abiertos y redes que comprenden la forma urbana, son un conjunto de elementos anidados que dan como resultado variaciones en su configuración (Xu *et al.*, 2019). Diversos autores, han abordado modelos del sistema urbano a partir de sus elementos (Koren & Rus, 2019;) que pueden representarse gráficamente por vértices (lotes, bloques y espacios abiertos) y bordes (redes). Si bien, la cuantificación de los elementos, la medición de sus características individuales se considera bastante clara, medir sus cualidades al interactuar dentro de un espacio, requiere de una conversión de sus propiedades meramente descriptivas en atributos de configuración. Así, dentro de esta sección, se argumenta la necesidad de generar esquemas que permitan comprender gráficamente la configuración de los elementos de la forma urbana más que de una forma aislada, como un conjunto de elementos y variables interrelacionados en estructuras complejas con relevancia espacial.

Para desarrollar esquemas de la configuración de la forma urbana de los polígonos de interés se utilizaron los cuatro atributos que Ángel *et al.* (2010), Koren & Rus (2019) y Xu *et al.* (2019) han considerado de gran relevancia en la lectura de los contextos urbanos. Estos atributos, corresponden a la densidad, tamaño, distribución y compacidad que se muestran en la Tabla 9, se seleccionaron dentro de esta

investigación debido a su potencial para analizarse como guía del funcionamiento de los polígonos seleccionados. Esta tabla indica atributos y sus descripciones, así como el vínculo que tienen con los elementos de la forma urbana que integra esta investigación. La fragmentación de polígono como vínculo con los elementos de la forma urbana, hace referencia al porcentaje de espacios abiertos, y bloques del total de la superficie del polígono.

Variables de la configuración	Explicación	Referencia
Densidad	Medida que establece la densidad urbana y demográfica que representa la actividad humana respecto a los elementos.	Xu et al. 2019; Sharifi, 2019
Tamaño	Medida que define la cantidad de elementos y personas que puede modular y/o albergar los elementos.	Sharifi, 2019; Walker & Salt, 2006
Distribución	Medida que define la conectividad espacial de los elementos y las personas.	Xu et al. 2019; Sharifi, 2019, Mehaffi et al., 2010.
Compacidad	Medida de proximidad entre la accesibilidad de las personas a los elementos.	Xu et al. 2019; Angel et al., 2010.

Tabla 9. Variables de la configuración y los elementos de la forma urbana. Elaboración propia a partir de Ángel et al., 2010; Koren & Rus, 2019; Mehaffi et al., 2010; Sharifi, 2019; Walker & Salt, 2006 & Xu et al., 2019.

3.4 Integración del potencial de la forma urbana en la mitigación del riesgo

El análisis y la integración de conocimientos de la forma urbana de las ciudades es una de las principales vías por la cual se pueden generar intervenciones en el sistema urbano para la mitigación del riesgo a través de la planeación territorial (McAllister, 2016; Allan et al., 2013; Birkmann, 2016). En esta investigación, como propuesta hacia la mitigación del riesgo del Peñón del Marqués a través de la forma urbana, se definieron cuatro posibles escenarios de intervención urbana. A través de la evaluación de investigaciones de la importancia de los elementos de la forma urbana de Sharifi (2019; 2021), Koren & Rus (2019) y Xu et al. (2019) y casos de estudio de Ramírez-Herrera & Gaidzik (2017) y Gaidzik et al. (2017), se consideraron aspectos espaciales de gran relevancia para el mejoramiento de la capacidad de adaptación, intervención, accesibilidad e integración dentro del contexto urbano.

La iniciativa de la integración de espacios potenciales para la mitigación del riesgo en el Peñón del Marqués, objeto de esta investigación aborda el estado actual del sitio y asume que no se llevará a cabo ninguna reubicación, liberación ni demolición de viviendas. Esto, debido a que se busca hacer visibles algunas propuestas a nivel urbano que consideren un corto plazo, iniciativas de gestión de recursos naturales y, sobre todo, la visualización de la capacidad adaptativa actual de la forma urbana en exposición al riesgo. También, estas propuestas se consideran de gran relevancia debido a que no implican recursos económicos adicionales en la búsqueda y compra de nuevos predios, así como la edificación de nuevas viviendas particularmente, de bajos ingresos económicos.

Con el fin de mostrar el potencial de los elementos y la configuración de la forma urbana en el sitio, se consideraron cuatro diferentes escenarios: 1) el aumento de la permeabilidad del suelo para favorecer la infiltración de agua, 2) la habilitación de redes, 3) el aumento de la flexibilidad de espacios en situaciones de emergencia y de recuperación y 4) la intervención de espacios abiertos con vegetación en puntos estratégicos. Los criterios que se consideran se muestran en la Tabla 10.

Escenario	Elemento	Característica/uso	Criterio	Referencia
Permeabilidad para la captura del agua	Lotes Bloques Espacios abiertos	Superficies con suelo permeable	Reemplazo de superficies urbanizadas con pavimento impermeable por pavimento permeable que retrase la infiltración al subsuelo.	Yu et al., 2017; Hu et al., 2018; Huang et al., 2016.
Habilitación de redes	Bloques Espacios abiertos Redes	Redes secundarias entre bloques	Implementación de vías secundarias en los bloques que reduzcan la longitud de las redes y desbloqueo de redes obstruidas.	Koren & Rus, 2019; Sharifi, 2018; Batty, 2013; Salat, 2007; Bruwier et al., 2018
Flexibilidad de espacios en situaciones de emergencia	Espacios abiertos Lotes	Espacios de autoorganización y refugio	Visualización de espacios abiertos con suelo desnudo y vegetación baja con oportunidad de cambiar, evolucionar y adaptarse a un desastre.	Sharifi, 2018; Sharifi, 2019; Koren & Rus, 2019; Btand, 2016.
Intervención de espacios abiertos con vegetación en puntos estratégicos.	Espacios abiertos	Barrera de protección de viviendas y recuperación de las propiedades naturales.	Implementación de vegetación media y alta como método de contención en zonas con exposición alta al riesgo y equilibrio de los ecosistemas en zonas con exposición baja al riesgo.	Peduzzi, 2010; Papatoma-Köhle & Glade, 2013; IPCC, 2017; Pepescu, 2012.

Tabla 10. Criterios para la construcción de escenarios de mitigación del riesgo. Elaboración propia.

Capítulo 4.

Caracterización del riesgo

4.1 Riesgo de deslizamiento de laderas

Dentro de esta sección, se muestran los resultados que se obtuvieron de la búsqueda del riesgo deslizamiento de laderas en el Peñón del Marqués a través de fuentes oficiales. En cuanto a las características físicas del sitio, el Atlas de Riesgos de la Ciudad de México (2011) ha identificado combinaciones locales entre los mecanismos de fractura y procesos que determinan tipos y fracturas de acuerdo con las condiciones geológicas específicas. Estos corresponden al 1) deslizamiento gravitacional por bloques sobre una superficie de falla como es el caso del Peñón del Marqués, 2) la deformación diferencial plástica de materiales lacustres, 3) la pérdida estructural por colapso de materiales por infiltración de agua al subsuelo, 4) la deformación inferencial y 5) el fracturamiento por desplazamiento de masas de bloques. También, en cuanto al Peñón del Marqués, el material de su suelo es colapsable y presenta fallas que lo rodean y que están relacionadas con movimientos de masas. A pesar de que las fracturas puedan asociarse a diferentes mecanismos de origen (Carreón Freyre et al., 2006), hasta el año 2011, el Atlas de Riesgos de la Ciudad de México estimó una superficie potencialmente afectada de 23.2 millones de metros cuadrados.

La COBABIO, la SGIRPC junto con la Dirección de Resiliencia y el SIGCDMX, fueron las fuentes oficiales con las cuales se generaron mapas de las características geológicas a nivel alcaldía y a nivel local. La Figura 28 es la representación cartográfica que los parámetros de susceptibilidad de laderas varían en gran medida de acuerdo con el sitio. Los puntos que se identifican con mayor susceptibilidad están focalizados en el Peñón del Marqués y es posible identificar la presencia de tres fallas que atraviesan la alcaldía: dos de ellas rodean el Cerro de la estrella, y la restante, atraviesa perpendicularmente este mismo cerro junto con el Peñón del Marqués.

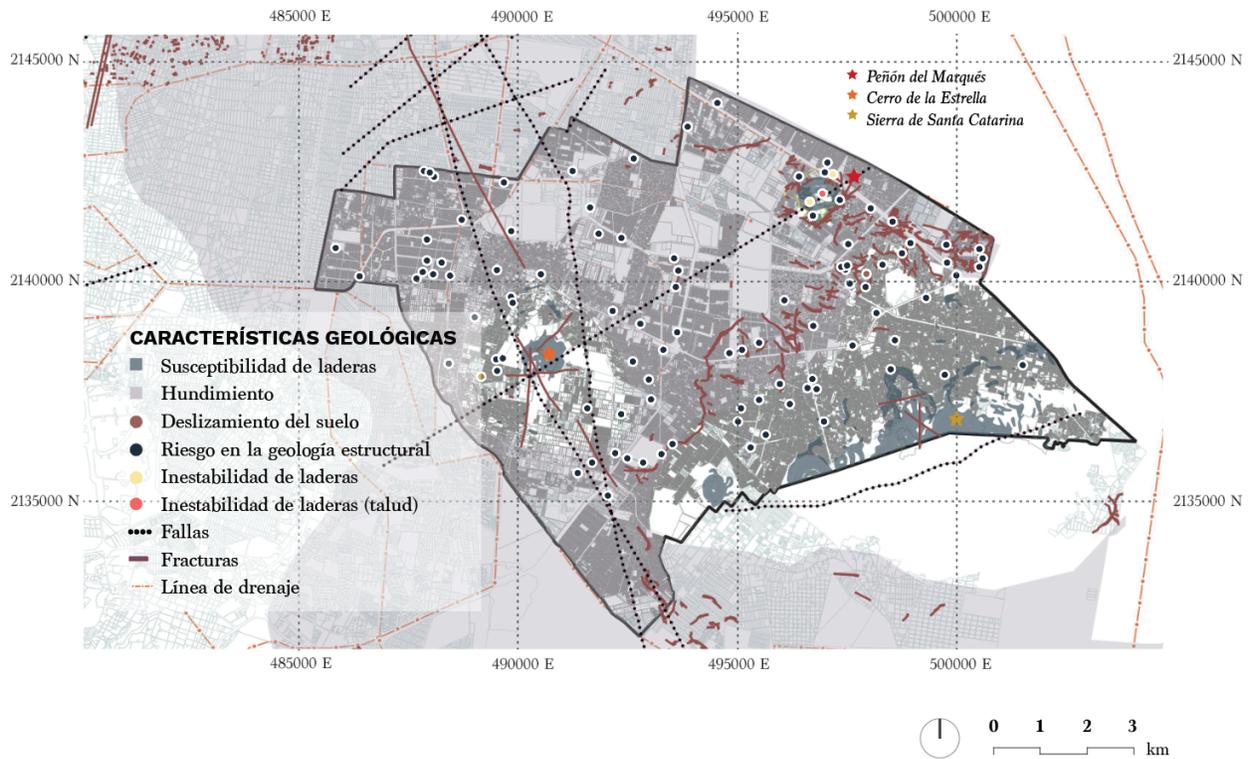


Figura 28. Características geológicas a nivel alcaldía, Iztapalapa, Ciudad de México (Escala 1:100000). Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de información de SGIRPC, 2021; CONABIO, 2021; SIGCDMX, 2021.

La Figura 29 muestra que, a nivel local, el patrón de fracturamiento del Peñón del Marqués tiene una orientación radial y en el lado norte del cerro. También, cuenta con una zona sin registro de hundimiento diferencial y es en esa misma zona se concentra la susceptibilidad de laderas Alta, Media y Baja. Esta clasificación se basa en la posibilidad de ocurrencia e impacto en donde la Alta indica consecuencias catastróficas y los daños rebasan la capacidad de respuesta de la Ciudad de México y la clasificación Baja considera consecuencias poco significativas con daños mínimos (SGIRPC, 2016). Los polígonos en color rosa son aquellos que la SGIRPC (2021) ha identificado como bloques vulnerables a remoción de masa que se ubican en el lado norte del cerro. A pesar de que esa zona no considera laderas susceptibles de acuerdo con la información obtenida por la CONABIO (2021), estos bloques se encuentran próximos a las pendientes más pronunciadas de acuerdo con los datos LiDAR del INEGI (2014) y corresponden al patrón no-planificado.

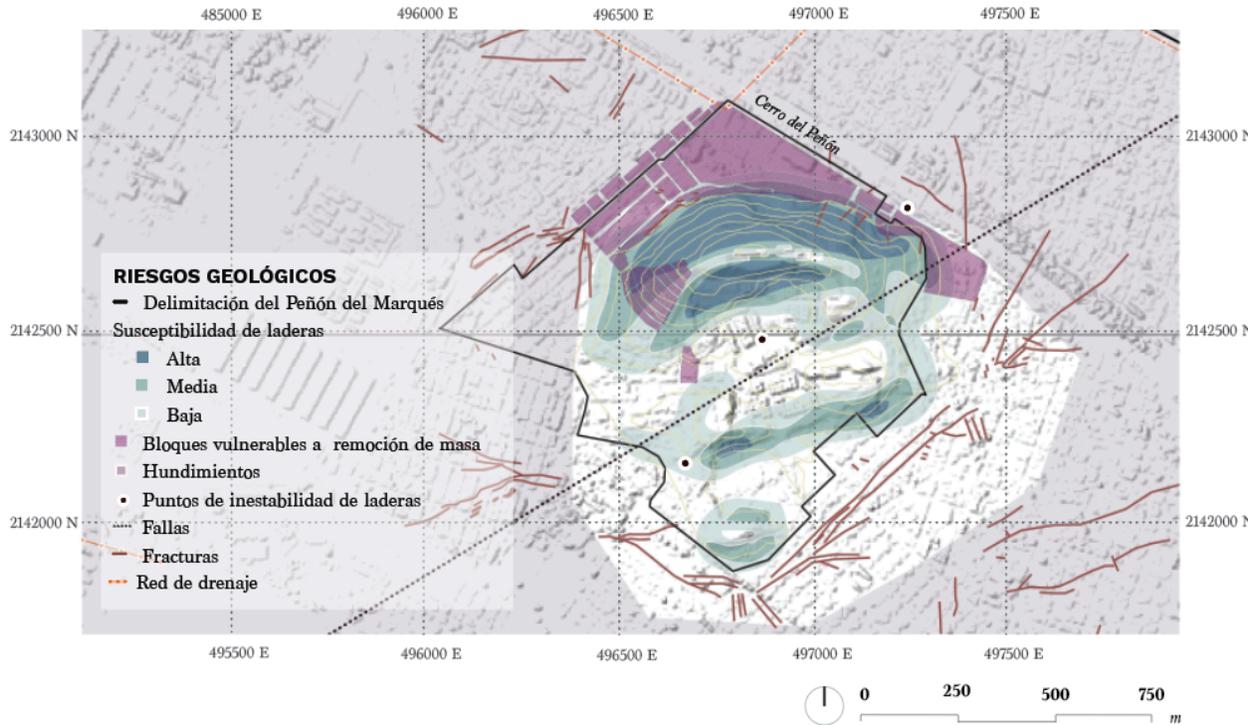


Figura 29. Riesgos geológicos a nivel local en el Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México (Escala 1:1500). Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de datos de SGIRPC, 2021; CONABIO, 2021; SIGCDMX, 2021. Fracturas tomadas del Atlas de Riesgo del Centro de Evaluación de Riesgo Geológico de la Alcaldía Iztapalapa.

4.2 Peligro por inundaciones

El Atlas de Riesgos de la Ciudad de México (2011) menciona que las planicies flavio-lacustres constituyen el 81% de la superficie total de la alcaldía Iztapalapa. Su topografía accidentada y origen lacustre se consideran factores que condicionan el riesgo por inundaciones de la alcaldía que oscilan en su mayoría entre Alto y Muy Alto. La magnitud de este peligro, además generar afectaciones en la población y en las viviendas, puede incrementar los agrietamientos por la presión hidráulica y la acumulación del agua. Por tanto, más que analizarlo de forma aislada como un peligro, tiene una estrecha relación con el incremento del riesgo geológico en zonas ya catalogadas con un nivel Alto de susceptibilidad de las laderas.

La Figura 30 muestra a nivel alcaldía, las zonas que están registradas por la SSGIRPC (2021) con niveles de peligro de Muy Bajo a Muy Alto. Dentro de esta

clasificación el Peñón del Marqués, el Cerro de la Estrella y la Sierra de Santa Catarina consideran un peligro entre Bajo y Muy Bajo al ser las principales elevaciones de la alcaldía. De acuerdo con el Atlas de Riesgos (2011), el Peñón del Marqués presenta un peligro por precipitación anual entre 700 y 800 mm en su parte baja. Esto, en combinación con las características geológicas de la zona, puede incrementar la posibilidad de ocurrencia de eventos relacionados a deslizamientos de bloques. También, el hecho de que sea una zona con fracturas en orientación radial puede afectar la estabilidad del suelo por la erosión de materiales colapsables.

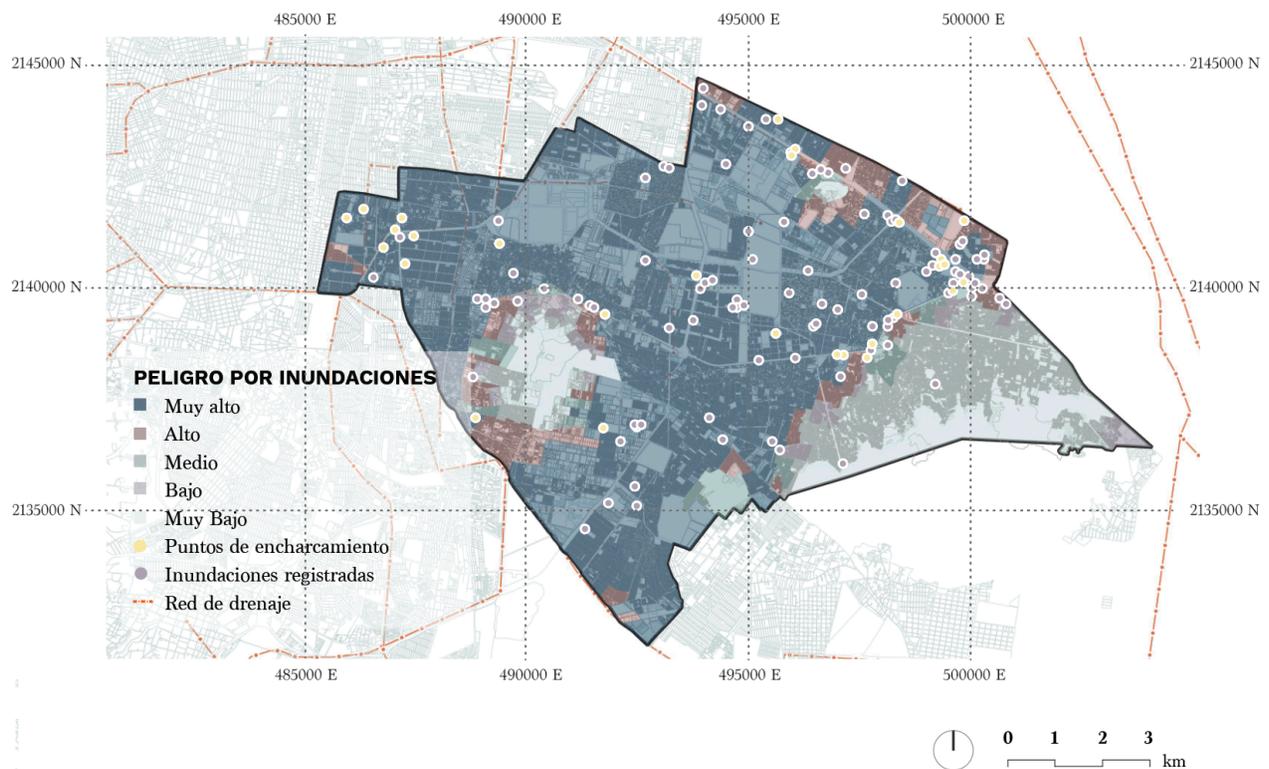


Figura 30. Peligro de inundaciones a nivel alcaldía, Iztapalapa, Ciudad de México (Escala 1:10000). Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de información de SGIRPC, 2021; SIGCDMX, 2021.

A nivel local, la Figura 31 muestra que el Peñón del Marqués presenta un peligro Medio en la zona norte, Muy Bajo en la zona centro y Alto en la zona sur. A pesar de las categorías Muy Bajo y Medio puedan leerse de forma aislada como poco significativas, es de gran importancia hacer una lectura con la Figura 29 la cual indica que los bloques vulnerables a remoción de masas se encuentran concentrados precisamente en estas

zonas. También, es posible identificar en esta figura, que la granularidad de la información por parte de la SGIRPC (2021) con la cual se elaboró este mapa, tiene una escala muy amplia que se representa por AGEB (Área Geoestadística Básica). Esto medido que mide una extensión territorial con un número de población igual o mayor a 2,500 habitantes, se considera limitada para identificar con precisión el riesgo que involucran las inundaciones específicamente en el Peñón del Marqués.

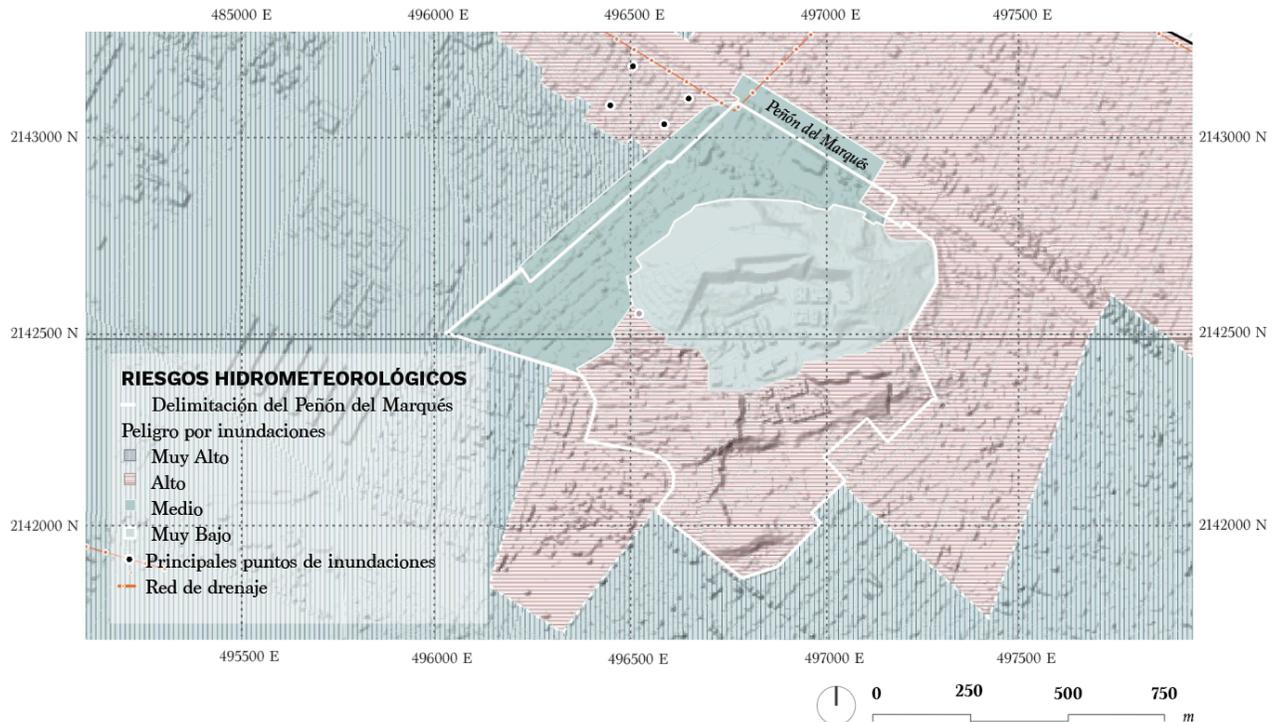


Figura 31. Peligro por inundaciones a nivel local en el Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México (Escala 1:1500). Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de información de SGIRPC, 2021; SIGCDMX, 2021.

4.3 Conclusión sobre la caracterización del riesgo

Este capítulo abordó el riesgo en el Peñón del Marqués a partir de datos e información de fuentes oficiales. A través de ellas, fue posible identificar que el riesgo geológico ha sido estudiado y analizado por sus características físicas y por los factores que pueden condicionar al sitio en el desencadenamiento de eventos de desastres naturales. En cuanto a los datos sobre el peligro de inundaciones, como se mencionó anteriormente, carecen de una granularidad fina que permitan hacer una lectura del flujo del agua de lluvia en el sitio.

A pesar de que se haga mención sobre la relación que existe entre las características geológicas y la precipitación, los dos factores estresores se han analizado de forma aislada y no es posible identificar cartográficamente cómo un peligro puede impactar o desencadenar otro. También, se identificó la falta de información sobre el riesgo que conlleva el flujo de escorrentía en zonas urbanas que están ubicadas en laderas como es el caso del sitio de interés.

Caracterización de los elementos de la forma urbana

5.1 Análisis de las coberturas del suelo del Peñón del Marqués

Los resultados de la caracterización de los elementos de la forma urbana se dividieron en dos pasos: la categorización de las coberturas del suelo y la cuantificación de los elementos de la forma urbana por lotes, bloques, espacios abiertos y redes. Además de poder analizar la distribución de las coberturas del suelo a través de una primera categorización de suelo urbanizado y no urbanizado, con ella se pudo hacer un análisis cuantitativo a profundidad de los espacios abiertos por cada polígono de análisis.

5.1.1 Coberturas del suelo urbanizado

La clasificación de las coberturas suelo por percepción remota, permitió categorizar a una resolución de 10x10 m las zonas que están urbanizadas con pavimento y con vivienda. La Figura 31 muestra la clasificación de coberturas de suelo por cada polígono de análisis, es decir, los polígonos A, B y C de esta investigación. En ellos es posible identificar una variación considerable en la cantidad de píxeles de ambas clasificaciones. Los polígonos A y B que corresponden al patrón no-planificado del Peñón del Marqués, cuentan con una mayor cantidad de píxeles de coberturas de suelo urbanizado con vivienda a diferencia del polígono C que corresponde al patrón planificado. En este último polígono, predomina el suelo urbanizado con pavimento y es visible la configuración urbana por la ubicación de los píxeles de coberturas de suelo urbanizado con vivienda. De forma contrastante, los polígonos A y B, reflejan una ausencia de orden o continuidad ambas clasificaciones al ser los patrones no-planificados. También, el polígono B cuenta con una amplia cobertura de píxeles sin clasificación de cobertura de suelo urbano a pesar de ser una zona con lotes. Esto, indica que el polígono B se encuentra próximo al cerro y cuenta con espacios naturales del mismo.

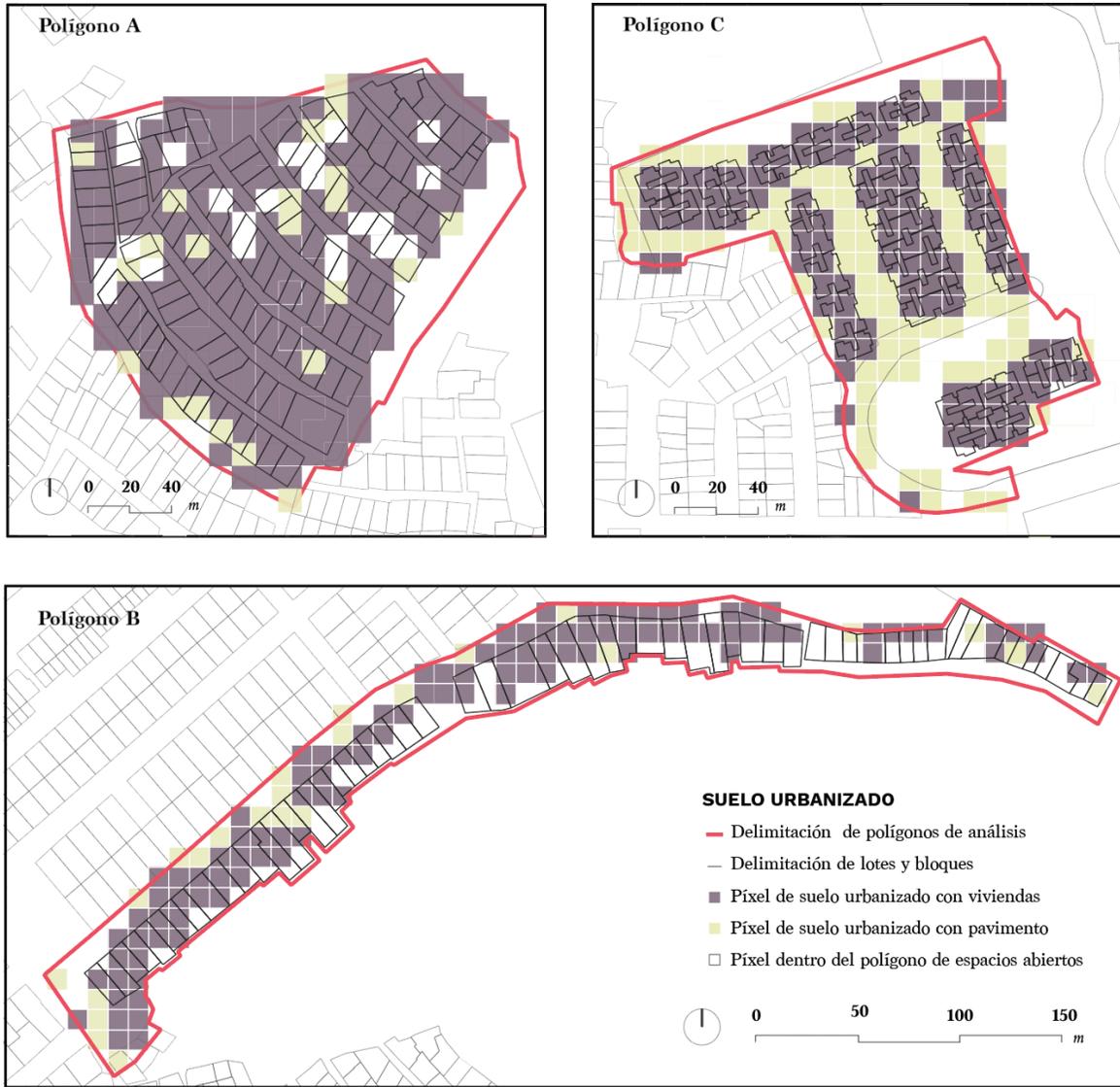


Figura 32. Mapa de clasificación por SCP de las coberturas del suelo urbanizado por polígono de análisis del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A.

5.1.2 Coberturas del suelo con espacios abiertos

Al igual que la clasificación de coberturas de suelo urbanizado, la clasificación con espacios abiertos se realizó a una resolución de 10x10 m por píxel. La categorización resultante, corresponde a la extracción de las coberturas de suelo urbanizado por polígono de análisis, la cual presenta una variación en cada uno de los polígonos. La Figura 33 indica que una gran parte de los espacios abiertos los polígonos A y B del patrón no-planificado, corresponden a la clasificación de suelo desnudo. Dentro del

polígono A, se observa una distribución de píxeles de suelo desnudo hacia el norte y una concentración de píxeles de vegetación alta que se ubica en la delimitación del lado oriente con ausencia de lotes. El polígono B, presenta una concentración de píxeles de espacios abiertos con diferentes clasificaciones que se concentran en el lado más próximo del cerro. A través de esta categorización, es posible identificar que los polígonos no-planificados, no cuentan con un orden ni diseño en los espacios abiertos, sino han urbanizado las coberturas disponibles del cerro. Por el contrario, el polígono C como patrón planificado, refleja una concentración vegetación entre baja y media que rodea a los bloques del polígono.



Figura 33. Mapa de clasificación por SCP de las coberturas de espacios abiertos por polígono de análisis del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A.

5.2 Análisis cuantitativo de los elementos de la forma urbana del Peñón del Marqués

Para mostrar cuantitativamente las variables de los lotes y los bloques como elementos de la forma urbana de cada polígono de análisis, se utilizó la representación de cajas y bigotes. En ella, se muestra la mediana, el primer y tercer cuartil, los mínimos y máximos, así como los valores atípicos dentro de la base de datos. Las variables cuantitativas que describen los espacios abiertos y las redes constan de un único valor, por lo que se representó mediante gráficos de puntos. Estas representaciones se hicieron a través de RStudio y ggplot. Esta sección tiene el objetivo de hacer un análisis cuantitativo de los elementos de la forma urbana y con ello, comprender las similitudes y diferencias entre el patrón planificado y el no-planificado.

5.2.1 Lotes

La representación de caja y bigotes por lotes de la Figura 34 (x1-Tamaño) muestran que, para el tamaño de los lotes, no hay una relación clara entre el patrón planificado (C) y los patrones no planificados (A, B), pues en los polígonos A y C hay menor variación en el tamaño de los lotes, a comparación del polígono B. Esto, podría interpretarse como una característica independiente de la forma de urbanizar el sitio que no considera la ausencia o presencia de planificación, sino que considera la ubicación radial de los lotes de forma inmediata al cerro. Además, los lotes de los polígonos A y C no difieren tanto en su tamaño (100-120 m² aproximadamente). Para el polígono C, a pesar de que uno o más lotes tienen un tamaño que sobrepasa los 200 m², en general, este polígono tiene los valores más bajos de los tres polígonos. En cambio, los lotes del polígono B son mucho más grandes, con una mediana de 170 m². Sin embargo, el polígono A presenta varios valores atípicos que muestran la presencia de lotes que varían entre aproximadamente 25 m² y arriba de los 400 m². De esta forma, se concluye que el patrón planificado representa el patrón con un menor tamaño y con valores similares, a diferencia del patrón no-planificado, que son de mayor tamaño y con una variación considerable respecto a la variable.

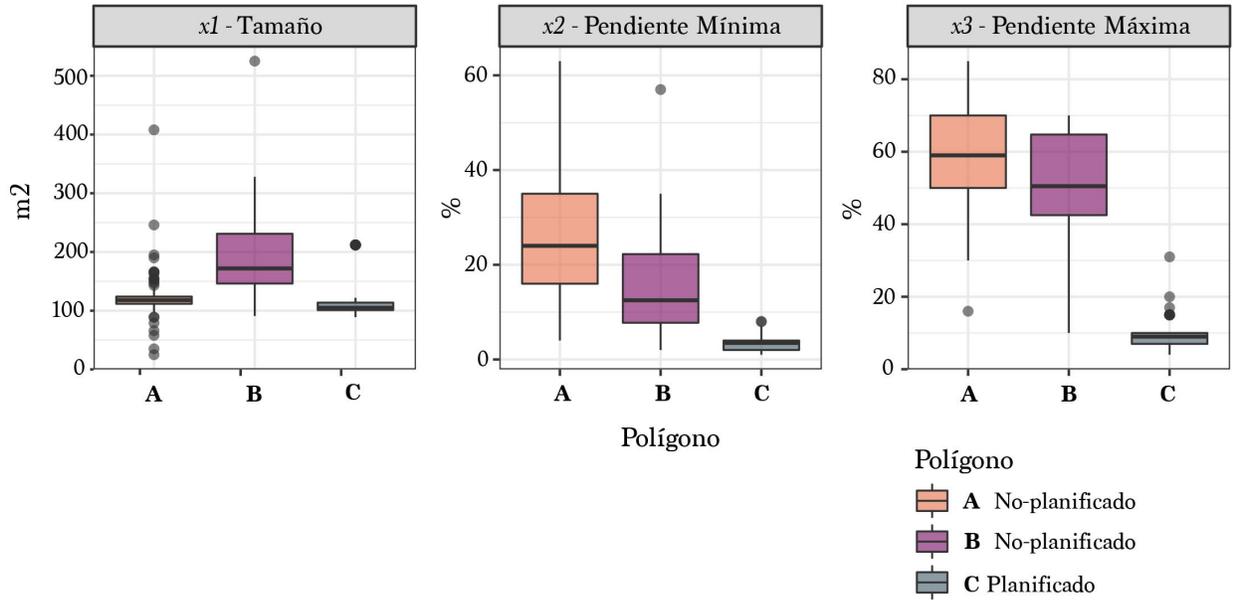


Figura 34. Gráficas de cajas y bigotes que representan las variables de los lotes por polígono de análisis A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Elaboración propia a partir de datos MDE INEGI, 2012; INEGI, 2016 e imágenes Landsat Copernicus, 2021.

En cuanto a las variables de la pendiente, las gráficas de la Figura 34 (x2-Pendiente Mínima y x3-Pendiente Máxima) muestran que, en los polígonos no planificados, A y B, las pendientes, tanto mínimas como máximas, son considerablemente mayores que en el polígono planificado, C. La mediana de las pendientes mínimas para el polígono A y B son 24% y 12.5%, respectivamente. Las medianas de las pendientes máximas son 59% y 50.5%, respectivamente. En cambio, las medianas para pendiente mínima y máxima en el polígono C, son de 3.5% y 9%. Es interesante notar que en el polígono C (patrón planificado), hay una variación mínima en las pendientes, de forma que aún en los valores de pendiente máxima, los valores son mucho menores que la pendiente mínima del patrón no-planificado.

El único outlier, es decir, el valor atípico que presenta el polígono B, indica un valor por debajo del 60%, que indica, aun así, un valor más bajo que el valor más alto del polígono A. De forma contrastante, el polígono C que corresponde al patrón planificado, existe una variación muy baja que indica, que los valores de la pendiente mínima de este

este polígono, son cercanos al 5%. La gráfica de la pendiente máxima muestra una variación alta en los polígonos A y B en donde las medianas de ambos, presenta valores entre el 50% y 60%.

5.2.2 Bloques

Las gráficas de los bloques muestran que el polígono C, que corresponde al patrón planificado, tiene valores mucho más altos en número de viviendas, tanto habitadas como deshabitadas. Además, relacionando el tamaño de los bloques y la población en la densidad poblacional, podemos ver que el polígono planificado (C) tiene considerablemente mayor densidad poblacional que el polígono no planificado (A). El tamaño de los bloques es mayor en el polígono A, que en el C. Sin embargo, su variación es menor, lo que indica que los bloques del polígono A son aproximadamente del mismo tamaño.

Las gráficas de la Figura 35 indican que en general, el patrón planificado, es decir, el polígono C cuenta con valores y variaciones de las variables analizadas mucho más altos que el patrón no-planificado a excepción de la variable de Tamaño (x_4). Esto, indica que en el polígono C, los bloques son más pequeños, pero hay una cantidad mayor de habitantes en él, lo cual concuerda con los edificios con 5 niveles que están ubicados en esa zona. Además, hay muchas más viviendas construidas, pero también muchas más viviendas deshabitadas. En el polígono A, prácticamente todas las viviendas construidas están habitadas. De forma empírica, esto podría visualizar que los habitantes construyen por necesidad inmediata de vivienda al considerar una gran parte de ellos urbanizó el sitio a raíz del sismo de 1985. En cambio, en cuanto al patrón planificado, se desconocen los intereses o las necesidades tanto de la población como del sector inmobiliario que urbanizaron el sitio.

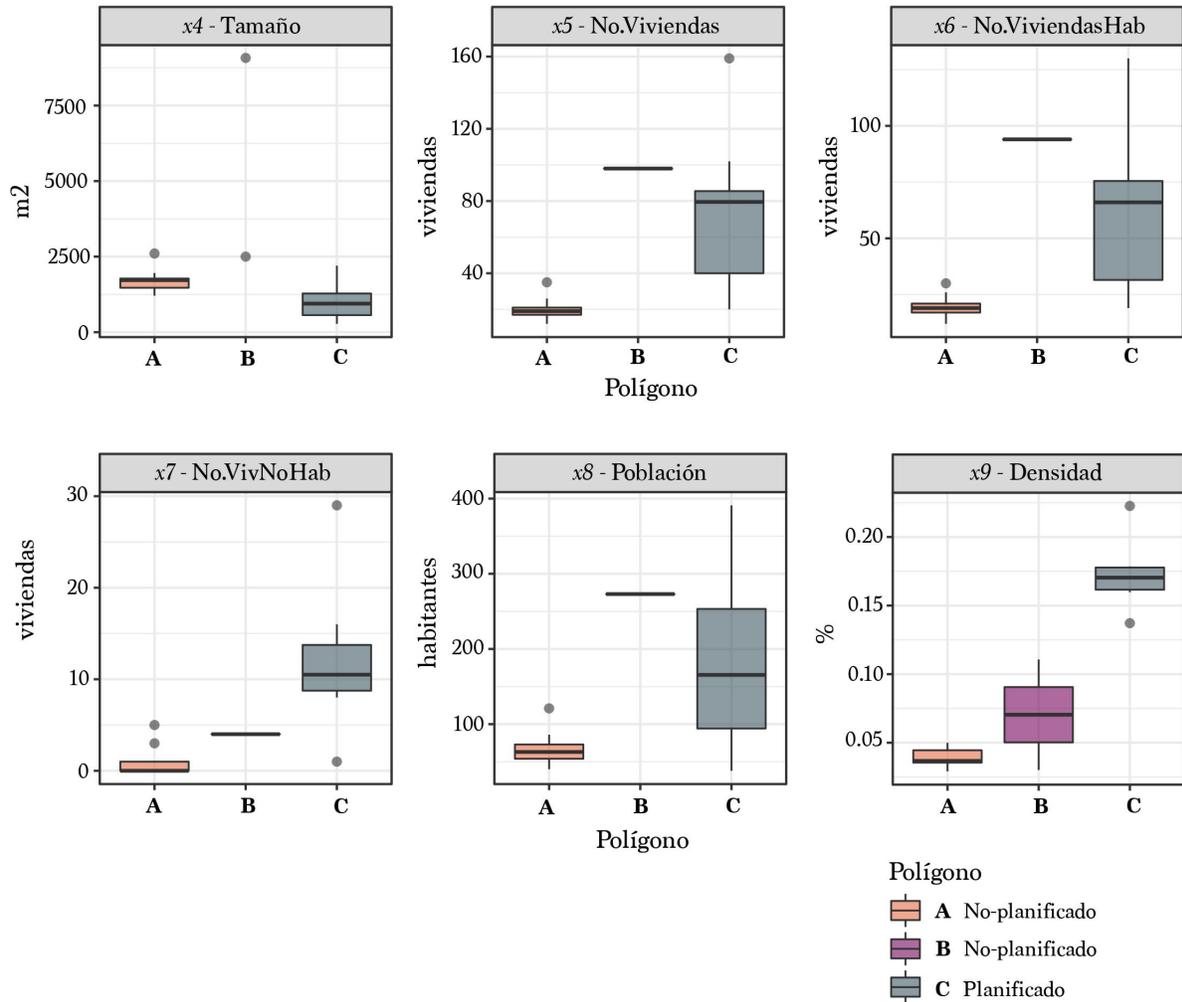


Figura 35. Gráficas de cajas y bigotes que representan las variables de los bloques por polígono de análisis A, B y C del Peñón del Marqués alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Elaboración propia con datos INEGI, 2016.

5.2.3 Espacios abiertos

Las gráficas de los espacios abiertos en la Figura 36, representan cada variable-por superficie total del polígono ya sea para el área total o clasificada por vegetación alta, media, baja y suelo desnudo. En ellas, se indica que de los tres polígonos el polígono B cuenta con más espacios abiertos con un valor de 65 píxeles. Si se compara este polígono con el polígono A, que también corresponde al patrón no-planificado, es visible que la diferencia en cuanto a su ubicación condiciona la cantidad y la clasificación de la vegetación. El polígono A, se asienta en la ladera del cerro y las actividades humanas a

través de la urbanización (ver Figura 32) han reducido considerablemente la vegetación, mientras que el polígono B, está ubicado en la falda del cerro y, más bien, las viviendas están entrelazadas con la vegetación. En cuanto al polígono C que corresponde al patrón planificado, es el único polígono que no cuenta con suelo desnudo, pero sí cuenta con el resto de las clasificaciones de vegetación. Esto, hace visible que los espacios abiertos de este polígono son aquellos que se han podido conservar del cerro después de la intervención. Sin embargo, la falta de suelo desnudo puede vincularse a la alta superficie pavimentada de este patrón como parte de la planificación.

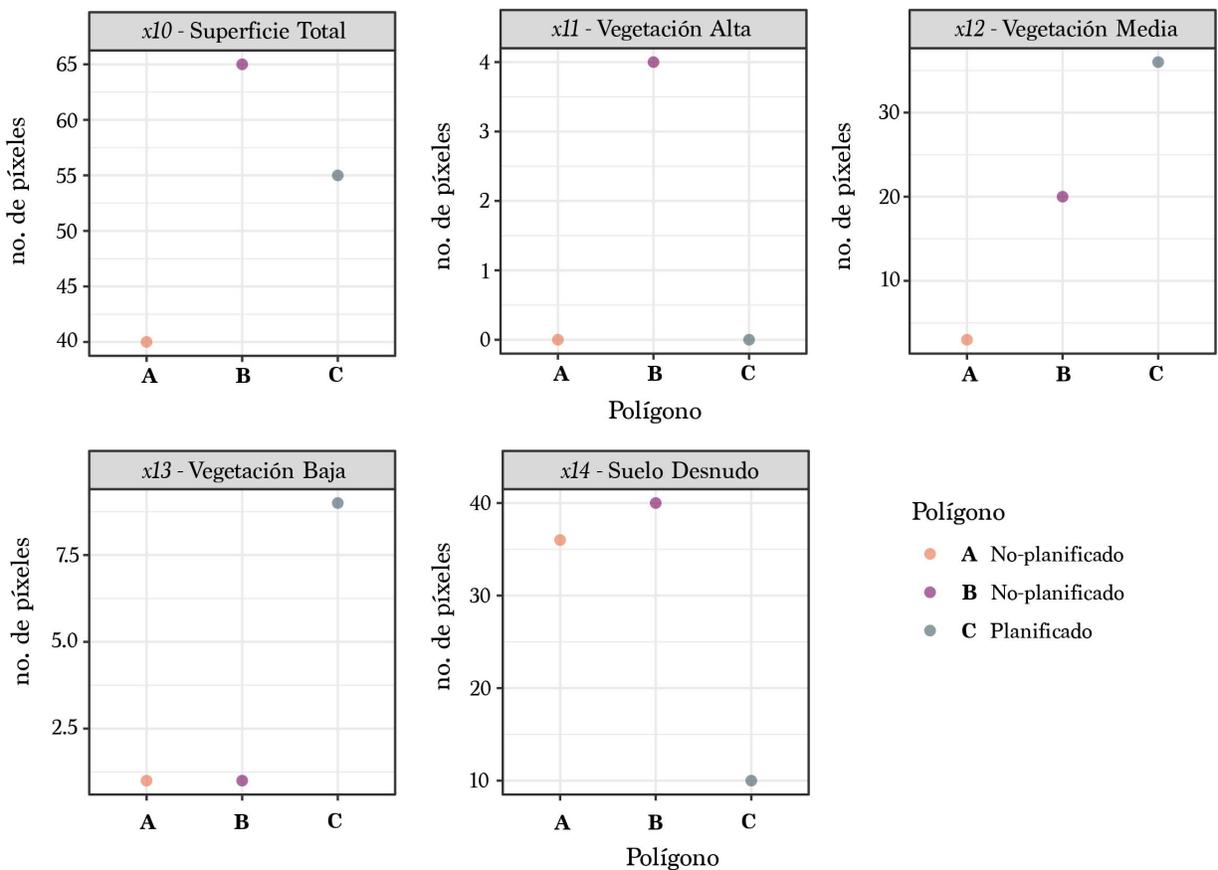


Figura 36. Gráficas de representación de las variables de los espacios abiertos por número de píxeles por polígono de análisis A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Elaboración propia con imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

5.2.4 Redes

Las gráficas de las redes que se muestran en la Figura 37 consideran la cantidad de las vías y de los nodos por polígono, es decir, las calles y sus intersecciones. A través de ellas, se muestra una considerable diferencia por polígono más que por patrón urbano. El polígono A, cuenta con un mayor número tanto de vías como de nodos que están delimitados por la cantidad de bloques. De forma contrastante, el polígono B presenta valores más bajos en ambas variables lo cual puede vincularse a una accesibilidad muy limitada. El polígono C, muestra una mayor cantidad de redes que de nodos, lo cual indica que, a pesar de contar con 9 vías, no todas están conectadas entre sí.

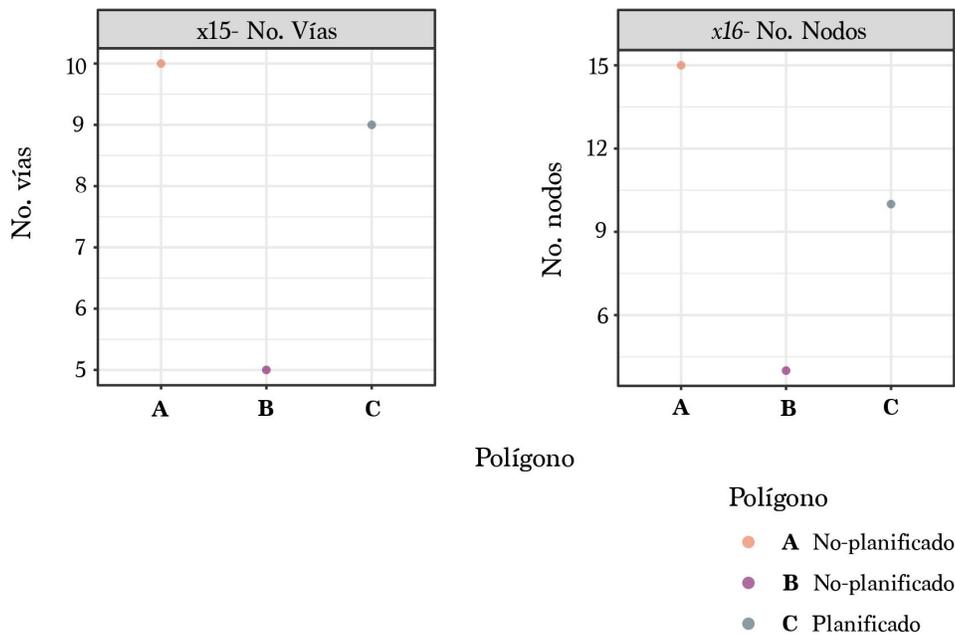


Figura 37. Gráficas de representación de número de redes por polígono de análisis A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Elaboración propia a través de imágenes Google Satellite, 2021.

5.3 Diferencias y similitudes de los elementos de la forma urbana del patrón planificado y el no-planificado

La cuantificación de los elementos de la forma urbana se realizó con la finalidad de identificar las diferencias y similitudes entre el patrón planificado y el no-planificado del

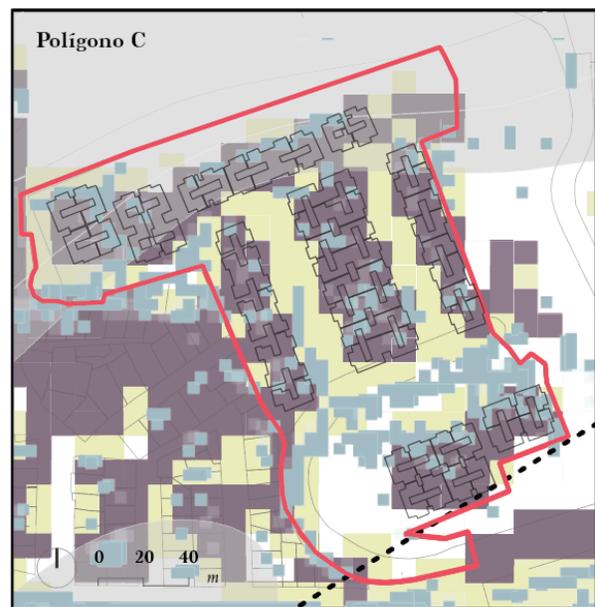
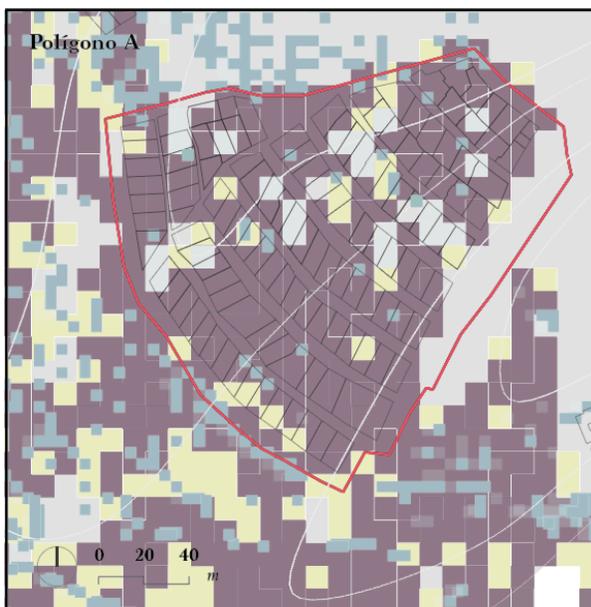
Peñón del Marqués. A través de los polígonos de análisis, se hace visible que el patrón planificado se encuentra ubicado sobre una superficie plana y regular, cuenta con un número mayor de viviendas tanto habitadas como no habitadas y tiene una considerablemente mayor densidad poblacional. Sin embargo, a pesar de su planificación, sus redes se consideran limitadas y obstruidas y no cuenta con una superficie de espacios abiertos mayor al patrón no-planificado. Por el contrario, el patrón no-planificado se encuentra ubicado en una superficie en con pendientes de hasta 70% y con una tipografía accidentada. A pesar de la ausencia de planificación, cuenta con un tamaño similar entre lotes. Finalmente, el polígono B corresponde al polígono con mayor cantidad de espacios abiertos, lo cual, más que ser determinado por su planificación, se define por su ubicación.

Capítulo 6.

La configuración de la forma urbana y el riesgo

6.1 Factores de precondicionamiento del riesgo

A través de la revisión de los casos de estudio de Gaidzik *et al.* (2019) y Ramírez-Herrera & Gaidzik (2017) se determinó, que las características geológicas y geomorfológicas de un sitio pueden ser factores de precondicionamiento del riesgo. También, en estos casos de estudio, la presencia de coberturas de suelo urbanizado se considera de gran importancia en el desencadenamiento de eventos de deslizamiento de laderas al incrementar la presión al subsuelo y limitar la capacidad de infiltración. La representación cartográfica de estos factores en los polígonos de análisis del Peñón del Marqués en la Figura 38 y su interpretación se muestra en la Tabla 11. En esta tabla, se muestran los valores de cada uno de los factores de precondicionamiento y posteriormente se describe cada polígono de forma particular para poder determinar la importancia de cada uno estos factores en el desencadenamiento del riesgo.



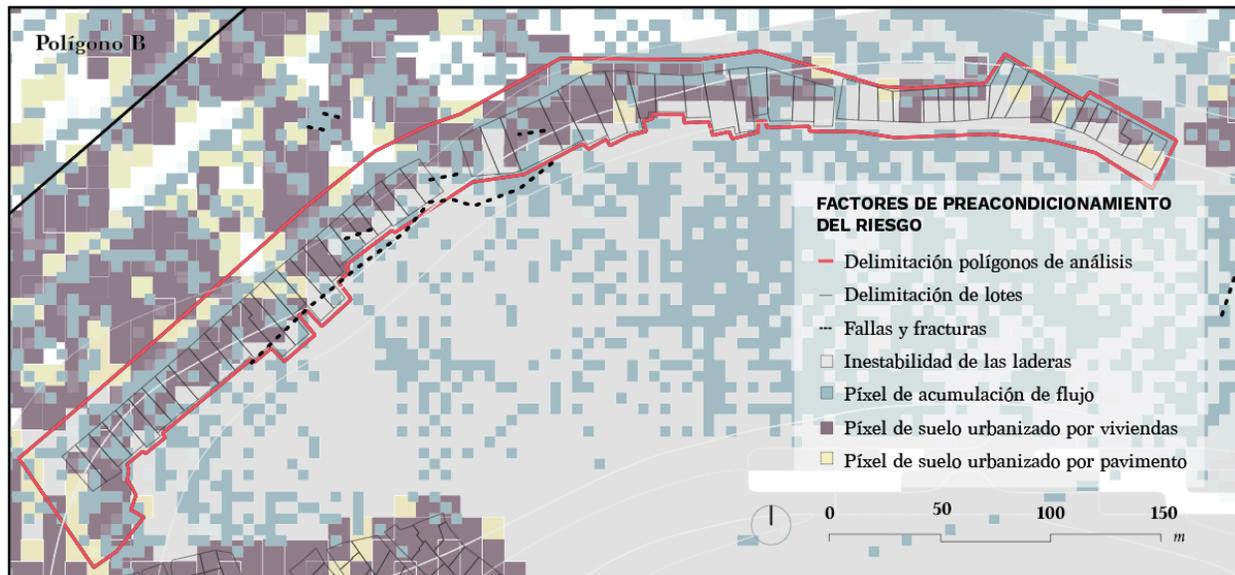


Figura 38. Mapa factores de precondicionamiento del riesgo de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021 y DEM INEGI 2012.

En la Tabla 11 se muestra que el polígono A, cuenta con una alta exposición a los factores determinados de precondicionamiento del riesgo en cuanto a la inestabilidad de las laderas y la urbanización con vivienda. También este mismo polígono, representa valores muy bajos en fracturas y fallas, acumulación de flujo y urbanización con pavimento. Es importante mencionar que, el hecho de que el polígono A presente valores bajos en fallas y fracturas y acumulación de flujo, no significa precisamente una ausencia de riesgo. Esto, en gran medida se debe a que este polígono se encuentra asentado en la ladera y su pendiente pronunciada limita una probable acumulación de flujo a diferencia del polígono B que está ubicado en la falda del cerro. A través de estos resultados, puede determinarse que, el riesgo de este primer polígono se concentra en la inestabilidad de las laderas y el alto valor de la urbanización con vivienda el cual es el más alto de los tres polígonos de análisis.

El polígono B cuenta, al igual que el polígono A, con una alta exposición a la inestabilidad de las laderas y urbanización con vivienda. Recordando que ambos polígonos corresponden al patrón no-planificado, estos dos factores se consideran de gran importancia en el desencadenamiento del riesgo al ser los polígonos más propensos

a tener eventos de deslizamientos de laderas. Es importante mencionar que, el polígono B que se encuentra ubicado en la falda del cerro, cuenta con fracturas que debido a las características geomorfológicas del sitio podrían incrementar. Este mismo polígono, presenta el valor más alto en la acumulación de flujo que, en combinación con la geomorfología y la presencia de urbanización con vivienda, la estabilidad es un factor que puede condicionar la estabilidad de la zona.

El polígono C que corresponde al patrón planificado, representa el polígono con los valores más bajos de los factores de preacondicionamiento del riesgo. Cuenta con la exposición más baja de los tres polígonos en fallas y fracturas, inestabilidad de laderas y acumulación de flujo. A pesar de tener el valor más alto en urbanización con pavimento, el hecho de que se ubique en la zona topográficamente más regular reduce considerablemente la posibilidad de ocurrencia de eventos de deslizamientos de laderas e inundaciones. A través de los resultados que se muestran en la Figura 40 cartográficamente y los valores de la Tabla 11, se considera que la ausencia de planificación es un factor condicionante en el nivel de exposición al riesgo.

Factor de preacondicionamiento de riesgo	Valor	Polígono A	Valor	Polígono B	Valor	Polígono C
Fallas y fracturas (%)	0	0	0.42	1	0.26	1
Inestabilidad de las laderas (%)	100	10	90.16	9	29.09	3
Acumulación de flujo (%)	5.58	1	29.9	3	20.18	2
Urbanización con pavimento (%)	9.16	1	10.31	1	34.04	3
Urbanización con vivienda (%)	70.96	7	51.56	5	47.57	5



Tabla 11. Tabla resumen de factores de preacondicionamiento del riesgo de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. La rampa de colores, indica valores del 1 al 10 de acuerdo con valor obtenido. Elaboración propia.

6.2 La configuración de la forma urbana

El análisis de los factores de preacondicionamiento del riesgo, muestra la existencia de una estrecha relación entre la ausencia y la presencia de planificación urbana con su nivel de exposición al riesgo. También, el análisis cuantitativo de los elementos de la

forma urbana del capítulo anterior mostró las diferencias entre los polígonos de análisis que integra esta investigación. Sin embargo, se considera de gran importancia abordar la influencia de su configuración como elementos que interactúan dentro de un mismo sitio con características de riesgo. Por ello, esta sección tiene el objetivo de representar gráficamente cómo la densidad, el tamaño, la distribución y la compacidad de los elementos de la forma urbana de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués, tienen un gran impacto durante y después de un evento perturbador.

6.2.1 Densidad

La densidad es la medida que representa la actividad humana respecto a un espacio. La Figura 41 muestra que, la densidad por bloques de los polígonos A y B del patrón no-planificado, es considerablemente más alta a comparación del polígono C. Esto, representa una porosidad reducida entre los bloques al rebasar más del 50% de su superficie total mientras que el polígono C indica una alta porosidad entre los bloques mayor al 70%. A pesar de que los polígonos A y B tienen lotes sin urbanizar, su falta de planificación los expone a que en futuro puedan urbanizarse y con ello, abarcar la cobertura total de los bloques como se muestra en la Figura 39. En cambio, la planificación urbana del polígono C, ha generado una delimitación espacial que considera una poca probabilidad de expansión urbana.

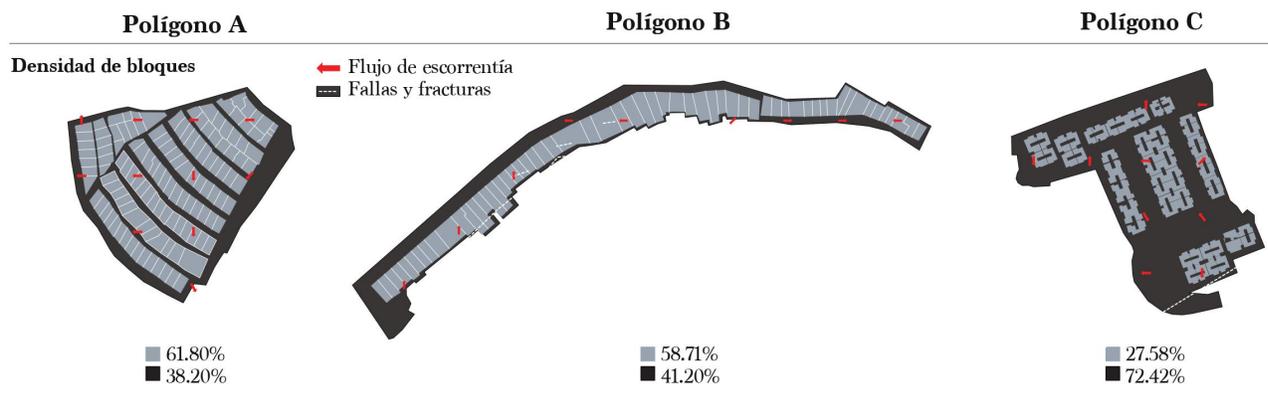


Figura 39. Representación gráfica de la densidad de los bloques de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Elaboración propia con datos INEGI, 2016.

La Figura 40 muestra la densidad de los espacios abiertos y es posible identificar un nivel de fragmentación similar entre los polígonos que oscila entre el 15.54% y el 33%. Estos porcentajes, reflejan una superficie mayor a los 16 m² de áreas naturales por habitantes de acuerdo con la recomendación de la OMS (GOBCDMX, 2016). Sin embargo, debido a las características de preacondicionamiento del riesgo, se consideran escasos por la alta densidad de las coberturas de suelo urbanizado por vivienda o por pavimentación. A través de esta representación gráfica, se hace visible que la cantidad de espacios abiertos por polígono no tiene relación con los dos patrones urbanos del Peñón del Marqués. Se destaca también, que es un atributo que está presente en los tres polígonos siendo de gran importancia para considerar la superficie permeable de cada uno de ellos.

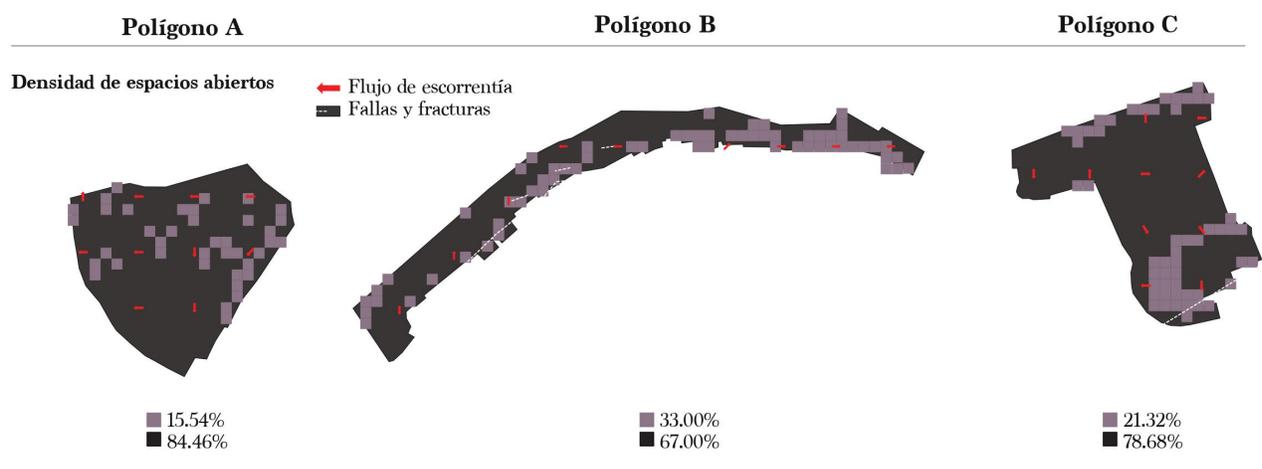


Figura 40. Representación gráfica de la densidad de los espacios abiertos de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Elaboración propia con imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

La densidad de población representada en la Figura 41, indica que no hay una relación directa respecto a su patrón. El polígono A, cuenta con la menor densidad de los tres polígonos, mientras que el polígono B, de forma contrastante, cuenta con aproximadamente el doble de densidad en relación con el mismo patrón no-planificado. Esta diferencia, puede ser un factor determinante en el riesgo. La alta densidad tanto de población como de bloques puede incrementar su nivel de exposición por la poca posibilidad de movilidad que pueden tener los habitantes para una pronta evacuación en

situaciones de emergencia. En cuanto al polígono C, la diferencia es muy variada con valores que oscilan entre 30 y 390 habitantes por bloque. Sin embargo, el impacto puede considerarse menor debido a los bajos valores que reflejaron en el análisis de preacondicionamiento del riesgo.

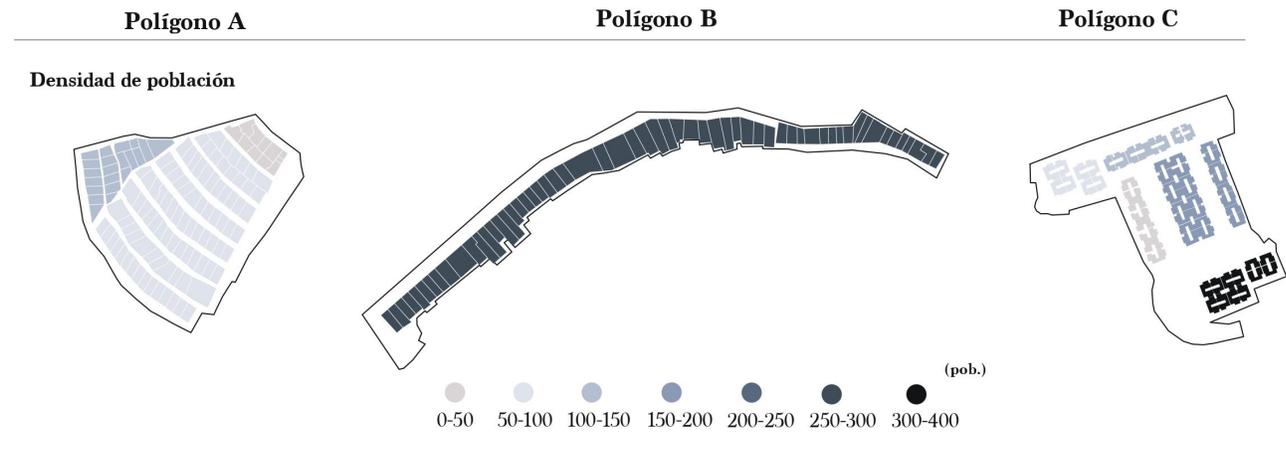


Figura 41. Representación gráfica de la densidad de población de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Elaboración propia a partir de INEGI, 2016.

6.2.2 Tamaño

El tamaño de los espacios abiertos y las redes son un atributo de gran importancia debido a que son las vías y espacios que los usuarios pueden utilizar durante y después de eventos de desastres naturales. Se recomienda que, en contextos de riesgo, las redes no tengan una longitud mayor a 50 m (Koren & Rus, 2019). A pesar de aún no se ha abordado un ancho recomendable en situaciones de riesgo, es importante considerar un ancho mínimo de 50 m (RDCDF, 2014) para una doble circulación de vehículos en caso de requerir apoyo vial y podría facilitar la circulación y movilidad de los habitantes como peatones.

Dentro de la Figura 42, es visible una diferencia contrastante entre el patrón planificado y el no-planificado. Mientras en este último patrón, cuenta con redes menores a 3 m de ancho, el patrón planificado refleja redes amplias de entre 9 y 15 m. A pesar de que las dos redes el polígono B cuentan con un ancho entre 9 y 12 metros, al tener una

densidad de bloques y de población mucho más alta, resulta ser un factor determinante en el riesgo. También, el polígono A presenta redes bloqueadas, es decir, calles en forma de callejón que en caso de bloqueo puede dificultar a atrasar la evacuación de los habitantes.

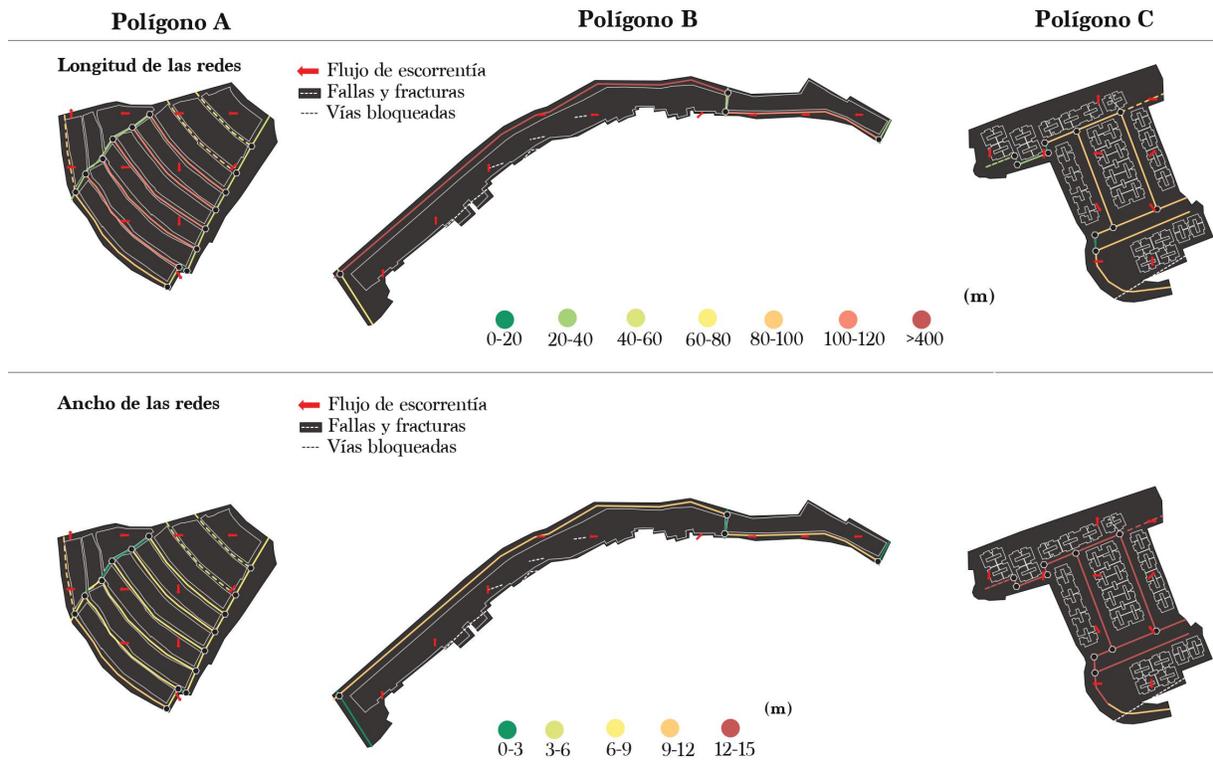


Figura 42. Representación gráfica del tamaño de las redes de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Elaboración propia a partir de imágenes Landsat Copernicus, 2021.

El tamaño de los espacios abiertos, que está en métricas por píxel de 100 m², indica valores dispersos en los tres polígonos. El polígono A, en su mayoría, tiene espacios de entre 100 y 400 m², además de una concentración en el lado oriente de 1,300 m². El polígono B, muestra una variación de tamaños mayores a 100 m² y menores de 2,100 m². El polígono C, cuenta con tres superficies de espacios abiertos menores a 200 m² y dos espacios mayores 1, 200 m². Dentro de la Figura 43, es posible identificar que el tamaño de los espacios abiertos puede tener una fuerte influencia en la absorción de agua de lluvia, así como en el control del flujo de escorrentía. Las flechas en color rojo

que indican la dirección del flujo tienen una mejor distribución en relación con el tamaño de los espacios abiertos del patrón planificado. En cambio, a pesar de que el patrón planificado represente el polígono con espacios abiertos de mayor tamaño, el flujo se ve obstruido por la ubicación y concentración de los mismos.

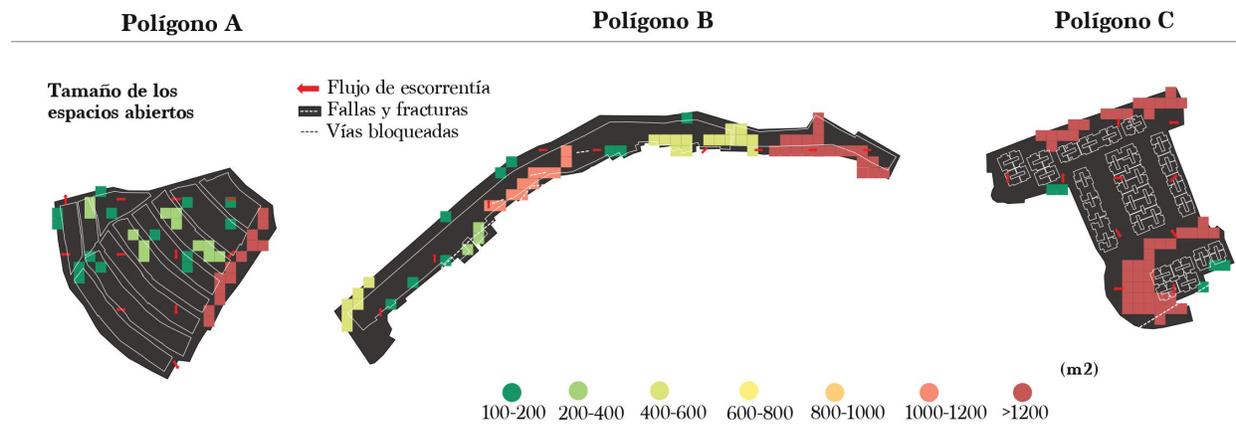


Figura 43. Representación gráfica del tamaño de los espacios abiertos de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Elaboración propia con imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

6.2.3 Distribución

La distribución de los bloques puede ser una condicionante de gran relevancia durante un evento perturbador como conectividad para una capacidad de respuesta. La Figura 44 muestra que en los bloques del polígono A, podrían generarse vías alternas entre polígonos que incrementen su conectividad. También, al ser un atributo positivo en situaciones de desastre, puede contribuir a la integración social de los habitantes y fortalecer su capacidad de autoorganización sobre cómo actuar en situaciones de emergencia. De forma contrastante, el polígono C muestra una carencia de conectividad debido a que la distribución de los bloques se encuentra en un solo sentido que limita la interacción de sus habitantes.

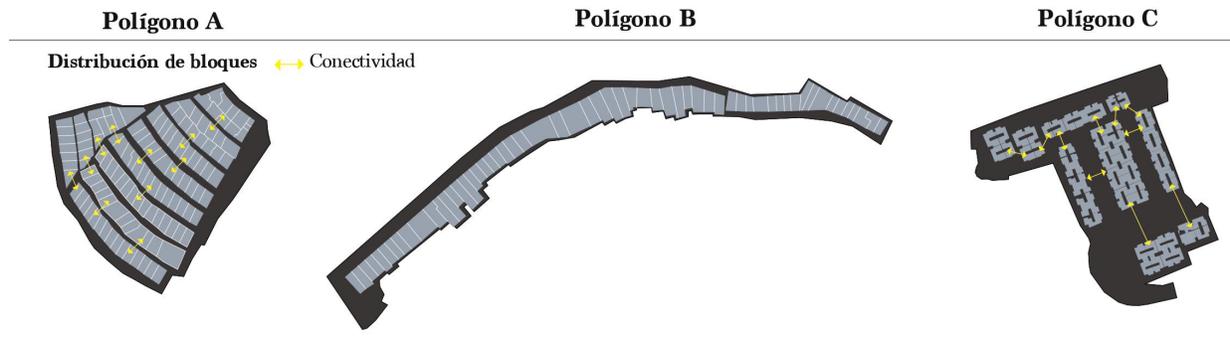


Figura 44. Representación gráfica de la distribución de los bloques de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Elaboración propia a partir de imágenes Landsat Copernicus, 2021.

En la Figura 45 se muestra la representación gráfica de la distribución de los espacios abiertos la cual, se realizó considerando el centro de la integración de recuadros con 12 píxeles. Dentro de esta figura, se indica que el polígono A y B del patrón no-planificado, cuentan con varios puntos de conectividad entre ellos. A pesar de que el polígono A no cuenta con espacios abiertos en sus lados norte y sur, su concentración permite que los bloques puedan también integrarse a la red de conectividad y ser espacios disponibles para un posible refugio.

El polígono B cuenta con dos secciones de espacios abiertos. Sin embargo, es importante considerar que los espacios abiertos este polígono se encuentran próximos al cerro, lo cual indica que existe una probabilidad de que sean obstruidos en eventos de deslizamientos de laderas. En cuanto al polígono C, existe una concentración de espacios abiertos en los extremos norte y sur por lo cual, su nivel de conectividad se considera limitada. Recordando que los polígonos A y B cuentan con mayor exposición al riesgo, se considera que la característica de la distribución de los espacios abiertos en el polígono C no condiciona la seguridad de sus habitantes.

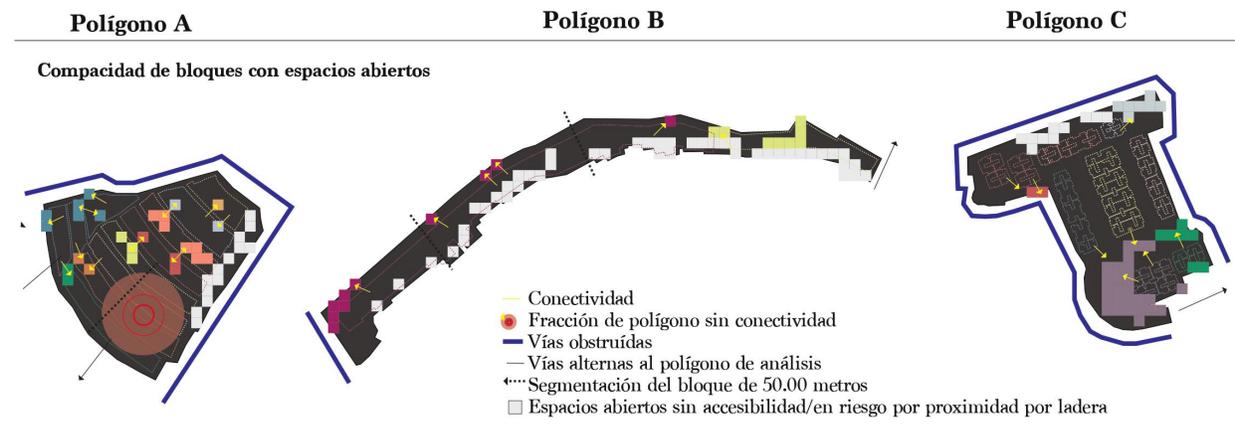


Figura 46. Representación gráfica de la compacidad de los bloques y los espacios abiertos de los polígonos A, B y C del Peñón del Marqués alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Elaboración propia con imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

6.3 Conclusión sobre la configuración de la forma urbana

Dentro de este capítulo se visualizó la importancia de identificar la relación entre los factores de precondicionamiento del riesgo del Peñón del Marqués y la configuración de la forma urbana del patrón planificado y el no-planificado. Se concluye que el patrón no-planificado, tiene una mayor exposición al riesgo debido a que representan los valores más altos en los factores de precondicionamiento del riesgo a comparación del patrón no planificado. Estos resultados son de gran relevancia debido a que los tres polígonos se encuentran ubicados en el mismo sitio. Sin embargo, se destaca que estos factores en combinación con la configuración de su forma urbana condicionan directamente el impacto y el modo de respuesta que pueda tener cada uno en eventos de deslizamientos de laderas e inundaciones.

Este análisis mostró que a pesar de que los polígonos A y B corresponden a un patrón urbano no-planificado, este último polígono es el más vulnerable a sufrir daños debido a la configuración de su forma urbana y sus altos valores de precondicionamiento del riesgo. Como se muestra en la representación gráfica de los atributos de la configuración de la forma urbana, el polígono B, de urbanizó en la falda del cerro. La falta de su previa planificación se articula en bloques y redes de gran tamaño

que limitan considerablemente a los habitantes a un modo de respuesta rápida y efectiva en evacuaciones de emergencia. También es posible identificar que, el hecho de que cuente con espacios abiertos de gran tamaño no genera una buena conectividad entre ellos por su configuración radial y su posible ocupación ante un posible deslizamiento del cerro.

El polígono A cuenta con valores altos en los factores de precondicionamiento del riesgo al igual que el polígono B al ser un patrón no-planificado. Sin embargo, cuenta con mayores posibilidades de acción al tener espacios abiertos y bloques distribuidos en el polígono en donde se percibe un potencial en cuanto a su conectividad. También, se identificó este polígono cuenta con la menor densidad por bloques, es decir, la cantidad de habitantes por bloque. Esto, en combinación con la distribución de los bloques y los espacios abiertos, podría facilitar la movilidad de los habitantes e incrementar su capacidad de respuesta en evacuaciones de emergencia.

La presencia de planificación del polígono C, ha permitido que tenga los valores más bajos en los factores de precondicionamiento del riesgo, lo cual, indica que es el polígono con menor probabilidad de sufrir daños en eventos de desastres. En cuanto a la configuración de su forma urbana, se visualizó que tiene una longitud larga en sus redes y una limitada conectividad en los espacios abiertos. Sin embargo, el ancho de las redes junto con la distribución de los bloques y los espacios abiertos, permitirían el flujo y la evacuación de los habitantes en caso de requerirlo.

Capítulo 7.

Integración del potencial de la forma urbana en la mitigación del riesgo

Dentro de esta investigación se argumenta que la resiliencia de la forma urbana, puede ser una alternativa hacia nuevas aproximaciones de intervención y planificación hacia la mitigación del riesgo. A través de ella, se busca incrementar la habilidad de un sistema de absorber perturbaciones y de autoorganizarse y la capacidad de adaptación en contextos cambiantes. El Peñón del Marqués es un sistema socio-ecológico complejo que requiere de nuevas estrategias que permitan generar conocimientos sobre el modo de respuesta ante el riesgo. Este capítulo integra cuatro diferentes escenarios de posible intervención urbana hacia la mitigación del riesgo y un acercamiento hacia el equilibrio social y ecológico.

7.1 Escenario 1. Incremento de permeabilidad del suelo para favorecer la infiltración del agua

El peligro de inundación dentro de los contextos urbanos está estrechamente relacionado con la infraestructural civil de un sistema de drenaje subterráneo inadecuado o reducido, así como la falta de permeabilidad de la superficie del suelo. En áreas con una alta densidad urbana como es el Peñón del Marqués, la implementación de un sistema de drenaje se percibe de difícil implementación por la demanda de viviendas, el alto costo y el tiempo que representaría. Además, el hecho de que éste sea un sitio de posibles viviendas posiblemente irregulares, es decir, que no están al margen de la regularidad de tenencia o que se hayan regularizado con el paso del tiempo, impide que se lleven a cabo obras de sistemas de drenaje.

Algunos casos de estudio han abordado soluciones alternas a la implementación de drenaje a través de la recolección de agua de lluvia y la implementación de azoteas verdes y la colocación de pavimento permeable (Hu *et al.*, 2018; Alexander *et al.*, 2019;

Lennon et al., 2014). Este último ha demostrado un adecuado desempeño en comparación del resto de soluciones, por lo que ha posicionado del resto de soluciones, como una tecnología eficiente para la gestión de aguas pluviales en la reducción de la velocidad y el flujo de escorrentía. Por ejemplo, Huang *et al.* (2016), mostraron que la implementación de pavimentos permeables en China redujo alrededor del 35% la escorrentía y el 48% el nivel de inundaciones en zonas que eran consideradas de alto riesgo. Además de que este sistema tiene ventajas en el sistema urbano en el control de flujo de lluvia, puede fortalecer el equilibrio de los ecosistemas en zonas que originalmente eran espacios naturales, como es el caso del Peñón del Marqués.

El escenario de incrementar la permeabilidad del suelo para favorecer la infiltración del agua en los polígonos de análisis de esta investigación se plantea debido a que este tipo de pavimento es continuo y tiene la capacidad de distribuir y favorecer una infiltración lenta. La característica de este sistema puede ser de gran utilidad debido a que uno de los mayores factores que inducen a la inestabilidad de las laderas es la sobrecarga de agua al suelo en altas precipitaciones que se direcciona a las fallas y/o fracturas. El criterio de selección de las zonas que pueden ser intervenidas para la liberación del pavimento actual, corresponde a los píxeles de coberturas de suelo urbanizado con pavimento clasificados por SCP. Esto, particularmente en los polígonos A y B, que son los polígonos no-planificados con mayor exposición al riesgo, este tipo de suelo podría propiciar a una infiltración lenta al subsuelo que condiciona la estabilidad de las laderas. En cuanto al polígono C, que corresponde al patrón planificado, podría también generar efectos positivos al ser la zona que mayor ejerce presión al subsuelo por la presión que ejercen las edificaciones.

La Figura 47 muestra la posibilidad de intervención según el criterio establecido. En los polígonos A y B, los píxeles de pavimento permeable están espacialmente distribuidos de tal forma, que podría mejorar la capacidad de infiltración al subsuelo y controlar el flujo de escorrentía. Esto, particularmente podría favorecer en el lado poniente del polígono B al seguir el sentido del flujo. También, se considera que la

liberación del pavimento actual del polígono C podría mejorar el equilibrio del sistema natural al tener píxeles concentrados entre los bloques.

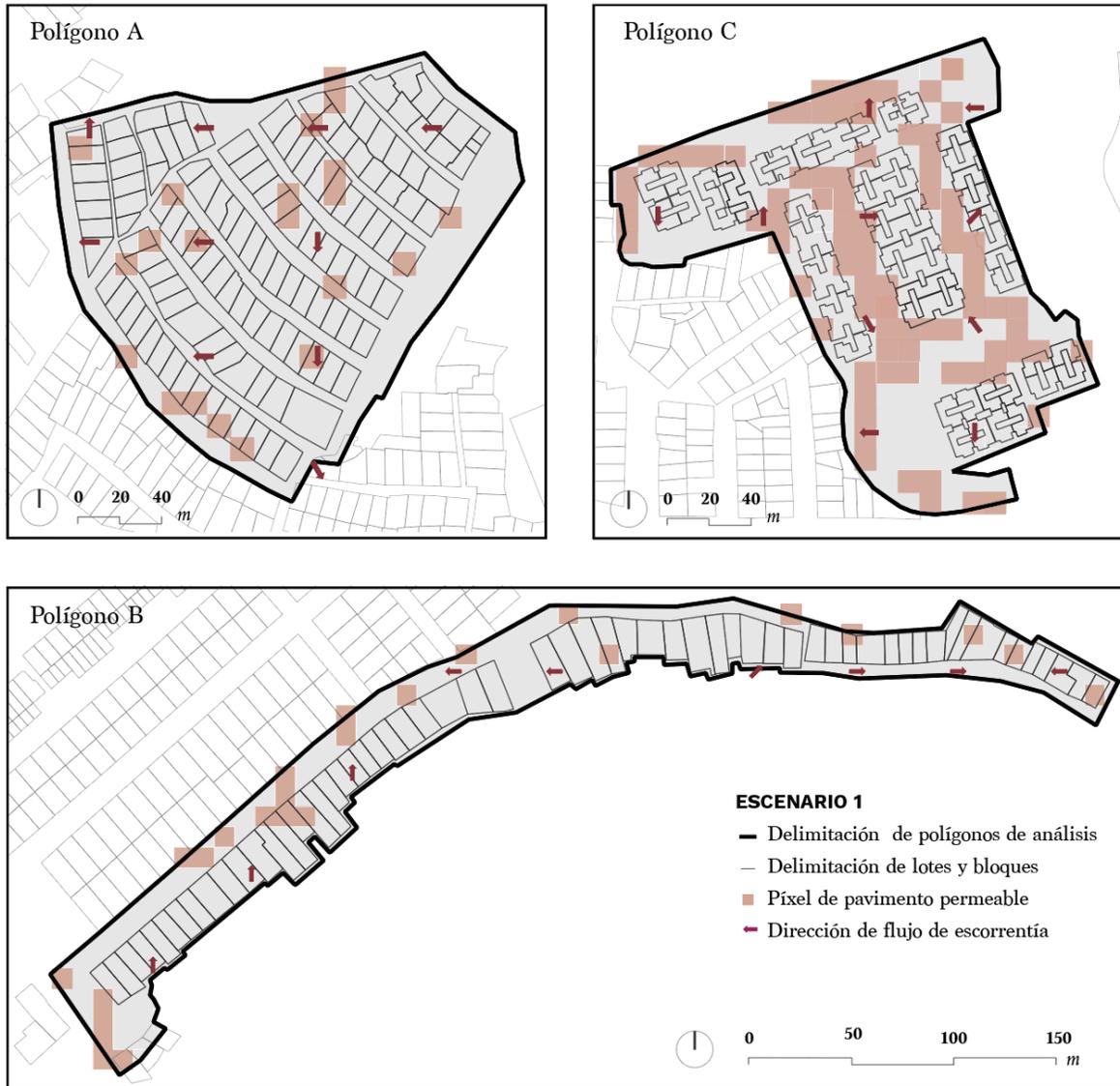


Figura 47. Representación gráfica del escenario 1. Incremento de permeabilidad del suelo del suelo para la infiltración de agua en polígonos A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

7.2 Escenario 2. *Habilitación de redes*

Las redes como elemento de la forma urbana, se han enfocado desde el análisis empírico en el funcionamiento de las ciudades a través de sus atributos de eficiencia, centralidad y compacidad (Sharifi, 2018; Batty, 2013; Koren & Rus, 2019). También, hay autores como Bruwier *et al.* (2018) y Salat (2017) que han abordado modelos computacionales de simulación de diferentes patrones muestran la influencia de la configuración de las mismas a diferentes escalas. A pesar de los avanzados análisis y metodologías, hasta el momento no se ha encontrado algún caso de estudio que involucre la intervención de espacios específicamente para la habilitación de las redes. Dentro del Peñón del Marqués, el escenario que plantea la generación de vías alternas se basó en la revisión de la literatura sobre las configuraciones urbanas que pueden incrementar la resiliencia en situaciones de desastres. Estas vías que se denominan dentro de esta investigación como secundarias, tienen la función interconectarse con las vías principales, es decir, las que se registraron en el estado actual del sitio.

La implementación de las vías secundarias tiene el objetivo de reducir la longitud de los bloques y, con ello, incrementar la modulación como método de respuesta de emergencia. La efectividad que se sugiere se relaciona con una mejor accesibilidad y conectividad de los habitantes a espacios alternos que puedan utilizarse como refugio durante un evento perturbador. Además, incrementar la porosidad entre los bloques, podría favorecer en el direccionamiento del flujo de escorrentía hacia los espacios con un potencial de intervención con pavimento permeable del escenario 1.

La limitación de este escenario se centra en que el único polígono con posibilidad de habilitación de redes corresponde al polígono A debido a la configuración de los bloques. En el polígono B, a pesar de que cuenta con redes mayores a 50 m, su proximidad con el cerro impide que pueda sugerirse para su intervención. En cuanto al polígono C, el ancho amplio de las redes hace que no requiera de implementarse esta estrategia por contar con una buena conectividad entre los bloques. Así, el criterio para la intervención del polígono A, considera la selección de aquellos espacios, que de

acuerdo con la clasificación de suelo urbanizado con pavimento y espacios abiertos con suelo desnudo por SCP como potenciales para su intervención. Estos, deben de cubrir el ancho total del bloque y no estar obstruidos por suelo urbanizado con vivienda.

La Figura 48 representa la posibilidad de implementación del escenario 2 en el polígono A. En ella se releja que, la intervención de tres bloques ubicados en el centro del polígono, pueden generar cinco vías secundarias y con ello favorecer a los bloques colindantes y se verían beneficiados un total de 6 bloques. La reducción del tamaño de los tres bloques con posibilidad de intervención generaría vías de entre 40 y 60 m de longitud y mejoraría considerablemente el flujo de los usuarios en evacuaciones de emergencia.



Figura 48. Representación gráfica del escenario 2. Habilitación de redes del polígono A del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. La figura a) indica los píxeles con posibilidad de intervención, la figura b) la longitud de las redes obtenida a partir de la intervención y la figura c) los bloques se consideraron con beneficio a partir de la intervención. Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

7.3 Escenario 3. Flexibilidad de espacios abiertos en situaciones de emergencia y de recuperación

Los espacios abiertos se consideran como elementos que pueden aumentar la resiliencia del sistema durante un desastre (Koren & Rus, 2019). Diversos hallazgos en investigaciones y casos de estudio documentan que estos espacios brindan beneficios para el sistema urbano, tanto en condiciones normales, como en situaciones de emergencia cuando ocurre un desastre (Sharifi, 2018; Sharifi, 2019). Una de las cualidades sociales que se le atribuye es la provisión de espacios de reunión para el fortalecimiento de las comunidades en la retroalimentación como respuesta adaptativa ante amenazas. También, independientemente del material de cobertura, al ser terreno vacante, proporciona una capacidad adicional de flexibilidad que asegura un espacio alternativo disponible que puede cambiar, evolucionar y adaptarse a un desastre (Sharifi, 2019; Brand, 2016). En términos de recuperación, se ha demostrado en distintos casos de estudio que los espacios abiertos han permitido el rápido establecimiento de las comunidades que han perdido sus viviendas por eventos como sismos e inundaciones (Brand, 2016).

Dentro del contexto del riesgo del Peñón del Marqués, la integración de espacios abiertos busca brindar beneficios en el desempeño de los habitantes durante y después de un evento perturbador. De esta forma, este tercer escenario propone visualizar la potencialidad de los espacios abiertos ya existentes por sus atributos de su configuración en cuanto a su distribución y compacidad. El criterio de selección se basó en la clasificación de espacios abiertos con suelo desnudo y con vegetación baja por SCP. Esto debido a que se consideran espacios que no han sido urbanizados y cuentan con propiedades de alta permeabilidad y de equilibrio en los ecosistemas. Los únicos espacios abiertos con esta clasificación que no se integrarán, son aquellos que están en exposición al riesgo debido a su ubicación (polígono A) y proximidad con el cerro (polígonos B y C).

La Figura 49 muestra que el polígono con mayor superficie de intervención posible es el polígono A debido a la distribución y ubicación de los píxeles disponibles. El polígono B, a pesar de tener un potencial de intervención y fortalecimiento de la capacidad adaptativa de sus habitantes en eventos de desastres, tiene una conectividad limitada a comparación del polígono A. el polígono C cuenta con la menor superficie posible para la implementación de este escenario. Sin embargo, recordando que su planificación lo mantiene con menor exposición al riesgo, su intervención puede contribuir en la cohesión social de los habitantes al tiempo y promover la protección y conservación de espacios naturales.



Figura 49. Representación gráfica del escenario 3. Flexibilidad de espacios en situaciones de emergencia en polígonos A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

7.4 Escenario 4. Intervención de espacios abiertos con vegetación en puntos estratégicos

La gestión sostenible de los ecosistemas tiene el poder de influir en la mitigación del riesgo al ser parte de una infraestructura natural que amortigua los impactos de los peligros, especialmente los hidrometeorológicos. Existe una amplia documentación sobre el papel que juega la vegetación en la reducción de deslizamientos de laderas e inundaciones (Peduzzi, 2010; Ramírez-Herrera & Gaidzik, 2017; Van Westen & Van Asch, 2006). En zonas montañosas, la vegetación puede impedir la erosión del suelo a través del sistema de raíces (Papathoma-Köehle & Glade, 2013). Además, los deslizamientos de laderas que suelen asociarse con fenómenos hidrometeorológicos, involucran aspectos de cambio climático, cambio en la temperatura del suelo y ondas de calor por la alteración de las coberturas naturales (IPCC, 2017). Si bien la reducción de la vegetación del suelo por las actividades humanas se considera un factor de precondicionamiento del riesgo, no todos los contextos son aptos para la implementación de estrategias relacionadas a la reforestación.

La correcta administración de las coberturas naturales requiere de analizar las condiciones morfológicas, geológicas e hidrológicas para determinar qué tanto puede aumentar o reducir el impacto de diferentes eventos de deslizamiento de laderas. Por ejemplo, en algunos sitios, la implementación de la vegetación alta puede actuar como una barrera protectora, sin embargo, en otros sitios, si una pendiente se desplaza la misma vegetación puede aumentar el peligro al sobrecargarla y junto con el peso de la raíz, potenciar la probabilidad de un deslizamiento. Popescu (2012) sugiere que, aunque la vegetación a menudo reduce la ocurrencia de eventos de deslizamiento a través de la reducción de escorrentía agua de lluvia, puede eventualmente tener un efecto contrario y desestabilizar el suelo. A pesar de los efectos negativos, enfatiza que los efectos positivos de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes son los dominantes.

De acuerdo con las características físicas del Peñón del Marqués, no todas las zonas se consideran aptas para proponer un plan de reforestación. Para poder abordar el escenario de intervención de espacios abiertos con vegetación en puntos estratégicos

de los polígonos de análisis, se consideró únicamente la clasificación de espacios abiertos con vegetación media por SCP. Esto, debido a que son espacios que cuentan con atributos naturales que requieren de conservarse para el equilibrio de los ecosistemas y la mitigación del riesgo. Dentro de este escenario, el polígono A cuenta únicamente con dos píxeles de vegetación media en los bloques. El hecho de este polígono se encuentre ubicado en la ladera del cerro, impide que se los píxeles ubicados en el lado oriente, se consideren factibles para una posible intervención de vegetación alta. Por ello, únicamente se considera la implementación de vegetación media con la finalidad de mejorar la estabilidad de la ladera.

La Figura 50 muestra que, a diferencia del polígono A, el polígono B está ubicado en las faldas del cerro y, por ello, cuenta con un mayor número de píxeles de vegetación media. Este escenario, plantea que estos píxeles pueden fungir como puntos estratégicos dentro de los cuales, podría implementarse una vegetación de media a alta a excepción de las zonas que presentan fracturas. El criterio considerado como refiere la literatura, que la implementación de esta intervención podría generar una barrera de protección a las viviendas en exposición a eventos de deslizamiento de laderas. Por la ubicación del polígono C, la implementación de vegetación media y alta no afectaría la estabilidad del terreno. Sin embargo, sí puede generar efectos positivos en el equilibrio de los ecosistemas, regulación de la temperatura y recuperación de las propiedades naturales antes de su intervención.



Figura 50. Representación gráfica del escenario 4. Intervención de espacios abiertos con vegetación en puntos estratégicos en polígonos A, B y C del Peñón del Marqués, alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Proyección UTM. Datum WGS 84 EPSG: 32614. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2A con fecha del 25 de julio del 2021.

7.5 Consideraciones para la restricción del desarrollo urbano

Si bien esta investigación no busca profundizar en la implementación de políticas públicas ni normativas en torno a la planeación territorial, es importante extender la recomendación, a partir de los escenarios propuestos. Esto, con la finalidad de ampliar

una visión de protección, vigilancia y administración de todos aquellos espacios que puedan tener un uso potencial para la mitigación del riesgo por inundaciones y deslizamiento de laderas, así como favorecer la conservación de los ecosistemas desde la participación de las instancias y entidades públicas. Es de destacar, que Peñón del Marqués cuenta con un uso de suelo de AV (Áreas Verdes) y H (Habitacional). El cambio de uso de suelo a través del tiempo ha permitido su crecimiento urbano y, en algunas zonas, su regularización sin considerar el factor de riesgo. A pesar de que sea debatible la posibilidad de cualquier tipo de intervención en zonas irregulares por falta permisos adecuados del uso de la tierra, es necesario considerar nuevas estrategias que aborden nuevas medidas para la mitigación del riesgo.

Las consideraciones que se sugieren dentro de esta sección sugieren el establecimiento de una normativa que considere los aspectos relacionados al artículo 57, sección III de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Este documento, da sustento a la normativa que regule los aspectos técnicos y de gestión de los ecosistemas y de los recursos naturales además de la organización de las comunidades locales y la articulación de los intereses relevantes en favor del desarrollo sostenible (Carmona, 2003). Asimismo, se expresa que cualquier elemento urbano adicional al sitio, puede afectar la estabilidad del terreno en la zona de estudio. Por ello, se recomiendan alternativas relacionadas a una posible regeneración de un entorno natural que limiten la construcción de muros de contención.

7.6 Conclusiones de la integración de espacios potenciales para la mitigación del riesgo

El abordaje de cuatro posibles escenarios como oportunidad de mitigación del riesgo, hizo visible que cada contexto requiere de analizarse de acuerdo con sus características particulares. La posibilidad de intervención de los polígonos varía en gran medida por la configuración tanto de los elementos de la forma urbana como de su ubicación. El polígono A, cuenta con posibilidades de acción con relación al incremento de permeabilidad del suelo, flexibilidad de espacios en situaciones de emergencia y,

sobre todo, en una nueva articulación a través de vías secundarias. Sin embargo, se considera limitado en la implementación de vegetación en puntos estratégicos. El polígono B, se considera limitado para su intervención al contar con poca superficie con posibilidad de pavimentación permeable y flexibilidad de espacios en situaciones de emergencia e imposibilidad de generar vías secundarias. El escenario potencial que se considera potencial al impacto del riesgo corresponde a la implementación de vegetación en puntos estratégicos. El polígono C, que corresponde a un patrón planificado y con menor exposición al riesgo considera, como potenciales, los escenarios de permeabilidad del suelo e implementación de vegetación en puntos estratégicos. Se destaca que estos escenarios, se sugiere para la mitigación del riesgo al tiempo que visualiza la necesidad de prestar atención en la relación del ser humano dentro de un entorno natural.

Capítulo 8.

Discusión, perspectivas y conclusiones

Esta investigación surgió de la inquietud de identificar la influencia de la configuración de los elementos y la configuración de la forma urbana dentro de un contexto que, de acuerdo con sus características geológicas está condicionado al riesgo. Se destaca que la lectura de los patrones urbanos planificados y no-planificados, involucra diversos aspectos espaciales que merecen ser vistos más que clasificarlos por la presencia o ausencia de tenencia. El Peñón del Marqués que originalmente era un sitio natural, ha sido alterado por las actividades humanas por ambos patrones urbanos. Sin embargo, el patrón no-planificado representa una vulnerabilidad considerablemente mayor al patrón planificado a pesar de estar ubicados dentro de un mismo sitio. La complejidad del riesgo de este sitio involucra aspectos ambientales, sociales y económicos que han dificultado el abordaje de estrategias de mitigación.

A medida que la de mitigación del riesgo se ha hecho más evidente entre los tomadores de decisiones para la formulación de estrategias más sostenibles, se muestran cuatro diferentes escenarios que buscan la integración de un sistema socio-ecológico. Por ello, el abordaje de los cuatro escenarios que integra esta investigación busca un primer acercamiento a posibles acciones de intervención urbana que permitan además de mitigar el riesgo, involucrar a los propios habitantes. Esto permitiría un intercambio de información y experiencias para mejorar la capacidad adaptativa ante eventos perturbadores.

Con esta investigación, se concluye que el riesgo es una problemática con impactos sociales y ambientales por la creciente urbanización de las grandes ciudades. El crecimiento demográfico y los procesos, formas de urbanización y las tendencias de ocupación del territorio son aspectos de gran importancia en el nivel de exposición al riesgo y los daños que generan los desastres naturales. También se resalta que, los patrones planificados y no-planificados pueden diferir en el nivel de exposición al riesgo

a pesar de estar ubicados en un mismo sitio. Sin embargo, comparten la ausencia de normativa y control territorial que restrinja la urbanización en sitios geológicamente inestables para frenar la vulnerabilidad de los asentamientos ante una amplia gama de peligros naturales.

A manera de síntesis y como resultado de la realización de esta investigación, se presentan las siguientes conclusiones:

8.1 Riesgo

De acuerdo con la revisión del riesgo por inundaciones y deslizamientos de laderas de fuentes oficiales, se identificó una carencia de datos en cuanto a modelos e inventarios que permitieran conocer la forma y la magnitud de los eventos. A pesar de que tanto la academia como el sector gubernamental han contribuido en la generación de información, no se ha podido identificar la similitud o la diferencia en los eventos que han ocurrido. Dentro de esta investigación, la generación del modelo de flujo de escorrentía reflejó resultados muy diferentes a la información disponible sobre el registro de inundaciones. El análisis de la cartografía con un SIG muestra el peligro de inundaciones únicamente por niveles y reflejan resultados de una posible medición con una resolución mucho más grande de la que se utilizó. Los datos actuales, indican que las precipitaciones son un factor que induce e incrementa el riesgo por deslizamiento de laderas. Sin embargo, uno de los espacios en blancos en los que falta profundizar, es el cambio climático que puede generar el incremento de sequías y de temperatura.

La recomendación en futuras investigaciones es la integración del abordaje del cambio climático como variable para aumentar el conocimiento sobre el posible incremento de riesgo que conlleva. También, en cuanto a los eventos de deslizamientos de laderas, se recomienda hacer estudios de la caracterización geomecánica del terreno que consideren pruebas específicas por ejemplo, la determinación de la resistencia, contenido de agua y plasticidad de los suelos presentes. Los casos de estudio revisados

en diferentes regiones resaltan la importancia de generar inventarios que permitan conocer cómo se desencadenan los eventos perturbadores.

En esta investigación se resalta que el riesgo requiere abordarse además de desde un enfoque técnico como actualmente se hace, a partir de un enfoque holístico que considere la interacción de los seres humanos y el entorno natural. El Peñón del Marqués se expone como un estudio de caso con escasa información sobre la temporalidad y magnitud de los eventos a pesar del riesgo alto que tiene diagnosticado (Atlas, 2011). La falta de normativa del uso de suelo del sitio es el factor principal que desencadena el riesgo. Las Áreas Verdes en contextos urbanos con la irregularidad de las viviendas por falta de permisos de tenencia, no debe pasarse desapercibida cuando existen pérdidas de espacios naturales y pérdidas de vida. El Peñón del Marqués, se muestra como ejemplo de la necesidad urgente de abordar los sitios que originalmente eran espacios naturales a través de la sostenibilidad. A pesar de que no sea posible generar acciones de restauración total del sitio, recuperar los espacios naturales sobre lo que ha sido alterado por el ser humano, puede ser un método efectivo de mitigación del riesgo.

8.2 Forma urbana

Este estudio de caso partió de la necesidad de plantear que la urbanización no-planificada no es como generalmente se conoce, es el único patrón que se expande en zonas que no son aptas para habitar. Los patrones planificados que también están presentes en la zona de estudio son espacios con una alta densidad y que representan un sector con mayor capital e incluso, con intereses por parte de desarrolladores con la posibilidad de intervenir espacios naturales con una aparente regularidad. De esta forma, se vuelve un foco de atención para futuras investigaciones sobre la transferencia de riesgo que este patrón se pueda generar sobre un patrón no-planificado y su impacto ambiental.

Los escenarios que se proponen en esta investigación muestran que cada contexto requiere de abordar sus características particulares y con diferentes metodologías.

Sharifi (2019), es uno de los principales autores que han abordado los elementos de la forma urbana para el incremento de resiliencia. Sin embargo, los resultados de las variables de los elementos que el autor aborda necesitaron una diferente interpretación para poderlas vincular al riesgo, es decir, a través de su configuración. Dentro de esta investigación, el análisis de las diferencias que pueden tener el patrón planificado y el no-planificado permitió visualizar que el patrón planificado, parece tener una densidad, conectividad y cantidad de espacios abiertos mejor que el patrón no-planificado. Sin embargo, la densidad se considera mucho mayor que en el patrón no-planificado, que incluso la literatura la ha referido como una de las principales diferencias entre estos dos patrones. También, la conectividad obstruida y la falta de vegetación diseñada y no adaptada del cerro de estudio, muestra que no representa del todo una planificación correcta.

Una de las principales limitaciones del análisis de la forma urbana fue la inaccesibilidad al sitio por motivos de delincuencia y pandemia. El procesamiento de datos Sentinel y LiDAR permitió la construcción de datos y conocimiento del sitio de manera precisa y rápida. A pesar de que en muchas investigaciones la resolución de 10 m de las imágenes satelitales, puede considerarse de una resolución demasiado alta, para el análisis del Peñón del Marqués no fue suficiente y dificultó la medición precisa de los espacios abiertos. Para futuras investigaciones, se recomienda además de generar datos con una menor resolución, hacer una corroboración de las características físicas in situ y ampliar una investigación cualitativa por encuestas a los mismos habitantes y hacer una corroboración de campo en la zona de estudio.

Los escenarios que integra esta investigación son un primer acercamiento de posibles acciones para la mitigación del riesgo que consideran únicamente intervenciones urbanas. Al ser una aproximación a lo que refieren varios autores en diferentes contextos, requieren de un diagnóstico en el sitio, así como el involucramiento de los propios habitantes. Con el intercambio de información y experiencias, la forma urbana puede cobrar sentido como parte del reconocimiento de un sistema socio-ecológico.

Referencias

Aguilar, J.R. (2014) *Resilient Cities: An analysis of resilient urban forms*. Georgia Institute of Technology.

Ahern, J. (2011) From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new world. *Landscape and Urban Planning*, 100(4), 341-343. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.

Alcántara, A.I. (2000) Landslides: ¿Deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 41. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n41/n41a2.pdf>. Consultado el 30 de enero del 2022.

Alcántara-Ayala, I. (2002) Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47(2-4); 107-124. DOI: 10.1016/s0169-555x(02)0008.

Cardona, O.D. (2001) *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña.

Allan, P., Bryant, M., Wirsching, C., Caría, D. & Rodríguez, M.T. (2013) The Influence of Urban Morphology on the Resilience of Cities Following an *Earthquake*, *Journal of Urban Design*, 18(2); 242-264. DOI: 10.1080/13574809.2013.772881.

Alexander, K., Hettiarachchi, Y. O. & Sharma, A. (2019) Can integrated spaces and storage facilities absorb the increased risk of flooding due to climatic change in developed urban environments? *Journal of Hydrology*, 124201. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.124.

Allan, P., Bryant, M. and Wirsching, C. (2013) The Influence of Urban Morphology on the Resilience of Cities Following an Earthquake. *Journal of Urban Design*, 8 (2); 242-262. DOI: 10.1080/13574809.2013.772881.

Allan, P. and Bryant, M. (2011) Resilience as a framework for urbanism and recovery. *Journal of Landscape Architecture*, 6 (2): 34-45. DOI: 10.1080/18626033.2011.9723.

Allan, P., and Bryant M. (2010) The Critical Role of Open Space on Earthquake Recovery: A Case Study. In Proceedings of the 2010 NZSEE Conference, Wellington, New Zealand, 26-28 March, 2010.

Aristegui Noticias (2016) Se desgajó el Peñón Viejo en Iztapalapa; no hay lesionados. <https://aristeguinoticias.com/1611/mexico/se-desgajo-el-penon-viejo-en-iztapalapa-no-hay-lesionados-fotos/>. Consultado el 28 de octubre del 2021.

Atlas de Riesgos (2019) <https://www.atlas.cdmx.gob.mx/pdf/LEARA.pdf>. Consultado el 10 de marzo del 2022.

Bell, R. & Glade, T. (2003) Quantitative risk analysis for landslides-Examples from BÍldudalur, NW-Iceland. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4(1), 117-131. DOI: 10.5194/nhess-4-117-2004.

Berkes, F., Colding, J. & Fole, C. (2003) *Navigating social-ecological systems: Management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge: Cambridge University Press.

Birkmann, J. (2006). Indicators and criteria for measuring vulnerability: theoretical bases and requirements. In J. Birkmann (Ed.), *Measuring vulnerability to natural disasters* (pp. 55e77). United Nations University Press.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. & Wisner, B. (2003) *At Risk. Natural Hazards, people's vulnerability and disasters*. DOI: 10.4324/9780203428764.

Bruwier, M., Mustafa, A., Aliaga D.C., Archambeau, P., Ercicum, S., Nishida, G., Zhang, X., Piroton, J and Dewals, B. (2018) Influence of urban pattern on inundation flow in floodplains of lowland rivers. *Science of the Total Environment*: 446-458. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.325.

Buayhut, S.& Mittal, J. (2017) Using Land Readjustment in Rebuilding the Earthquake-Damaged City of Bhul, India. *Journal of Urban Planning and Development*, 143 (1), 0501612. DOI: 10.1061/(asce)up.1943-5444.0000354.

Budimir, M.E.A., Aktinson, P.M. & Lewis, H.G. (2014) Earthquake events are associated with more fatalities than earthquakes alone. *Natural Hazards*, 72(2); 895-914. DOI: DOI: 10.1007/s11069-014-1044-4.

Cardinali, M., Galli, M., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Reichenbach, P. & Bartoccini, P. (2006) Rainfall induced landslides in December 2004 in south-western Umbria, central Italy: types, extent, damage and risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6; 237-260. DOI: 10.5194/nhess-6-237-2006.

Cardona, O.D (2001) Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de ingeniería. <https://www.researchgate.net/publication/277163871>.

Carreón-Freyre, D.C., Cerca, M., Gutiérrez Calderón, R. & Huerta Ladrón de Guevara, M. (2010) Monitoring of land subsidence and fracturing in Iztapalapa, Mexico City. *Land Subsidence, Associated Hazards and the Role of Natural Resources Development*

(Proceedings of EISOLS 2010, IAHS Publ. 339. <https://www.researchgate.net/publication/281978254> Monitoring of land subsidence and fracturing in Iztapalapa Mexico City. Consultado el 21 de mayo del 2022.

Carreón-Freyre, D.C., González-Hernández, M., Martínez-Alfaro, D., Solís-Valdéz, S., Vega-González, M., Cerca, M., Millán-Malo, B., Gutiérrez-Calderón, R. & Centeno-Salas, F. (2015) Analysis of the variation of the compressibility index (Cc) of volcanic clays and its application to estimate subsidence in lacustrine areas. *Open Access PIAHS* 372, 273-279. DOI: 10.5194/piahs-372-273-2015.

Cavan, G., Lindley, S., Jalayer, F., Yeshitela, K., Pauleit, S., Renner, F., Gill, S., Capuano, P., Nebebe, A., Woldegerima, T., Kibassa, D. and Shedmoe, R. (2014) Urban Morphological determinants of temperature regulating ecosystem services in two African cities. *Ecological Indicators* 42: 43-57. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.01.025. Consultado el 29 de septiembre del 2021.

Cavan, G., Lindley, S., Yeshitela, K., Nebebe, A., Woldegerima, T., Shemdoe, R., Kibassa, D., Pauleit, S., Renner, R., Printz, A., Bucjta, K., Coly, A., Sall, F., Ndour, N.M., Ouédraogo, Y., Samari, B.S., Sankara, B.T., Feumba, R.D., Ngapgue, J.N., Ngoumo, M.T., Tsalefac, M. and Tonye, E. (2012) Green infrastructure maps for selected case studies and a report with an urban green infrastructure mapping methodology adapted to Africa Cities, CLUVA. Available at http://www.cluva.eu/deliverables/CLUVA_D2.7.pdf.

CDMX en Riesgo. Desastres naturales y resiliencia (2020) México Previene A.C.

CENAPRED *Centro Nacional de Prevención de Desastres* (2017). Inundaciones. <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF>. Consultado el 30 de enero del 2022.

CENAPRED *Centro Nacional de Prevención de Desastres* (2019). ¿Vulnerabilidad o susceptibilidad a laderas? <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/vulnerabilidad-o-susceptibilidad-a-la-inestabilidad-de-laderas>. Consultado el 30 de enero del 2022.

CENAPRED *Centro Nacional de Prevención de Desastres* (2021). Inestabilidad de laderas. <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/7-FASCICULOINESTABILIDADDELADERAS.PDF>. Consultado el 30 de enero del 2022.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), 2014.

Cerca, M., Carreón-Freyre, D.C. & Gutiérrez, R. (2010) Instability of the urbanized flank of El Peñón del Marques volcanic edifice and its relation to land subsidence in Mexico City. *Land Subsidence, Associated Hazards and the Role of Natural Resources Development* IAHS Publ. 339. <https://www.researchgate.net/publication/289062465> Instability of the urbanized flank of El Penon del Marques volcanic edifice and its relation to land subsidence in Mexico City. Consultado el 21 de mayo del 2022.

Clark W.C., Jager, J., Corell, R., Kasperson, R., McCarthy J.J., Cash, D., Cohen S.J., Dickson, N., Epstein, P., Gutson, D.H., Jaeger, C., Leary, N., Levy, M.A., Luers, A., McCracken, M., Melillo, J., Moss, R., Parson, E.A., Ribot, J.C., Schellnhuber, H., Seielstad, G.A., Shea, E., Vogel, C. and Wilbanks, T. J. (2000) Assessing vulnerability to global environmental risks. Research and Assessment Systems for Sustainability Project. Environmental and Natural Resources Program. Available at: <https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/Assessing%20Vulnerability%20to%20Global%20Environmental%20Risks%202000.pdf>.

Clark, W.C. & Dickson, N. (2003) *Sustainability science: the emerging research program*. Proceedings of the National Academy of Sciences 100(14) (June:6): 8059-8061. DOI: 10.1073/pnas.1231333100. <http://dx.doi.org/1073/pnas.1231333100>.

Crozier, M.J. & Glade, T. (2012) Landslide Hazard and Risk: Issues Concepts and Approach. *Landslide Hazard and Risk*, pp. 1-40. DOI: 10.1002/9780470012659.ch1.

Cutter, S.L., Boruff, B.J. and Shirley, W.L. (2003) Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly* 84 (2): 242-261. DOI: 10.1111/1540-6237.8402002.

Cutter, S.L., Mitchel, J.T. and Scott, M.S. (2000) Revealing the vulnerability of People and Places: A case of study of Georgetown Country, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers* 90(4): 713-737. DOI: 10.1111/0004-5608.00219.

Cutter, S.L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E. and Webb, J. (2008) A placed-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change* 18 (4): 598-606. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013.

De la Barrera, F., Reyes Paecke, S. and Banzhaf, E. (2015) Indicators for green spaces in contrasting urban settings. *Geological Indicators* 62: 212-219. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.10.027.

Delgadillo, V. (2016) Ciudades iletradas: orden urbano y asentamientos populares irregulares en la Ciudad de México. *Territorios*, 35: 81-99. DOI: 10.12804/territ35.2016.04.

Dempsey, N., Brown, C., Raman, S., Porta, S., Jenks, M., Jones, C., & Bramley, G. (2010). *Elements of urban form. Dimensions of the sustainable city* (pp. 21–51). Springer.

Dionisio, M. Candeia de Souza, M.C. and Ota, H. (2010) The Importance of Public Space for Sustainable Urban Rehabilitation. *The International Journal of the Constructed Environment* (4): 39-50. DOI: 10.18848/2154-8587/CGP/v01i04/37500.

Douglas, J. (2007) Physical Vulnerability modelling in natural hazard risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Science* 7 (2): 283-288. DOI: 10.5194/nhess-7-283-2007.

ECLAC, Economic Commission for Latin America and the Caribbean. (2014). Handbook for disaster assessment. United Nations. Chile. <https://www.cepal.org/en/publications/36823-handbook-disaster-assessment>.

Eidsvig, U. M. K., McLean, A., Vangelsten, B. V., Kalsnes, B., Ciurean, R. L., Argyroudis, S., Winter, M. G., Mavrouli, O. C., Fotopoulou, S., Pitilakis, K., Baills, A., Malet, J.P. & Kaiser, G.: Assessment of socioeconomic vulnerability to landslides using an indicator based approach: methodology and case studies, *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 73(2): 307-324. DOI: 10.1007/s10064-014-0571-2, 2014.

El Universal (2019) <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/cdmx/iztapalapa-alcaldia-con-mas-puntos-de-riesgo-de-padecer-inundaciones>. Consultado el 12 de julio del 2021.

Estrategia de Resiliencia. Transformación adaptativa, incluyente y equitativa (2016) Ciudad de México. SEDEMA. México.

Feliciotti, A., Romice, O. and Porta, S. (2017) Design for change: Five proxies for resilience in the urban form. *Open House International*, 41 (4): 23-30. DOI: 10.1108/OHI-04-2016-B0004.

Flütcher, W. (2003) Tokyo before the next earthquake: Agglomeration-related risks, town planning and disaster prevention. *Town Planning Review*, 74 (2): 213-238. DOI: 10.3828/tpr.74.2.4.

Fuchs, S. (2009) Susceptibility versus Resilience to Mountain Hazards in Austria – Paradigms of Vulnerability Revisited. *Natural Hazards and Earth System Science* 9: 337–352. DOI: 10.5194/nhess-9-337-2009.

Gaidzik, K., Ramírez-Herrera, M.T., Bunn, M., Leshchinky, B.A., Olsen, M. & Regmi, N.R. (2017) 'Landslide manual and automated inventories, and susceptibility mapping using LiDAR in the forested mountains of Guerrero, Mexico.' *Geomatics, Natural Hazards and Risk* vol.8 no.2, pp. 1054-1079. DOI: 10.1080/19475705.2017.1292560.

Gallina, V., Torresan, S., Critoo, A., Sperorro, A., Glade, T. & Marcomini, A. (2016) A review of multi-risk methodologies for natural hazards: Consequences and challenges for a climate change impact assessment. *Journal of Environmental Management*, 168: 123-132. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.011>.

Geis, D. E. (2000). By Design: The Disaster Resistant and Quality-of-Life Community. *Natural Hazards Review*, 1(3); 151–160. DOI: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2000) 1:3 (151)

Gill, S.E., Handley, J.F., Ennos, A.R. and Pauleit, S. (2007) Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built Environment* 33 (1): 115–133. DOI: 10.2148/benv.33.1.115.

Godschalk, D. R. (2003). Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities. *Natural Hazards Review*, 4(3); 136–143. DOI: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(136).

Guillard-Gonçalves, C. (2016) *Vulnerability Assessment and Landslide Risk Assessment. Application to the Loures Municipality, Portugal*. DOI: 10.13140/RG.2.1.3309.4648. <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/28121?locale=en>. Consultado el 14 de mayo del 2022.

Guzzetti, F., Stark, C. & Salvati, P. (2005) Evaluation of Flood and Landslide Risk to the Population of Italy. *Environmental Management*, 36(1): 15-36. DOI: 10.1007/s00267-003-0257-1.

Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M. & Stark, C.P. (2007) Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 98 (3-4); 239-267. DOI 10.1007/s00703-007-0262-7.

Hermelín, M. (1991) Geología, Prevención de desastres y Planeación física y Anotaciones sobre el Actual Concepto del Impacto Ambiental en Colombia. Report AGID No. 16. Environment Geology and Applied Geomorphology in Colombia.

Hinojosa, M. (2012) Comportamiento del suelo en la zona próxima al cerro del marques y sus efectos en obras de infraestructura. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. <https://tesis.ipn.mx/jspui/handle/123456789/9478>.

Horwood, C. (2007) *Tomorrow's Crises Today -The humanitarian impact of urbanization*, Malta. Ishikawa, M. (2002) Landscape planning for a safe city. *Annals of Geophysics*, 45(6): 833-841. DOI: 10.4401/ag-3544.

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016) Inventario Nacional de Viviendas 2016. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/INV/Default.aspx?II=18.732035,-99.06368499999996&z=10>. Consultado el 9 de enero del 2022.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2020) The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: a summary of cross-Working Group Discussions. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/02/Risk-guidance-FINAL_15Feb2021.pdf. Consultado el 30 de enero del 2022.

Jacobs, J. (1961) *The death and life of great American cities*. New York. Vintage Books.

Kates, R.W. (1971) Natural Hazard in Human Ecological Perspective: Hypotheses and Models. *Economic Geography*, 47 (3): 438-451.

Kates, R.W., Clark, W.C., Corell, R., Hall, M.J., Jaeger, C.C., Lowe, I., McCarthy, J.J., Schellnhuber, H.J., Bolin, B., Dickson, S.F., Gallopin, G.C., Gruber, A., Huntley, B., Jager, J., Jodha, N.S., Kasperson, R.E., Maboginje, A., Matson, P., Mooney, H. & Moore, B. (2001) Sustainability Scienc. Science, New Series, Vol. 292, No. 5517, 641-642. <http://www.jstor.org/stable/3083523>.

Kappes, M.S., Papathoma-Köhle, M. & Keiler, M. (2012) Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology. *Applied Geography*, 32(2): 577-590. DOI: 10.1016/j.apgeog.2011.07.002.

Khanani, R.S. (2019) The impact of the road infrastructure project on socio-spatial interaction and quality of life of planned and unplanned fragments in Kimusu City. <http://essay.utwente.nl/83780/>. Consultado l 14 de mayo del 2022.

Kombe, W.J., Land use dynamics in peri-urban areas and their implications on the urban growth and form: The case of Dar es Salaam, Tanzania. *Habitat International* 29 (1): 113-135. DOI: 10.1016/S0197-3975(03)00076-6.

Koren, D., and Rus, K. (2019) The potential of Open Space for Enhancing Urban Seismic Resilience: A literature Review. *Sustainability* 11, 5942. DOI: 10.3390/su11215942.

Kuffer, M. and Barros, J. (2011) urban Morphology of Unplanned Settlements: The Use of Spatial Metrics in VHR Remotely Sensed Images. *Procedia Environmental Sciences* 7: 152-157. DOI: 10.1016/j.proenv.2011.07.027.

Kundzewicz, Z.W., Kanae, S., Senevirate, D.I., Handmer, K., Nicholls, N., Peduzzi, P. & Sherstyukov, B. (2013) Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1): 1-28. DOI: 10.1080/02626667.2013.857411.

La Jornada (2007) El conjunto fue construido sobre una falla geológica. <https://www.jornada.com.mx/2003/02/07/044n1cap.php?printver=1>. Consultado el 28 de octubre del 2021.

La Jornada (2010) Iztapalapa no tendrá recursos del Fonden pese a declaratoria de emergencia: Brugada. <https://www.jornada.com.mx/2010/03/19/capital/038n1cap>. Consultado el 28 de octubre del 2021.

La Jornada (2014) Ubican en Iztapalapa 22 focos rojos de inundación. <https://www.jornada.com.mx/2014/07/28/capital/036n2cap>. Consultado el 28 de octubre del 2021.

Lennon, M., Scott, M. & O'Neill, E. (2014) Urban Design and Adapting to Flood Risk: The Role of Green Infrastructure. *Journal of Urban Design*, 19:5, 745-748. DOI: 10.1080/13574809.2014.944113.

Leshchinsky, B.A., Olsen, M.J. & Tanyu, B.F. (2015) Countour Connection Method for automated identification and classification od landslide deposits. *Computers & Geosciences*, 74-27-38. DOI: 10.1016/j.cageo.2014.10.007.

León, J. and March, A. (2015) An urban form response to disaster vulnerability: Improving tsunami evacuation in Iquique, Chile. *Environment and Planning B: Planning and Design*; 1-22. DOI: 10.1177/0265813515597229.

Mazereeuw, M. (2015) In conversation with Miho Mazereeuw. *Journal of Landscape Architecture* 10 (1): 36-37. DOI: 10.1080/18626033.2015.1011440.

McAllister, T. P. (2016) Community Resilience: The Role of the Built Environment. *Multi-hazard Approaches to Civil Infrastructure Engineering*, 533-548. DOI: 10.1007/978-3-319-29713-2_24.

McLaughlin, P. and Dietz T. (2008) Structure, agency and environment: Toward anintegrated perspective on vulnerability. *Global Environmental Change* 18: 99-111. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2007.05.003.

Medina, V., Hürlimann, M., Guo, Z., Lloret, A., & Vaunat, J. (2021). Fast physically-based model for rainfall-induced landslide susceptibility assessment at regional scale. *CATENA*, 201, 105213. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105213.

Miller, T.R. (2012) Constructing sustainability science: emerging perspectives and research trajectories. *Sustainability Science*, 8(2), 279-293. DOI: 10.1007/s11625-012-0180-6.

Mitchell, J. (2004) Re-conceiving Recovery. In S. Norman. *New Zealand Recovery Symposium 2004 Napier*. Wellington, Ministry of Civil Defense and Emergency Management: 47-68.

Myint, S.W., Yuan, M., Cervený, R.S. & Giri, C. (2008) Categorizing natural disaster damage assessment using satellite-based geospatial techniques. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8(4), 707-719. DOI: 10.5195/nhess-8-707-2008.

Noticieros Televisa (2017) Cerro del Peñón Viejo se desgaja. <https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/cerro-penon-viejo-iztapalapa-se-desgaja/>. Consultado el 28 de octubre del 2021.

ONU Organización de las Naciones Unidas (2005) *Informe de la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres*. Kobe, Hyogo, (Japón), 18 a 22 de enero de 2005. https://www.unisdr.org/files/1037_finalreportwcdspanish1.pdf. Consultado el 01 de enero del 2022.

PAOT (2005) Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. Expediente: PAOT-2004-366-SOT-175.

https://paot.org.mx/sasd02/ficheros/acuerdos/ac_pub/2058_RESOLUCION-SOT-175.pdf. Consultado el 28 de marzo del 2022.

Papathöma-Khole, M., Dominey-Howes, D., Zong, Y. & Smith, D. (2003) Assessing tsunami vulnerability, an example from Herakleio, Crete. *Natural Hazards and Earth System Science*, 3(5): 377-389. DOI: 10.5194/nhess-3-377-2003.

Papathöma-Khole, M. and Glade T. (2013) *The role of vegetation cover change in landslide hazard and risk*. The role of ecosystems in disaster risk reduction. United Nations University.

Papathöma-Khole, M., Neuhäuser, B., Ratzinger, K., Wenzel, H. & Dominey-Howes, D. (2007) Elements at risk as a framework for assessing the vulnerability of communities to landslides. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 7(6), 765-779. DOI: 10.5194/nhess-7-765-2007.

Porta, S., Latora, V. and Crucitti (2006) The Network Analysis of Urban Streets: A Primal Approach. *Environment and Planning B Planning and Design* 33 (5): 705-725. DOI: 10.1068/b32045.

Qiao, Z., Tiang, G.J., Zhang, L.X. And Xu X.L. (2014) Influences of urban expansion on urban heat island in Beijing during 1989-2010. *Advances in Meteorology*: 1-11. DOI: 10.1155/2014/187169.

Ramírez-Herrera, M.Y. & Gaidzik, K. (2017) La Pintada Landslide: A complex double-staged extreme event, Guerrero, Mexico. *Cogent Geoscience*, 3: 1-20. DOI: 10.1080/23312041.2017.1356012.

RDCDF *Reglamento de construcciones del Distrito Federal* (2012). ISBN: 978607170891.

Romero, A., Salgado, M. y Fuentes, C. (2009). Segregación Socio-Ambiental en espacios intraurbanos de la Ciudad de Santiago de Chile. IV Seminario sobre Procesos Metropolitanos y Grandes Ciudades. Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, 17-29 de febrero del 2009.

Rus, K., Kilar, V. and Koren, D. (2018) Resilience assessment of complex urban systems to natural disasters: A new literature review. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 31; 311-330. DOI: 10.1016/j.ijdr.2018.05.015.

Salat, S., and Bourdic, L. (2012a) *Urban Complexity, efficiency and resilience*. INTECH Open Access Publisher.

Salat, S. and Bourdic, L. (2012b) Systemic resilience of complex urban system. *Land Use, Mobility and Environment* 5 (2): 55-68. DOI: 10.6092/1970-9870/918.

Salvati, P., Bianchi, C., Rossi, M. & Guzzetti, F. (2010) Societal landslide and flood risk in Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(3): 465-483. DOI: 10.5194/nhess-10-465-2010.

Sarvestani, M.S., Ibrahim, A.L. and Kanaroglou, P. (2011) Three decades of urban growth in the City of Shiraz, Iran: A remote sensing and geographic information system application. *Cities* 28: 320-329. DOI: 10.1016/j.cities.2011.03.002.

Sepúlveda, S. A., & Petley, D. N. (2015). Regional trends and controlling factors of fatal landslides in Latin America and the Caribbean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(8), 1821–1833. doi:10.5194/nhess-15-1821-2015.

SGIRPC (2020) Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil. *Ciudad Resiliente: Prospectiva y Proyección de una ciudad (In) Vulnerable*. México. SEDEMA (2019) *Secretaría del Medio Ambiente*.

Sharifi, A. (2018) Resilient Urban forms: A review of literature on streets and street networks. *Building and Environment*. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.09.040.

Sharifi, A. (2019a) Urban form resilience: A meso-scale analysis. *Cities* 93: 238-252. DOI: 10.1016/j.cities.2019.05.010.

Sharifi, A. (2019b) Urban form resilience: A macro-scale analysis. *Cities* 85: 1-14. DOI: 10.1016/j.cities.2018.11.023.

Sharifi, A., Roosta, M. and Javadpoor, M. (2021) Urban Form Resilience: A comparative Analysis of Traditional Semi-Planned and Planned Neighborhood in Shiraz, Iran. *Urban Science* 5 (18). DOI: 10.3390/urbansci5010018.

Sharifi, A. and Yamagata, Y. (2018) Resilient urban forms: A Conceptual Framework. *Resilience-Oriented on Urban Planning, Lecture Notes in Energy*, 65: 171-187. DOI: 10.1007/978-3-319-75798-8_9.

Sharifi, A., Roosta, M. & Javadpoor, M. (2021) Urban Form Resilience: A Comparative Analysis of Traditional, Semi-Planned and Planned Neighborhoods in Shiraz, Iran. *Urban Science* 5: 1-18. DOI: 10.3390/urbansci5010018.

Stangl, P. (2018) *Prospects for Urban Morphology in Resilience Assessment*. (Eds.) Resilience-Oriented Urban Planning, Lecture Notes in Energy 65. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature. DOI: 10.1007/978-3-319-75798-8_10.

Tellman, B., Bausch, J. C., Eakin, H., Anderies, J.M., Mazari-Hiriart, M., Navarrete, D.M. and Redman, C.L. (2018) Adaptive pathways and coupled infrastructure: seven centuries of adaptation to water risk and the production of vulnerability in Mexico City. *Ecology and Society* 23 (1): 1. DOI: 10.5751/ES-09712-230101.

Tellman, B., Hürlimann, M., Sulloivan, J., Kuhn, C., Ketter, A.J. & Slayback, D.A. (2021) Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596 (7870): 80-86. DOI: 10.1038/s41586-021-03695-w.

Tierney, K. J., Lindell, M. K. and Perry, R.W (2001) *Facing the Unexpected: Disaster Preparedness and Response in the United States*. Washington, D.C.: Joseph Henry Press.

Turner B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Eckely, N., Kasperson, J.X., Leurs, A., Martello M.L., Polsky C., Pulsipher, A. and Schiller, A. (2003) A framework of vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS* 100 (14): 8074-8079. DOI: 10.1073/pnas.1231335100.

Van Westen, C.J., van Asch, T.W.J. & Soeters, R. (2005) Landslide hazard and risk zonation-why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(1), 167-184. DOI: 10.1007/s10064-005-0023-0.

Venerandi, A., Zanella, M., Romice, O., Dibble, J. and Porta, S. (2017) Form and urban change-An urban morphometric study of five gentrified neighborhoods in London. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 44 (6): 1056-1076. DOI: 10.1177/0265813516658031.

Vera Pérez M., 2008. Determinación de niveles de peligro de inundación en la delegación Iztapalapa, Distrito Federal (1998-2005). Tesis de licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. DOI: 10.14350/rig.23860.

Walker, B. & Salt, D. (2016) *Resilience Thinking. Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*. Island Press in a trademark of The Center for Resource Economics. <https://static1.squarespace.com/static/5d7901f41e62ba340a30eb04/t/5d83f5e286a5bd19c4f55ff7/1568929253568/Walker+and+Salt+-+Sustaining+Ecosystems+and+People+in+a+Changing+Wor.pdf>. Consultado el 01 de febrero del 2022.

Wang, J. (2015) Resilience of Self- Organised and Top-Down Planned Cities – A Case Study on London and Beijing Street Networks. *PLoS ONE* 10 (2): e0141736. DOI: 10.1371/journal.pone.0141736.

Wamsler, C. (2014) *Cities, Disaster Risk and Adaptation*. New York: Routledge.

Whitford, V., Ennos, A.R. and Handley, J.F. (2001) City form and natural process – indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*, 57(2), pp. 91–103. DOI:10.1016/S0169-2046(01)00192-X.

Wieczorek, G.F. & Glade, T. (2007) *Climatic factors influencing occurrence of debris flows*. Springer Praxis Books, 325.362. DOI: 1007/3-540-27129-5_14.

Wu, J. (2013) Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology*, 28(6) 999-1023. DOI: 10.1007/s10980-013-9894-9.

Xu, L., Cui, S., Tang, J., Nguyen, M., Liu, J., and Zhao, Y. (2019) Assessing the adaptive capacity of urban form to climate stress: a case study on an urban heat island. *Environmental Research Letters* 14, 044013. DOI: 10.1088/1748-9326/aafe27.