





# **INFORME FINAL**

## **PROYECTO DEL COMITÉ CIENTÍFICO DE RECONSTRUCCIÓN Y FUTURO DE LA CDMX**

**REGLAMENTO PARA LA REZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD CON ELEMENTOS  
GEOFÍSICOS, ESTRUCTURALES, SOCIOECONÓMICOS Y ECOLÓGICOS**

OCTUBRE 11 , 2018



**CES<sup>CD</sup><sub>MX</sub>**  
Consejo Económico y Social  
de la Ciudad de México



Laboratorio  
Nacional  
de Ciencias  
de la Sostenibilidad





**Responsables:**

Dr. Constantino Macías García, Instituto de Ecología, UNAM.

Dra. Marisa Mazari Hiriart, Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad-Instituto de Ecología, UNAM

**Colaboradores:**

Dr. Luis Zambrano González, Instituto de Biología, UNAM

Mtra. Elena Tudela Rivadeneyra, Facultad de Arquitectura, UNAM

M. en C. Claudia Gabriela Ortiz Chao, Facultad de Arquitectura, UNAM

M. en C. Alba Esmeralda Zarco Arista, LANCIS-Instituto de Ecología, UNAM

M. en G. Tania Fernández Vargas, Instituto de Biología, UNAM

Urb. Alonso Azaid Cortés Solís, Facultad de Arquitectura, UNAM

Biól. Miguel Ignacio Rivas Bejarano, Instituto de Biología, UNAM

Urb. Brandon Felipe Noh García, Facultad de Arquitectura, UNAM

# ÍNDICE

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| 1.JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....                          | 8   |
| 2.OBJETIVOS.....                                            | 10  |
| 3.DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....                            | 10  |
| 4.ALCANCES.....                                             | 12  |
| 5.METODOLOGÍA.....                                          | 15  |
| 5.1 Metodología general .....                               | 15  |
| 5.2 Metodología específica (por área).....                  | 27  |
| 6.ANÁLISIS Y RESULTADOS .....                               | 50  |
| 6.1 Áreas verdes .....                                      | 51  |
| 6.2 Servicios Ecosistémicos.....                            | 62  |
| 6.3 Sistema sociodemográfico y urbano .....                 | 68  |
| 6.4.Estructura e infraestructura urbana.....                | 86  |
| 6.5.Amenazas y vulnerabilidades.....                        | 96  |
| 7.RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGO.....                    | 116 |
| 7.1. Amenaza, vulnerabilidad y riesgo.....                  | 117 |
| 7.2. Modelo Multicriterio .....                             | 119 |
| 7.3. Modelo espacial de Riesgo de la Ciudad de México ..... | 120 |
| 8. CONCLUSIONES .....                                       | 136 |
| 9. RECOMENDACIONES .....                                    | 140 |
| 10. AGRADECIMIENTOS .....                                   | 140 |
| 11. BIBLIOGRAFÍA.....                                       | 142 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|           |                                                                                                                  |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1a | Áreas verdes por km <sup>2</sup> .....                                                                           | 28  |
| Figura 1b | Ejemplo de conexión entre AV por km <sup>2</sup> .....                                                           | 28  |
| Figura 2  | Tipos de patrones espaciales en la fragmentación del paisaje .....                                               | 29  |
| Figura 3  | Porcentaje de uso de suelo y vegetación en Cuenca de México. ....                                                | 51  |
| Figura 4  | Porcentaje de uso de suelo y vegetación en ZMCM. ....                                                            | 53  |
| Figura 5  | Porcentaje de áreas verdes por delegación .....                                                                  | 55  |
| Figura 6  | Porcentaje de patrón espacial en fragmentación del paisaje .....                                                 | 56  |
| Figura 7  | Integración del riesgo. ....                                                                                     | 117 |
| Figura 8  | Ponderación de los indicadores para evaluar el riesgo de la población ante eventos sísmicos e inundaciones. .... | 120 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|         |                                                                                                                                      |     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1 | Capas espaciales para la Ciudad de México. ....                                                                                      | 16  |
| Tabla 2 | Capas espaciales para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. ....                                                             | 21  |
| Tabla 3 | Capas espaciales para la Cuenca de México. ....                                                                                      | 23  |
| Tabla 4 | Variables y coeficientes utilizados en el modelo de infiltración potencial. ....                                                     | 31  |
| Tabla 5 | Variables usadas en el modelo de inundación. ....                                                                                    | 44  |
| Tabla 6 | Escala Fundamental de asignación de valor. ....                                                                                      | 45  |
| Tabla 7 | Componentes e indicadores del modelo multicriterio para evaluar el riesgo de la población ante eventos sísmicos e inundaciones. .... | 46  |
| Tabla 8 | Componentes e indicadores del modelo multicriterio para evaluar el riesgo de la población ante eventos sísmicos e inundaciones. .... | 119 |

## ÍNDICE DE MAPAS

|         |                                                                                                   |    |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Mapa 1  | Usos de Suelo y vegetación de la Cuenca de México .....                                           | 52 |
| Mapa 2  | Usos del suelo y vegetación de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. ....                 | 54 |
| Mapa 3  | Áreas Verdes de la CDMX. ....                                                                     | 57 |
| Mapa 4  | Porcentaje de Áreas Verdes por km <sup>2</sup> . ....                                             | 58 |
| Mapa 5  | Distancia promedio de áreas verdes en la Ciudad de México. ....                                   | 59 |
| Mapa 6  | Fragmentación del paisaje en la Ciudad de México. ....                                            | 60 |
| Mapa 7  | Potencial de infiltración en la Cuenca de México. ....                                            | 61 |
| Mapa 8  | Potencial de infiltración en la Ciudad de México. ....                                            | 64 |
| Mapa 9  | Servicio ecosistémico de provisión de agua en las áreas verdes de la Ciudad de México. ....       | 65 |
| Mapa 10 | Servicio ecosistémico de control de inundaciones en las áreas verdes de la Ciudad de México ..... | 66 |
| Mapa 11 | Servicio Ecosistémico Cultural en las áreas verdes de la Ciudad de México. ....                   | 67 |
| Mapa 12 | Ciudad de México, Población total por AGEB. ....                                                  | 70 |
| Mapa 13 | Ciudad de México, Densidad poblacional (hab/ha) por AGEB. ....                                    | 71 |
| Mapa 14 | Ciudad de México, Nivel Socioeconómico por AGEB. ....                                             | 72 |
| Mapa 15 | Índice de vulnerabilidad por nivel socioeconómico (IVNSE) en la Ciudad de México .....            | 73 |
| Mapa 16 | ZMCM, Población total por AGEB. ....                                                              | 76 |
| Mapa 17 | ZMCM, Densidad poblacional (hab/ha) por AGEB. ....                                                | 77 |
| Mapa 18 | ZMCM, Índice de Marginación Urbana por AGEB 2010. ....                                            | 78 |
| Mapa 19 | ZMCM Índice de vulnerabilidad por marginación urbana (IVMU) .....                                 | 79 |
| Mapa 20 | ZMCM Promedio de tiempo de viaje hacia el trabajo. ....                                           | 82 |
| Mapa 21 | ZMCM, Promedio de tiempo de viaje hacia el hogar. ....                                            | 83 |
| Mapa 22 | ZMCM, Viajes totales por distrito. ....                                                           | 84 |
| Mapa 23 | ZMCM, Índice de Vulnerabilidad por conectividad e Intensidad de Uso Vial. ....                    | 85 |
| Mapa 24 | Servicios y equipamientos urbanos de la Ciudad de México. ....                                    | 89 |
| Mapa 25 | Infraestructura de abastecimiento de agua potable de la ZMCM. ....                                | 90 |
| Mapa 26 | Disponibilidad de agua potable entubada en la CDMX. ....                                          | 92 |
| Mapa 27 | Disponibilidad de drenaje en la Ciudad de México. ....                                            | 94 |
| Mapa 28 | Infraestructura de drenaje profundo de la ZMCM. ....                                              | 95 |
| Mapa 29 | Distribución de la red eléctrica en la Ciudad de México. ....                                     | 97 |
| Mapa 30 | Densidad de inmuebles dañados por los sismos de septiembre de 2017 en la Ciudad de México. ....   | 99 |

|         |                                                                                       |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Mapa 31 | Zonificación sísmica de la Ciudad de México.....                                      | 101 |
| Mapa 32 | Densidad de fracturas en la CDMX.....                                                 | 102 |
| Mapa 33 | Geología de la Cuenca de México. ....                                                 | 103 |
| Mapa 34 | Geología de la Ciudad de México.....                                                  | 104 |
| Mapa 35 | Subsidencia Acumulada en el periodo 1987-2017 en la Ciudad de México .....            | 105 |
| Mapa 36 | Asentamientos Humanos Irregulares.....                                                | 109 |
| Mapa 37 | ZMCM, Presencia de establecimientos con actividad contaminante.....                   | 110 |
| Mapa 38 | ZMCM, Concentración de establecimientos con actividad contaminante por densidad ..... | 111 |
| Mapa 39 | ZMCM, Concentración de gasolineras y gaseras.....                                     | 112 |
| Mapa 40 | Red de Ductos de combustible en la Ciudad de México. ....                             | 113 |
| Mapa 41 | Riesgo por inundación menor a 200 m3.....                                             | 114 |
| Mapa 42 | Riesgo de inundación mayor a 200 m3.....                                              | 115 |
| Mapa 43 | Riesgo de inundación en la Cuenca de México .....                                     | 126 |
| Mapa 44 | Modelo de amenazas.....                                                               | 127 |
| Mapa 45 | Modelo de servicios ecosistémicos y áreas verdes de la Ciudad de México.....          | 128 |
| Mapa 46 | Modelo de Vulnerabilidad con infraestructura y equipamiento.....                      | 129 |
| Mapa 47 | Modelo de Vulnerabilidad sin infraestructura y equipamiento. ....                     | 132 |
| Mapa 48 | Modelo de Riesgo con infraestructura y equipamiento. ....                             | 133 |
| Mapa 49 | Modelo de Riesgo sin infraestructura y equipamiento.....                              | 134 |

## 1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO



Las repercusiones del sismo que afectó a gran parte del territorio mexicano el 19 de septiembre de 2017 han puesto en evidencia la necesidad de planeación desde una perspectiva sistémica y de construcción de resiliencia. La representación de la Ciudad de México como un sistema socio-ambiental dinámico, adaptativo, heterogéneo y complejo, considerando las áreas de valor ambiental, se vuelve una tarea indispensable en el marco de los procesos de reconstrucción por daños sísmicos. De esta manera, la crisis se puede convertir en una oportunidad de transformación hacia una ciudad más resiliente. El sismo hizo visibles problemas de la gestión y planeación urbano-ambiental y la falta de consideración de zonas vulnerables en suelo de transición y periferias ante eventos geológicos. Vincular los servicios ecosistémicos del Suelo de Conservación y áreas verdes urbanas a la vulnerabilidad sísmica de la ciudad representa una oportunidad para incrementar la resiliencia de la ciudad a múltiples escalas. Para ello se requiere de una nueva propuesta de rezonificación y gestión territorial diferenciada que tome en consideración las características y potenciales tanto ambientales como sociales. Dicha propuesta de rezonificación debe partir de un entendimiento integral y multipropósito del Suelo de Conservación y áreas verdes cuyo valor no recae únicamente en su aportación de tipo recreativo sino también ambiental y ecológica, así como de manera indirecta, en el bienestar de los habitantes de la urbe.

## 2. OBJETIVOS

## 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Generar recomendaciones encaminadas hacia políticas y proyectos de rezonificación y ordenamiento territorial del Suelo de Conservación y áreas verdes de la Ciudad de México en condición de vulnerabilidad por sismo, considerando su capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos indispensables para la sobrevivencia de la población, en diversas escalas que van desde lo local hasta lo regional, y tomando en cuenta también las capacidades sociales de los actores y territorios involucrados, o lo que se ha denominado potencial de transformación.

Identificar las áreas verdes de la CDMX, fundamentales para contar con una ciudad resiliente; definida como un sistema con la capacidad de absorber eventos catastróficos logrando mantener su función y con ello su estructura básica.

Resignificar la identidad de la ciudad y su zona metropolitana en relación con las áreas verdes con las que cuenta, buscando la inclusión de estrategias de adaptación socio-ambiental frente a los riesgos, reduciendo la vulnerabilidad a la que nos enfrentamos como pobladores.

Caracterizar los potenciales ambientales, ecológicos y sociales de las comunidades y los territorios vulnerables a sismo en las zonas verdes, incluyendo Zona de Conservación de la Ciudad de México y zonas conurbadas, así como su aptitud de ser transformados en capacidad de proyecto integral, resiliente e inteligente en términos territoriales.

## 4. ALCANCES

Este proyecto pretende vincularse con políticas públicas de transformación, particularmente en el ámbito periurbano, mediante hallazgos en los siguientes temas específicos:

- Caracterizar las zonas del Suelo de Conservación y áreas verdes que proporcionan diversos servicios ecosistémicos en tres escalas: local, regional y cuenca.
- Identificar aquellas en condición de vulnerabilidad y riesgo por su localización sobre grietas y fracturas en zona de lago y zona de transición (i.e. zona chinampera al sur de la ciudad, zona montañosa).
- Identificar aquellas en condición de vulnerabilidad y riesgo por inundaciones a partir de la altura en la que se encuentran.
- Analizar los potenciales de transformación, desde las perspectivas ecológica y socio-ambiental, de las zonas identificadas.
- Plantear lineamientos de ordenamiento territorial socio-ambiental para las zonas vulnerables analizadas.
- Establecer líneas de acción encaminadas a políticas y proyectos que potencien las capacidades locales de los actores y territorios del Suelo de Conservación y áreas verdes urbanas, y con ello, las condiciones socio-ambientales de la Ciudad de México, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México así como la región en su conjunto.

13

Ahora bien, el título del proyecto es: “Reglamento para la rezonificación de la Ciudad con elementos geofísicos, estructurales, socioeconómicos y ecológicos”. En este contexto, cabe hacer la aclaración que un “reglamento” es, de acuerdo con el Diccionario jurídico mexicano<sup>1</sup>, “(...) una norma de carácter general, abstracta e impersonal, expedida por el titular del Poder ejecutivo, con la finalidad de lograr la aplicación de una Ley previa”.

En los alcances de este trabajo, no se indica que el compromiso fuera el lograr generar un “reglamento”. Este estudio, da información interdisciplinaria, técnica y científica para establecer una base sólida para la toma de decisiones y en el futuro plantear una nueva Ley.

---

<sup>1</sup> <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/3/1174/15.pdf>.

## 5. METODOLOGÍA



## 5.1. Metodología general

Se llevó a cabo la revisión y sistematización de las bases de datos y de las capas espaciales disponibles para caracterizar zonas del Suelo de Conservación y áreas verdes que proporcionan diversos servicios ecosistémicos. La revisión y sistematización de datos se presenta en tres escalas geográficas: a) Ciudad de México, b) Zona Metropolitana de la Ciudad de México y c) Cuenca de México.

A partir de la caracterización anterior, se generó una serie de mapas con base en información sobre datos ecológicos y socio-ambientales para identificar áreas en Suelo de Conservación y áreas verdes urbanas en condición de riesgo por su ubicación asociadas con grietas y fallas reportadas. Los datos que se consideraron incluyen fenómenos de origen geológico (UNAM o Atlas de Riesgos) así como ubicación, extensión, estimado de habitantes y otra información de los asentamientos a la que se tuvo acceso (INEGI, SEDUVI, PAOT, INSUS).

Se utilizó información cualitativa y cuantitativa, así como prospectiva para evaluar el potencial de transformación.

15

Se llevó a cabo el análisis espacial del sistema heterogéneo, dinámico y multiescalar organizado en niveles jerárquicos de complejidad en función de sus características, así como de estadística multivariada en el cual se ponderaron los servicios ecosistémicos provistos por las áreas verdes naturales y parques urbanos. Esto permitió la identificación de las áreas vulnerables, así como las áreas de atención útiles para la planificación sostenible.

Se plantean una serie de recomendaciones para el ordenamiento territorial socio-ambiental de las zonas analizadas encaminadas a orientar políticas y proyectos para potenciar la resiliencia urbana tanto del Suelo de Conservación como de las áreas verdes y con ello, las condiciones socio-ambientales de la Ciudad de México, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y la región en su conjunto.

5.1.1. Fuentes documentales y cartográficas

En las siguientes tablas (Tabla 1, 2, 3) se presentan las capas de información en la cuales se fundamenta el análisis.

Tabla 1 Capas espaciales para la Ciudad de México.

| ÁREA DE COBERTURA | TEMA                        | CAPA DIGITAL                 | DESCRIPTOR                                                                                                                                                                                  | TIPO DE DATO    | ESCALA    | AÑO DEL DATO S | FUENTE                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | Geología                    | Geología                     | Geología (rocas)                                                                                                                                                                            | Polígono        | 1:100,000 | 1996           | Mooser, F., A. Montiel, A. Zúñiga. 1996. Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. CFE-México                                                                                                                                                                               |
|                   |                             | Geología                     | Geología (rocas)                                                                                                                                                                            | Polígono        | 1:250,000 | 1977-1989      | Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Conjunto de datos geológicos vectoriales                                                                                                                                                                                      |
|                   |                             | Fallas geológica             | Fallas                                                                                                                                                                                      | Línea           | 1:100,000 | 1996           | Mooser, F., A. Montiel, A. Zúñiga. 1996. Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. CFE-México                                                                                                                                                                               |
|                   |                             | Fallas geológica             | Fallas                                                                                                                                                                                      | Línea           | 1:250,000 | 1977-1989      | Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Conjunto de datos geológicos vectoriales                                                                                                                                                                                      |
| Ciudad de México  | Fallas geológicas y grietas | Fracturamiento               | Fracturamiento. No incluye fracturas debidas a fallas estructurales en la infraestructura urbana (fallas de cimentación, efectos de raíces, cambios térmicos en el asfalto, drenaje, etc.). | Línea           | 1:20,000  | 2017           | Centro de Geociencias, UNAM. 2017. Fracturamiento.                                                                                                                                                                                                                                                |
|                   |                             | Subsidencia y fracturamiento | Principales fallas regionales, promedio de subsidencia acumulada,                                                                                                                           | Línea, polígono | ---       | 2017           | Carreón-Freyre, D., Cerca, M., Gutiérrez-Calderón, R., López-Quiroz, P, Alcántara-Durán, C., González-Hernández, M., Centeno-Salas, F. 2017. Posible influencia de la subsidencia y fracturamiento en la Ciudad de México en las construcciones dañadas por el sismo del 19 de septiembre de 2017 |
|                   |                             |                              |                                                                                                                                                                                             |                 |           |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

| ÁREA DE COBERTURA | TEMA         | CAPA DIGITAL                                | DESCRIPTOR                                                                                                                                                                | TIPO DE DATO                                                                                                                                    | ESCALA     | AÑO DEL DATO-S | FUENTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------|--------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ciudad de México  | Áreas verdes | Áreas Naturales Protegidas estatales        | Áreas Naturales Protegidas                                                                                                                                                | Polígono, punto                                                                                                                                 | 1:250,000  | 2007           | Bezaury-Creel J.E., Torres, J.F., Ochoa L.M. 2007. Base de Datos Geográfica de Áreas Naturales Protegidas Estatales del Distrito Federal y Municipales de México - Versión 1.0, Agosto 30, 2007. The Nature Conservancy / PRONATURA A.C / Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad / Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas |
|                   |              | Áreas Naturales Protegidas Federales        | Áreas naturales protegidas                                                                                                                                                | Polígono                                                                                                                                        | ----       | 2017           | CONANP. 2017. Áreas Naturales Protegidas Federales de la República Mexicana                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                   |              | Áreas verdes en suelo urbano                | Identificar, clasificar y cuantificar las áreas verdes en el suelo de urbano del Distrito Federal                                                                         | Polígono                                                                                                                                        | ---        | 2007-2008      | PAOT-DF. 2010. Presente y futuro de las áreas verdes y el arbolado de la Ciudad de México                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                   |              | Áreas verdes (parques, jardines)            | Áreas verdes de la CDMX obtenidas a partir del Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)                                                                                    | Raster                                                                                                                                          | ---        | 2018           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                   |              | Áreas verdes en Suelo de Conservación       | Identificar, clasificar y cuantificar las áreas verdes en el suelo de Conservación del Distrito Federal                                                                   | Polígono                                                                                                                                        | ----       | 2007-2008      | PAOT-DF. 2010. Presente y futuro de las áreas verdes y el arbolado de la Ciudad de México                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                   | Población    | Porcentaje de Áreas Verdes por km²          | Identificar el porcentaje de área verde por km² para la CDMX                                                                                                              | Raster                                                                                                                                          | 100        | 2018           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                   |              | Distancia promedio hacia Área Verde         | Identifica la distancia promedio en línea recta hacia las áreas verdes                                                                                                    | Raster                                                                                                                                          | 100        | 2018           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                   |              | Fragmentación del paisaje                   | Identifica la fragmentación del paisaje en seis categorías: zona núcleo mayor a 200 ha, zona núcleo entre 100-200 ha, zona núcleo menor a 100 ha, límite, parche y hueco. | Raster                                                                                                                                          | 100        | 2018           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                   |              | Proyecciones de Población a nivel Municipal | CDMX_AGEB                                                                                                                                                                 | Información a nivel AGEb con la población total, densidad poblacional, Nivel SocioEconómico e Índice de Vulnerabilidad por Nivel Socioeconómico | ---        | 2010           | CONAPO. Proyecciones de Población a nivel Municipal 2010 - 2030, CONAPO                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                   |              | Geología                                    | Geología (permeabilidad)                                                                                                                                                  | Polígono                                                                                                                                        | 1:100,000  | 1996           | Mooser, F., A. Montiel, A. Zúñiga. 1996. Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. CFE-México                                                                                                                                                                                                                                          |
|                   | Infiltración | Infiltración                                | Capacidad de infiltración                                                                                                                                                 | Raster                                                                                                                                          | 30 metros  | 2010           | PAOT-DF. 2010. Aptitud de infiltración                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                   |              | Infiltración                                | Infiltración potencial                                                                                                                                                    | Raster                                                                                                                                          | 100 metros | 2016           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                   |              | Inundaciones                                | Riesgo de inundación                                                                                                                                                      | Raster                                                                                                                                          | 100 metros | 2018           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

| ÁREA DE COBERTURA | TEMA                                 | CAPA DIGITAL                                      | DESCRIPTOR                                                                | TIPO DE DATO | ESCALA      | AÑO DEL DATO-S | FUENTE                                                                                                                                    |
|-------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ciudad de México  | Inundaciones                         | Índice de peligro por inundaciones                | Índice de peligro por inundaciones (municipio, delegación)                | Polígono     | 1:1'000,000 | 2016           | CENAPRED. 2016. Índice de peligro por inundación                                                                                          |
|                   |                                      | Índice de Vulnerabilidad de Inundación            | Índice de Vulnerabilidad de Inundación (municipio, delegación)            | Polígono     | 1:1'000,000 | 2014           | CENAPRED. 2014. Índice de vulnerabilidad de inundación                                                                                    |
|                   |                                      | Hundimientos_ agrietamientos                      | Zonas de hundimientos y agrietamientos históricos (municipio, delegación) | Polígono     | 1:1'000,000 | 2016           | CENAPRED. Zonas de hundimiento y agrietamientos históricos                                                                                |
|                   | Hundimiento                          | Gasolineras                                       | Estaciones de servicio gasolineras                                        | Punto        | ----        | 2017           | Comisión Reguladora de Energía. 2017. Estaciones de servicio-gasolineras y precios comerciales de gasolina y diesel                       |
|                   |                                      | Gaseras                                           | En proceso                                                                |              |             |                |                                                                                                                                           |
|                   |                                      | Sitios de almacenamiento de compuestos peligrosos | En proceso                                                                |              |             |                |                                                                                                                                           |
|                   |                                      | Sitios de almacenamiento de compuestos peligrosos | En proceso                                                                |              |             |                |                                                                                                                                           |
|                   | Fuentes potenciales de contaminación | Sitios de almacenamiento de compuestos peligrosos | Depósitos de combustible                                                  | Polígono     | 1:150,000   | 2002           | Instituto de Ecología, UNAM; Instituto de Geografía, UNAM; Secretaría de Medio Ambiente, GDF. 2002. Programa de Manejo Integral del Suelo |
|                   |                                      | Aeropuerto                                        |                                                                           |              |             |                |                                                                                                                                           |
|                   |                                      | Red de drenaje                                    | Red de drenaje (canal, río, interceptor, túnel)                           | Línea        | ---         | 2015           | GEOCOMUNES. 2015. Red de drenaje de la Zona Metropolitana                                                                                 |
|                   |                                      | Red de drenaje primario                           | Red de drenaje primario                                                   | Línea        | ----        | 2002           | Sergio Gasca-GDF. 2002. Red de drenaje primario                                                                                           |
|                   |                                      | Tiraderos                                         | Tiraderos de basura                                                       | Polígono     | 1:150,000   | 2002           | Instituto de Ecología-Instituto de Geografía, UNAM; Secretaría de Medio Ambiente, GDF. 2002. Programa de Manejo Integral del Suelo        |

| ÁREA DE COBERTURA | TEMA                                 | CAPA DIGITAL                                                                                                                   | DESCRIPTOR                                                                               | TIPO DE DATO   | ESCALA      | AÑO DEL DATO-S | FUENTE                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ciudad de México  | Áreas Históricas de daños por sismos | Derrumbes                                                                                                                      | Derrumbes                                                                                | Polígono       | 1:150,000   | 2002           | Instituto de Ecología, UNAM; Instituto de Geografía, UNAM; Secretaría de Medio Ambiente, GDF. 2002. Programa de Manejo Integral del Suelo.                                                                                                         |
|                   |                                      | Demoliciones<br>Inmuebles riesgo alto<br>Inmuebles riesgo medio                                                                | Demoliciones<br>Inmuebles riesgo alto<br>Inmuebles riesgo medio<br>Inmuebles riesgo bajo | Puntos         | ---         | 2018           | Plataforma CDMX                                                                                                                                                                                                                                    |
|                   |                                      | Inmuebles riesgo bajo<br>Derrumbes<br>Demoliciones<br>Inmuebles riesgo alto<br>Inmuebles riesgo medio<br>Inmuebles riesgo bajo | Frecuencia a nivel de delegación                                                         | Polígono       | ---         | 2018           | Plataforma CDMX                                                                                                                                                                                                                                    |
|                   |                                      | Almacenamiento de carbono                                                                                                      | Almacenamiento de carbono                                                                | Raster         | 25 x 50 m   | 2010           | PAOT-DF. 2010. Almacenamiento de carbono                                                                                                                                                                                                           |
|                   | Servicios ecosistémicos              | Provisión: agua                                                                                                                | En proceso                                                                               |                |             |                |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                   |                                      | Provisión: agua                                                                                                                | En proceso                                                                               |                |             |                |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                   |                                      | Regulación (control de avenidas, inundaciones)                                                                                 | En proceso                                                                               |                |             |                |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                   | Biodiversidad                        |                                                                                                                                | Riqueza de anfibios, riqueza de reptiles, riqueza de aves, riqueza de mamíferos          | Raster         | 25 metros   | 2009           | Dirección de Ordenamiento Ecológico del Territorio y Manejo Ambiental del Agua - Secretaría del Medio Ambiente y Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 2009. Riqueza de anfibios. Riqueza de reptiles. Riqueza de aves. Riqueza de mamíferos |
|                   | Sistema de abastecimiento de agua    | Infraestructura hidráulica de abastecimiento de agua potable entubada                                                          | Tuneles y acueductos                                                                     | Líneas         | 1:1 000 000 | 2018           |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                   |                                      |                                                                                                                                | Presas, tanques, pozos, plantas potabilizadoras y baterías                               | puntos         | 1:1 000 000 | 2018           |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                   | Infraestructura eléctrica            |                                                                                                                                | líneas de transmisión<br>Centrales y subestaciones eléctricas                            | líneas/ puntos | 1:20 000    | 2016           |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                   | Asentamientos humanos irregulares    | Áreas ocupadas por asentamientos humanos en Suelo de Conservación de la CDMX                                                   |                                                                                          | polígonos      | 1:200 000   | 2013           |                                                                                                                                                                                                                                                    |

| ÁREA DE COBERTURA | TEMA                              | CAPA DIGITAL                                | DESCRIPTOR                                                                                                                                                                                                                     | TIPO DE DATO           | ESCALA   | AÑO DEL DATO-S | FUENTE                                                                                                                |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ciudad de México  | Equipamientos y servicios urbanos |                                             | Escuelas, bibliotecas, centros culturales, mercados, centros comerciales, templos, cementerios, parques, plazas cívicas, clínicas y hospitales                                                                                 | polígonos              | 1:200 00 | 2015           |                                                                                                                       |
|                   |                                   | Vías de comunicación                        | Trazo y tipo del tipo de vía (i.e. autopista, avenida, calle, carretera, etc.)                                                                                                                                                 | Línea                  | ---      | 2018           | INEGI. 2018. Marco Geoestadístico. Febrero 2018                                                                       |
|                   |                                   | ZMVM_Vialidades                             | Red vial de la ZMVM con datos de accesibilidad perteneciente a la CDMX, Número de viajes por distrito e Índice de Vulnerabilidad por Accesibilidad e Intensidad de Uso Vial                                                    | Línea                  | ----     | 2010           | INEGI. Red Vial. Vía de transporte terrestre destinada para el tránsito vehicular y/o peatonal                        |
|                   | Comunicación                      | ZMVM_EOD_Distritos                          | Distritos pertenecientes a la encuesta Origen Destino en Hogares de la ZMVM, con información del Número de viajes Origen, Número de Viajes desde el destino, Tiempo de viaje desde el origen, Tiempo de viaje desde el destino | Polígono               |          | 2017           |                                                                                                                       |
|                   |                                   | Zonificación sísmica de la Ciudad de México | Zonas sísmicas: i, ii, iii.a, iiib, iiic, iiid                                                                                                                                                                                 | Polígono               | 1:20,000 | 2017           | Centro de Geociencias, UNAM. 2017. Relieve                                                                            |
|                   |                                   | Relieve                                     | Delimitación de unidades del relieve: zona de montaña, piedemonte y planicie lacustre                                                                                                                                          | Polígono               | 1:20,000 | 2017           | Centro de Geociencias, UNAM. 2017. Relieve                                                                            |
|                   | Otros temas                       | Vulnerabilidad física al fracturamiento     | Vulnerabilidad física al fracturamiento (alta, media, baja)                                                                                                                                                                    | Polígono               | 1:20,000 | 2017           | Centro de Geociencias, UNAM. 2017. Vulnerabilidad física al fracturamiento                                            |
|                   |                                   | Asentamientos irregulares                   | Asentamientos irregulares                                                                                                                                                                                                      | Polígono               | 1:20,000 | 2011           | Dirección de Ordenamiento Ecológico del Territorio y Manejo Ambiental del Agua - Secretaría del Medio Ambiente. 2011. |
|                   |                                   | Red hidrográfica                            | Puntos de drenaje, corriente de agua, canal, cuerpos de agua                                                                                                                                                                   | Polígono, línea, punto | 1:50,000 | 2010           | INEGI. Red Hidrográfica, R.H. PÁNUCO, CUENCA R. MOCTEZUMA. Edición: 2.0.                                              |
|                   | Otros temas                       | Información complementaria                  | centro comercial, centro de asistencia médica, escuela, estación de transporte terrestre, instalación deportiva o recreativa, mercado, tanque de agua, iglesia                                                                 | Punto                  | ----     | 2018           | INEGI. 2018. Marco Geoestadístico. Febrero 2018.                                                                      |

Tabla 2 Capas espaciales para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

| ÁREA DE COBERTURA                         | TEMA         | CAPA DIGITAL                           | DESCRIPTOR                                                                                                                                            | TIPO DE DATO    | ESCALA      | AÑO DEL DATO-S | FUENTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------|--------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zona Metropolitana de la Ciudad de México | Geología     | Geología                               | Geología (rocas)                                                                                                                                      | Polígono        | 1:100,000   | 1996           | Mooser, F., A. Montiel, A. Zúñiga. 1996. Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. CFE-México                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                           |              | Geología                               | Geología (rocas)                                                                                                                                      | Polígono        | 1:250,000   | 1977-1989      | Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Conjunto de datos geológicos vectoriales                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                           |              | Fallas geológicas                      | Fallas                                                                                                                                                | Línea           | 1:100,000   | 1996           | Mooser, F., A. Montiel, A. Zúñiga. 1996. Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. CFE-México                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                           |              | Fallas geológicas                      | Fallas                                                                                                                                                | Línea           | 1:250,000   | 1977-1989      | Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Conjunto de datos geológicos vectoriales escala 1:250,000.                                                                                                                                                                                                                                |
|                                           | Áreas verdes | Áreas Naturales Protegidas Estatales   | Áreas Naturales Protegidas                                                                                                                            | Polígono, punto | 1:250,000   | 2007           | Bezaury-Creel J.E., Torres, J.F., Ochoa, L.M. 2007. Base de Datos Geográfica de Áreas Naturales Protegidas Estatales del Distrito Federal y Municipales de México - Versión 1.0. Agosto 30, 2007. The Nature Conservancy / PRONATURA A.C / Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad / Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas |
|                                           |              | Áreas Naturales Protegidas Federales   | Áreas Naturales Protegidas Federales                                                                                                                  | Polígono        | ----        | 2017           | CONANP. 2017. Áreas Naturales Protegidas Federales de la República Mexicana                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                           |              | Uso de suelo y vegetación              | Uso de suelo y vegetación. INEGI Serie VI                                                                                                             | Polígono        | 1:250,000   | 2014           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                                           | Población    | ZMVM_AGEB                              | Información a nivel AGEB con la población total, densidad poblacional, Índice de Marginación Urbana e Índice de Vulnerabilidad por Marginación Urbana | Polígono        | ---         | 2010           | CONAPO. Proyecciones de Población a nivel Municipal 2010 - 2030, CONAPO                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                                           | Infiltración | Geología                               | Geología (permeabilidad)                                                                                                                              | Polígono        | 1:100,000   | 1996           | Mooser, F., A. Montiel, A. Zúñiga. 1996. Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. CFE-México                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                           | Inundaciones | Índice de peligro por inundaciones     | Índice de peligro por inundaciones (municipio, delegación)                                                                                            | Polígono        | 1:1'000,000 | 2016           | CENAPRED. 2016. Índice de peligro por inundación                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                           |              | Índice de Vulnerabilidad de Inundación | Índice de Vulnerabilidad de Inundación (municipio, delegación)                                                                                        | Polígono        | 1:1'000,000 | 2014           | CENAPRED. 2014. Índice de vulnerabilidad de inundación                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

| ÁREA DE COBERTURA                         | TEMA                                 | CAPA DIGITAL                                                     | DESCRIPTOR                                                                                                                                                                                                                     | TIPO DE DATO | ESCALA      | AÑO DEL DATO-S | FUENTE                                                                                                              |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zona Metropolitana de la Ciudad de México | Hundimiento                          | Hundimientos_ agrietamientos                                     | Zonas de hundimientos y agrietamientos históricos (municipio, delegación)                                                                                                                                                      | Polígono     | 1:1'000,000 | 2016           | CENAPRED. Zonas de hundimiento y agrietamiento históricos                                                           |
|                                           |                                      | ZMVM_ Comercio_ Combustibles                                     | Establecimientos dedicados a la venta al por menor de combustibles                                                                                                                                                             | Punto        | ----        | 2018           | Comisión Reguladora de Energía. 2017. Estaciones de servicio-gasolineras y precios comerciales de gasolina y diesel |
|                                           |                                      | ZMVM_ Comercio_ RETC                                             | Establecimientos pertenecientes al Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes                                                                                                                                     | Punto        | ----        | 2016           |                                                                                                                     |
|                                           | Fuentes potenciales de contaminación | Drenaje Profundo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México |                                                                                                                                                                                                                                |              |             |                |                                                                                                                     |
|                                           |                                      |                                                                  | Red de drenaje (canal, río, interceptor, túnel                                                                                                                                                                                 | Línea        | ---         | 2015           | GEOCOMUNES. 2015. Red de drenaje de la Zona Metropolitana                                                           |
| Comunicación                              |                                      | ZMVM_ Vialidades                                                 | Red vial de la ZMVM con datos de accesibilidad perteneciente a la CDMX, Número de viajes por distrito e Índice de Vulnerabilidad por Accesibilidad e Intensidad de Uso Vial                                                    | Línea        | ---         | 2010           | INEGI. 2018. Marco Geoestadístico. Febrero, 2018                                                                    |
|                                           |                                      | ZMVM_EOD_ Distritos                                              | Distritos pertenecientes a la encuesta Origen Destino en Hogares de la ZMVM, con información del Número de viajes Origen, Número de Viajes desde el destino, Tiempo de viaje desde el origen, Tiempo de viaje desde el destino | Polígono     |             | 2017           |                                                                                                                     |



**Tabla 3** Capas espaciales para la Cuenca de México.

| ÁREA DE COBERTURA | TEMA                        | CAPA DIGITAL                         | DESCRIPTOR                                | TIPO DE DATO    | ESCALA    | AÑO DEL DATO | FUENTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | Geología                    | Geología                             | Geología (rocas)                          | Polígono        | 1:100,000 | 1996         | Mooser, F., A. Montiel, A. Zúñiga. 1996. Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. CFE-México                                                                                                                                                                                                                                          |
|                   |                             | Geología                             | Geología (rocas)                          | Polígono        | 1:250,000 | 1977-1989    | Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Conjunto de datos geológicos vectoriales                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                   | Fallas geológicas y grietas | Fallas geológicas                    | Fallas                                    | Línea           | 1:100,000 | 1996         | Mooser, F., A. Montiel, A. Zúñiga. 1996. Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. CFE-México                                                                                                                                                                                                                                          |
|                   |                             | Fallas geológicas                    | Fallas                                    | Línea           | 1:250,000 | 1977-1989    | Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Conjunto de datos geológicos vectoriales escala 1:250,000.                                                                                                                                                                                                                               |
|                   | Mancha urbana               | Mancha urbana                        | Áreas urbanas                             | Polígono        | ---       | 2015         | Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2015. Marco Geoestadístico 2014 versión 6.2 (DENUE 01/2015)                                                                                                                                                                                                                              |
|                   |                             | Áreas Naturales protegidas Estatales | Áreas Naturales Protegidas                | Polígono, punto | 1:250,000 | 2007         | Bezaury-Creel J.E., J.F. Torres, Ochoa, L.M. 2007. Base de Datos Geográfica de Áreas Naturales Protegidas Estatales del Distrito Federal y Municipales de México - Versión 1.0, Agosto 30, 2007. The Nature Conservancy / PRONATURA A.C / Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad / Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas |
| Cuenca de México  | Áreas verdes                | Áreas Naturales Protegidas Federales | Áreas naturales protegidas                | Polígono        | ---       | 2017         | CONANP. 2017. Áreas Naturales Protegidas Federales de la República Mexicana.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                   |                             | Uso de suelo y vegetación            | Uso de suelo y vegetación. INEGI Serie VI | Polígono        | 1:250,000 | 2014         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                   | Infiltración                | Geología                             | Geología (permeabilidad)                  | Polígono        | 1:100,000 | 1996         | Mooser, F., A. Montiel, A. Zúñiga. 1996. Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. CFE-México                                                                                                                                                                                                                                          |
|                   |                             |                                      |                                           |                 |           |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

| ÁREA DE COBERTURA | TEMA                                                                         | CAPA DIGITAL                           | DESCRIPTOR                                                                | TIPO DE DATO           | ESCALA      | AÑO DEL DATO-S | FUENTE                                                                   |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Cuenca de México  | Inundaciones                                                                 | Infiltración Potencial                 | Modelo de infiltración potencial                                          | Raster                 | 100m        | 2016           |                                                                          |
|                   |                                                                              | Índice de peligro por inundaciones     | Índice de peligro por inundaciones (municipio, delegación)                | Polígono               | 1:1'000,000 | 2016           | CENAPRED. 2016. Índice de peligro por inundación                         |
|                   |                                                                              | Índice de Vulnerabilidad de Inundación | Índice de Vulnerabilidad de Inundación (municipio, delegación)            | Polígono               | 1:1'000,000 | 2014           | CENAPRED. 2014. Índice de vulnerabilidad de inundación                   |
|                   |                                                                              | Riesgo de inundación                   | Modelo de riesgo de inundación                                            | Raster                 | 100m        | 2018           |                                                                          |
|                   | Hundimiento                                                                  | Hundimientos_ agrietamientos           | Zonas de hundimientos y agrietamientos históricos (municipio, delegación) | Polígono               | 1:1'000,000 | 2016           | CENAPRED. Zonas de hundimiento y agrietamiento históricos                |
|                   | Sistema de abastecimiento agua                                               | N.D.                                   |                                                                           |                        |             |                |                                                                          |
|                   | Desigualdad: Pobreza, marginación, educación, grado de escolaridad, escuelas | En proceso                             |                                                                           |                        |             |                |                                                                          |
|                   | OTROS TEMAS                                                                  | Red hidrográfica                       | Puntos de drenaje, corriente de agua, canal, cuerpos de agua              | Polígono, línea, punto | 1:50,000    | 2010           | INEGI. Red Hidrográfica, R.H. PÁNUCO, CUENCA R. MOCTEZUMA. Edición: 2.0. |

El proyecto se desarrolló teniendo en mente el tránsito hacia una ciudad más sostenible para lo cual el análisis que se llevó a cabo promueve la interacción entre profesionistas con múltiples habilidades y perspectivas. En este equipo aunando visiones de arquitectos, urbanistas, diseñadores urbanos, geógrafos, ecólogos, biólogos y ciencias ambientales, discutiendo e integrando diversas metodologías e información con la que cuenta el equipo. Esto con el fin de trascender el ámbito de la investigación y brindar elementos útiles para la toma de decisiones con respecto a la re zonificación de la Ciudad de México (CDMX), teniendo en mente los efectos del sismo de 2017.

La dinámica sísmica de la ciudad está relacionada con procesos a múltiples escalas. Para entenderla se consideró el manejo del suelo, en tres escalas. Estas escalas interactúan en procesos que están relacionados con la vulnerabilidad de las personas por los sismos de diferentes maneras.

La primera escala de estudio es la Escala de Cuenca, de resolución más pequeña. Esta escala permite comprender la interacción de las fallas, grietas, desplazamientos y subsidencias (hundimientos) en el territorio, mismas que se relacionarán con las áreas verdes y la dinámica hídrica. Las regiones naturales en la cuenca ocupan cerca de 2,260 km<sup>2</sup> en categorías que incluyen desde bosques primarios hasta cuerpos de agua, lo que representa el 24% del total de la cuenca, la cual tiene una superficie de 9,600 km<sup>2</sup> (INEGI, 2016). La densidad de área verdes y los diferentes tipos de vegetación generan modificaciones en la dinámica hídrica.

La segunda escala de estudio es la Escala Regional, en la cual intervienen la dinámica de la Zona Metropolitana que incluyen la Ciudad de México y algunos municipios del Estado de México que cuentan con políticas diferentes sobre el manejo territorial y la visualización de la información. Por ejemplo, del total de zonas verdes de la Zona Metropolitana es de 2,235 km<sup>2</sup>, de los cuales más de 700 km<sup>2</sup> se localizan en la Ciudad de México.

La tercera escala es la Local, en la cual los fenómenos puntuales como los socavones, la interacción con megadesarrollos, y la cantidad de áreas verdes por habitante influye tanto en la vulnerabilidad de las personas y su reacción frente a eventos sísmicos.

Dados los tiempos para el desarrollo de este proyecto el enfoque fue básicamente sobre la CDMX, donde además existe más información para hacer los análisis, pero se consideró dentro del contexto de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y que ésta está ubicada en la Cuenca de México.

De la interacción de las tres escalas se generaron conclusiones y acciones en términos de manejo territorial que permitirán promover la consolidación de la conservación en regiones importantes para el mantenimiento de servicios ecosistémicos que son los que reducirán la vulnerabilidad de las personas frente a sismos a partir de la reconstrucción. La metodología de este trabajo planteó la necesidad de abordar el análisis de información y datos a partir de un orden temático y de análisis espacial que va incrementando en complejidad, basándose en una adaptación de la metodología multi-capa territorial propuesta por Ian McHarg (2000) en *Proyectar con la Naturaleza*.

Primero se analizaron las capas temáticas de manera independiente para posteriormente agregar información de otras áreas temáticas de acuerdo con los objetivos planteados en el proyecto. El primer grupo de datos analizados correspondió a los de tipo biofísico, particularmente las áreas verdes y los servicios ecosistémicos que proveen, así como la información hidrológica a las diferentes escalas. El segundo grupo de datos e información correspondió a los riesgos y vulnerabilidades que se suman al análisis biofísico. Por último, se analizó el grupo de datos e información de tipo social y urbano. Cada componente de información por grupo se analizó primero de manera independiente, lo cual permitió una mejor definición y control de los cruces entre componentes y posteriormente de acuerdo con los grupos temáticos. El análisis del conjunto permitió llegar a las conclusiones del proyecto.

## 5.2. Metodología específica (por área)

### 5.2.1. Áreas verdes

#### Importancia de Áreas Verdes a diferentes escalas

Los beneficios que provee la naturaleza frecuentemente se ignoran y se pasan por alto en la toma de decisiones acerca del uso y manejo de los recursos. La explotación intensiva de los recursos naturales, con fines principalmente económicos, genera un gran deterioro en áreas naturales que perduran en el mundo. Esta sobreexplotación conlleva al agotamiento de la cobertura vegetal natural, erosión de suelos, deterioro de cuencas, extinción de especies entre otros. Estos efectos frecuentemente, derivan en considerables pérdidas económicas y sociales (Robertson y Wunder, 2005). Los ecosistemas proveen bienes y servicios ecosistémicos que permiten que se lleven a cabo procesos en las cuencas, regulan los ciclos hidrológicos, recargan los sistemas de agua subterránea, mejoran la calidad y cantidad de agua, recreación y belleza del paisaje, y permiten la captura de carbono, entre otros.

Este estudio presenta una síntesis de las áreas verdes en tres escalas, para conocer la dinámica y presencia de las mismas como proveedoras de servicios ecosistémicos. Es por ello que las siguientes secciones están enfocadas en las áreas verdes de la Ciudad de México por su importancia como proveedoras de servicios ecosistémicos y por su efecto de mitigación ante eventos que aumentan la vulnerabilidad de las personas como inundaciones, deslaves, entre otros.

27

#### 5.2.1.1. Distribución y proximidad de áreas verdes en la CDMX

La delimitación de las áreas verdes (AV) para la Ciudad de México, se realizó con base en imágenes de satélite Landsat 8, del 18 de mayo de 2018, donde se identificaron zonas verdes a partir del análisis del Índice de Vegetación Normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés). A través de este índice se reporta la actividad fotosintética de una zona, es decir, el “verdor” de las plantas. En general, este método se basa en el supuesto de que la vegetación fotosintéticamente activa absorbe la mayor parte de la luz roja y refleja gran parte de la luz infrarroja cercana (Bannari *et al.*, 1995). Por otro lado, la vegetación que está muerta o estresada refleja más luz roja y menos luz infrarroja cercana. Del mismo modo, las superficies sin vegetación tienen una reflectancia mucho más uniforme en todo el espectro de luz. El NDVI se obtiene dividiendo la diferencia entre las sumas de los espectros rojo e infrarrojo (Jones y Vaughan, 2010) de acuerdo con la

Fórmula 1:

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

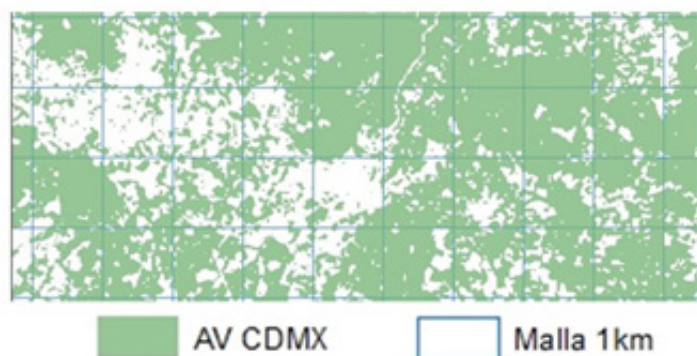
Dónde: NIR = Banda infrarrojo cercano, R = Banda roja

El intervalo de valores posibles que arroja la fórmula, oscila entre -1 y 1 unidades. Los valores negativos están asociados con zonas con agua y nieve. Valores positivos próximos a 0 (cero) representan zonas rocosas y/o desnudas que pueden presentar algo de vegetación hasta llegar a valores próximos a 0,3. A partir de este valor (0.3) se encuentra presencia de vegetación. Por lo tanto, cuanto mayor sea el valor, más densa será la vegetación hasta adquirir valores próximos a 1. Asimismo, no se hizo distinción entre ningún tipo de área verde, por lo cual, se incluyen todo tipo de vegetación donde el NDVI registró actividad fotosintética, como Suelo de Conservación, parques, camellones, áreas naturales protegidas, jardines, etc, interpretando dicha información como AV. Ahora bien, para entender la escala a la cual estamos trabajando, en este reporte se entenderá que un píxel equivale a un área mínima identificada de 15m<sup>2</sup>.

Con el mapa resultante de esta información, se realizó un análisis del tamaño y proximidad, lo cual nos permite conocer la cantidad, distribución y que tan cercanas o lejanas están las AV de la Ciudad de México.

28

Se realizó un cruce de información entre las AV y una malla con un tamaño por cuadrante de 1 km<sup>2</sup>. Con ello, se identificó el porcentaje de área verde por km<sup>2</sup> y la distancia promedio por km<sup>2</sup> o proximidad entre ellas, todo esto enmarcado en un análisis de cercanía entre las AV dentro de 1 km<sup>2</sup> (Figura 1 a y b), obteniendo la distancia promedio entre todas las AV del cuadrante. Esto permitió identificar aquellas zonas donde, además de existir más vegetación, estén más cercana (en metros lineales) a los habitantes en términos de presencia de AV.



**Figura 1 a** Áreas verdes por km<sup>2</sup>



**Figura 1 b** Ejemplo de conexión entre AV por km<sup>2</sup>

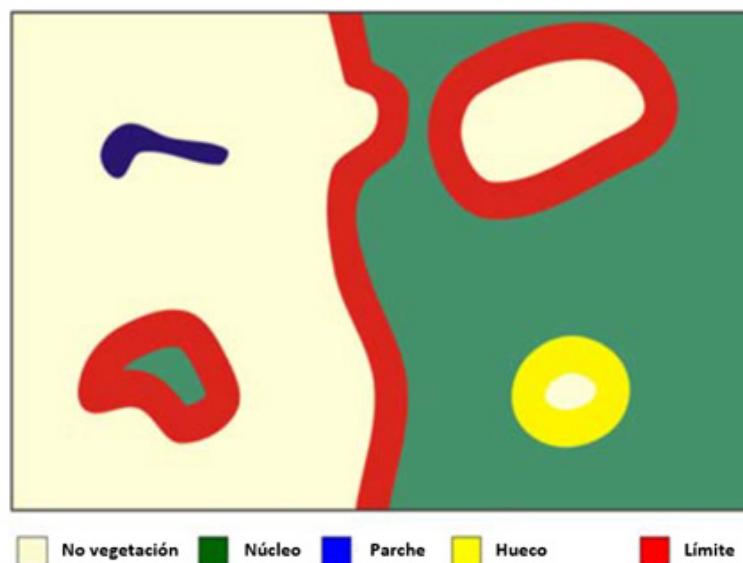
### 5.2.1.2. Fragmentación de paisaje en la Ciudad de México

La principal causa de fragmentación en la vegetación es el cambio de uso de suelo natural a antrópico, fenómenos y actividades como los asentamientos humanos irregulares, cultivos e infraestructura (Velázquez *et al.*, 2002). En la Ciudad de México, las zonas de vegetación fragmentada van en aumento y principalmente se localizan en Suelo de Conservación, ya que el crecimiento poblacional en las delegaciones que lo ocupan ha aumentado un 25.5% entre 1970 y 2010 (Aguilar y Escamilla, 2013) y en suelo urbano no existe reserva territorial que se ocupe para vivienda.

Por lo anterior, se realizó un análisis de fragmentación del paisaje para identificar aquellas zonas en las cuales es viable la implementación de corredores biológicos, y de esta manera proponer políticas públicas que ayuden a la preservación del Suelo de Conservación; asimismo dentro del suelo urbano también se pueden diseñar corredores de vegetación que conecten el suelo urbano con el Suelo de Conservación y de esta manera hacer asequibles los servicios ecosistémicos en la Ciudad de México.

El método analítico espacial se basó en la propuesta de Vogt *et al.* (2007), el cual permite identificar patrones espaciales a partir de cartografía de uso de suelo, utilizando un algoritmo donde se clasifican las zonas de vegetación de acuerdo con su forma, tamaño y conectividad, dando como resultado un modelo espacial de la vegetación clasificado en las siguientes categorías: hueco, límite, parche y zonas núcleo diferenciadas en tres tamaños (Figura 2 ).

29



**Figura 2** Tipos de patrones espaciales en la fragmentación del paisaje

## 5.2.2. Servicios ecosistémicos

Exploramos el potencial de las áreas verdes de la Ciudad de México en proveer servicios ecosistémicos urbanos para mejorar la resiliencia y la calidad de vida en la ciudad. En primer lugar, clasificamos los servicios ecosistémicos en tres categorías: servicios de provisión, regulación, y culturales. Los servicios de provisión son aquellos productos que se obtienen de los ecosistemas, incluyendo los recursos genéticos, alimentos y agua limpia. Los servicios de regulación son los beneficios que se obtienen a partir de la regulación de procesos ecosistémicos, como la regulación climática, hídrica o la calidad del aire. Los servicios culturales son todos aquellos beneficios no materiales de los ecosistemas, como el enriquecimiento espiritual, la generación de conocimiento o recreación. Para explorar el potencial de las áreas verdes en proveer estos servicios ecosistémicos usamos “proxys” en las tres categorías definidos a partir de la relevancia que estos tienen en el contexto del presente proyecto.

### 5.2.2.1. Servicios de Provisión – Provisión de agua

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México consume 61 m<sup>3</sup>/s de agua y está habitada por casi 20 millones de personas (SEDESOL *et al.*, 2012). La Ciudad de México tiene el mayor producto interno bruto (PIB) del país y enfrenta los problemas más severos relacionados con el agua (Maderrey y Jiménez, 2000). La principal fuente hídrica para la población de la Ciudad de México proviene de un acuífero explotado intensivamente y de fuentes externas como el sistema Lerma y Cutzamala. Como resultado, el suelo al que se le ha extraído agua se contrae y genera hundimiento del subsuelo en las zonas más bajas, que correspondían a zona de lago antes de ser urbanizadas y que registran inundaciones constantes en la estación lluviosa (Pérez y Blanco, 2010; Sosa-Rodríguez, 2010). La recarga del acuífero es sumamente importante para tener agua en la ciudad, es por ello, que hay que destacar la importancia de identificar aquellas zonas con mayor capacidad de infiltración como áreas de servicios ecosistémicos para la provisión de agua.

La capacidad de infiltración analizada a nivel de cuenca, se llevó a cabo a partir de un modelo espacial, empleando álgebra de mapas y de acuerdo con las características físicas del terreno (Zambrano , et al., 2017). Esta información es esencial para el manejo de agua en zonas urbanas, ya que está relacionada con la cantidad de precipitación que recibe una zona y cómo esta se infiltra al acuífero, todo esto con base en las variables que se presentan en la Tabla 4 .



**Tabla 4** Variables y coeficientes utilizados en el modelo de infiltración potencial

| VARIABLE           | RANGOS                  | COEFICIENTE |
|--------------------|-------------------------|-------------|
| Pendiente          | <2                      | 1           |
|                    | 2–4                     | 0.67        |
|                    | 4–8                     | 0.33        |
|                    | 8–1                     | 0.27        |
|                    | >12                     | 0.17        |
| Textura del suelo  | Arcilla                 | 0.25        |
|                    | Grava                   | 0.5         |
|                    | Arena                   | 1           |
| Uso de suelo       | Urbano y Cuerpo de agua | 0           |
|                    | Sin vegetación          | 0.25        |
|                    | Cultivos                | 0.5         |
|                    | Pastizales              | 0.9         |
|                    | Forestal                | 1           |
| Precipitación (mm) | >600                    | 0.1         |
|                    | 601-800                 | 0.15        |
|                    | 801-1000                | 0.6         |
|                    | 1001-1200               | 0.75        |
|                    | 1201-1500               | 0.9         |
|                    | >1500                   | 1           |

Cada una de las variables se dividió en rangos, asignado al de mayor importancia, para el proceso de infiltración, un valor máximo de 1 (uno), y un valor de 0 (cero) al de menor importancia (mi). Posteriormente, los valores de las siguientes categorías fueron determinados como proporcionales a su mediana, basadas en la categoría más baja (mij). Los valores resultantes de todos los rangos se multiplicaron por su área respectiva (A), y el resultado de todas las categorías se sumó. Finalmente, este puntaje se considera como el Potencial de Infiltración (IP) como se muestra en la Fórmula 2.

$$IP = \sum_{i=verylow}^j \left( A_{ij} * \frac{\mu_{ij}}{\mu_i} \right)$$

Donde: IP = Infiltración potencial, ji = coeficiente por variable

Para determinar el servicio ecosistémico de provisión de agua de las áreas verdes de la ciudad de México, la capa espacial de Potencial de Infiltración a nivel de cuenca, fue sobrepuesta con la capa de áreas verdes (Sección 5.2.1.1.), los límites de cada área fueron definidos a partir de la configuración de las áreas verdes. La capa resultante se dividió en cinco categorías, asignado al de mayor potencial de infiltración el valor de 5 y al de menor potencial de infiltración el valor de 1. La determinación de cada categoría se realizó con el método de quiebres naturales (Jenks, 1967).

### 5.2.2.2. Servicio de Regulación- Control de inundaciones

La capa del *proxy* del servicio ecosistémico de regulación de las áreas verdes de la Ciudad de México, control de inundaciones, se obtuvo a partir del mapa de inundaciones (Sección 5.2.5.4. Inundaciones) y el cruce con la capa de áreas verdes, para determinar si la presencia de áreas verdes influye en forma positiva en la reducción del riesgo de inundación. Los límites de cada área fueron definidos a partir de la configuración de las áreas verdes. La capa resultante se dividió en cinco categorías, asignado al de menor riesgo por inundación el valor de 5, es decir, el servicio de regulación de inundaciones es eficiente; en tanto que la categoría de mayor riesgo por inundación se le asignó el valor de 1, es decir un bajo desempeño del servicio de regulación de inundaciones. La determinación de cada categoría se realizó con el método de quiebres naturales (Jenks, 1967).

### 5.2.2.3. Servicios culturales

El *proxy* del aporte de servicios culturales de las áreas verdes de la Ciudad de México se incluyó como servicio ecosistémico relevante para la ciudad dado que éstas ofrecen invaluables servicios recreativos, espirituales, culturales y educativos; esenciales para la salud física y psicológica. El indicador se calculó con el índice propuesto por la Convención sobre la Diversidad Biológica (CBI, 2012), como:

$$[\text{Área de parques con áreas naturales y áreas naturales protegidas (ha)}] * 1000 \text{ personas}$$

\* Incluye también espacios verdes accesibles.

Este índice propone también los valores umbrales para cada categoría, los cuales utilizamos para asignar el valor entre 1 y 5 para definir cada una de las categorías, en donde el valor de 1 fue asignado a las áreas verdes de menor tamaño (<0.1 ha/1000 personas) en tanto que el valor de 5 fue asignado a las áreas de

mayor tamaño ( $> 0.9$  ha/1000 personas).

Valores umbrales para la asignación de las categorías:

1:  $< 0.1$  ha/1000 personas

2:  $0.1 - 0.3$  ha/1000 personas

3:  $0.4 - 0.6$  ha/1000 personas

4:  $0.7 - 0.9$  ha/1000 personas

5:  $> 0.9$  ha/1000 personas

### 5.2.3. Sistema sociodemográfico y urbano

La caracterización de los aspectos sociodemográficos y urbanos busca en general, comprender la estructura territorial y la distribución de grupos y actores en el territorio, pero con especial atención a aquellos en condición de riesgo por sismo. Esto permite saber si la vulnerabilidad de las personas en el territorio se reproduce y, por lo tanto, se magnifica, con otras vulnerabilidades asociadas, ya sea como falta de infraestructura y servicios básicos, presencia de otros riesgos, condiciones de movilidad y accesibilidad poco favorables, etc.

33

Por otra parte, se buscó relacionar esta caracterización con las capas del sistema biofísico. Tradicionalmente estos dos sistemas se han estudiado de manera independiente. La vinculación entre los servicios ecosistémicos del Suelo de Conservación y áreas verdes urbanas, la vulnerabilidad por sismo y la caracterización de grupos y actores con un espectro más amplio de sus vulnerabilidades permitirá comprender la estructura territorial de manera sistémica para plantear recomendaciones diferenciadas.

#### 5.2.3.1. Población y nivel socioeconómico (Ciudad de México)

Se presenta una progresión de mapas que muestran la siguiente información a un nivel de desagregación de Área Geoestadística Básica (AGEB) dividida en cinco o seis rangos distribuidos por quiebres naturales para la Ciudad de México:

- i) Distribución de población en números absolutos;
- ii) Distribución de densidad de población, o número de habitantes por hectárea. Al normalizar la población por unidad de superficie se ofrece una idea más detallada de dónde se concentra la población, dato indispensable cuando se refiere a riesgo y vulnerabilidad.

- iii) Distribución de nivel socioeconómico promedio clasificados en seis estratos (A/B, el más alto, C+, C, D+, D y E, el más bajo);
- iv) Índice de vulnerabilidad por nivel socioeconómico (IVNSE), un índice propuesto que combina población, concentración poblacional y nivel socioeconómico.

Para i) y ii), se utilizó el Sistema de Consulta de Información Censal (INEGI, 2010), mientras que iii) se basó en el Mapa Mercadológico de la Ciudad de México 2008 del Buró de Investigaciones de Mercado, S.A. de C.V (BIMSA, 2008).

El IVNSE (iv) se trata de un mapa elaborado a partir de la sobreposición de las capas de población total, concentración poblacional (densidad) y nivel socioeconómico por AGEB, las cuales fueron clasificadas en seis categorías mediante el método de quiebres naturales (Jenks, 1967), esto para coincidir con la escala de seis rangos del nivel socioeconómico. De los rangos obtenidos tanto para población total como densidad población se les asignaron los siguientes pesos: 1 para el valor de clase más bajo y 6 para el valor de clase más alto. Para el nivel socioeconómico se asignó un valor similar, siendo el nivel socioeconómico que presenta los mayores ingresos (A/B) el que presenta el valor más bajo (1) y el nivel socioeconómico de menor ingreso (E) el mayor peso tiene (6). Una vez obtenidos estos valores, se procedió a efectuar la siguiente operación, basada en la Fórmula 3:

$$\text{IVNSE} = ((P\_NSE * 0.7) + (P\_PobTot * 0.15) + (P\_DenPob * 0.15)) / 6$$

Donde:

IVNSE= Índice de Vulnerabilidad por Nivel Socioeconómico

P\_NSE = Ponderación del nivel socioeconómico

P\_PobTot = Ponderación de la clasificación de la población total.

P\_DenPob = Ponderación de la clasificación de la densidad poblacional.

En la operación anterior se aprecia cómo cada uno de los valores obtenidos es multiplicado por un factor, esto para darle uno mayor a ciertas capas respecto a otras. En este caso al valor de nivel socioeconómico se le dio un peso del 70% mientras que a los valores de población total y densidad poblacional un peso del 15% a cada uno; posteriormente se sumaron estos valores para ser divididos entre 6 y así obtener un valor

número más fácil de leer que va de 0 a 1, siendo aquellas AGEB con valores cercanos al 0 los que presentan poblaciones con más altos ingresos y menores cantidades y concentraciones de población, valores cercanos al 0.5 poblaciones con un nivel socioeconómico intermedio así como valores de concentración y población medios, y finalmente, aquellas AGEB con valores cercanos al 1, aquellas que presentan el mayor número, concentración y poblaciones con menor nivel socioeconómico.

Los resultados permitieron conocer las zonas donde se concentran los diferentes niveles socioeconómicos. De particular interés es el rango cercano a 1, concentración de población de nivel socioeconómico bajo, pues indica las zonas más vulnerables y donde el desastre sería de mayor impacto en términos de población afectada por ser alta en número y encontrarse concentrada.

### 5.2.3.2. Población e Índice de marginación urbana (ZMCM)

Se presenta una progresión de mapas que muestran la siguiente información a un nivel de desagregación de Área Geoestadística Básica (AGEB) dividida en cinco rangos distribuidos por quiebre natural para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México:

- i) Distribución de población en números absolutos.
- ii) Distribución de densidad de población, o número de habitantes por hectárea. Al normalizar la población por unidad de superficie se ofrece una idea más detallada de dónde se concentra la población, dato indispensable cuando se habla de riesgo y vulnerabilidad.
- iii) Distribución de Índice de Marginación Urbana.
- iv) Índice de Vulnerabilidad por Marginación Urbana (IVMU), un índice propuesto que combina población, concentración poblacional e Índice de Marginación Urbana.

Para i) y ii), se utilizó el Sistema de Consulta de Información Censal (INEGI, 2010), mientras que iii) se basó en el Índice de Marginación Urbana 2010 de CONAPO. El Índice de Marginación Urbana es una medida resumen que permite diferenciar AGEB urbanas del país según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, a los servicios de salud, la residencia en viviendas inadecuadas y la carencia de bienes. Contribuye a mostrar las disparidades territoriales que existen entre las AGEB urbanas al interior de las ciudades y entre zonas urbanas del país (CONAPO, 2012). El IVMU (iv) es un mapa elaborado a partir de la sobreposición de las capas de población total, concentración poblacional e Índice de Marginación Urbana por AGEB, las cuales fueron clasificadas en cinco categorías

mediante el método de quiebres naturales (Jenks, 1967). A los rangos obtenidos tanto para población total, densidad población e índice de marginación, se les asignaron los siguientes pesos: 1 para el valor de clase más bajo y 5 para el valor de clase más alto. Una vez obtenidos estos valores, se procedió a efectuar la siguiente operación basada en la Fórmula 4:

$$IVMU = ((P\_NSE * 0.7) + (P\_PobTot * 0.15) + (P\_DenPob * 0.15)) / 5$$

Donde:

IVMU = Índice Vulnerabilidad por Marginación Urbana

P\_IMU = Ponderación del Índice de Marginación

P\_PobTot = Ponderación de la clasificación de la población total.

P\_DenPob = Ponderación de la clasificación de la densidad poblacional.

En la operación anterior se aprecia cómo cada uno de los valores obtenidos es multiplicado por un factor, esto para darle uno mayor a ciertas capas respecto a otras. En este caso al valor de índice de marginación se le dio un peso del 70% mientras que a los valores de población total y densidad poblacional un peso del 15% a cada uno; posteriormente se sumaron estos valores para ser divididos entre 6 y así tener un valor numérico más fácil de leer que va de 0 a 1, siendo aquellas AGEb con valores cercanos al 0 los que presentan poblaciones con menor índice de marginación y menores cantidades y concentraciones de población, valores cercanos al 0.5 poblaciones con un nivel promedio de marginación y valores de concentración y población medios y finalmente, aquellas AGEb con valores cercanos al 1, aquellas que presentan el mayor número, concentración y poblaciones que presentan una mayor marginación urbana. Los resultados permiten conocer las zonas donde se concentran los diferentes grados de marginación. De particular interés es el rango cercano a 1, concentración de población con muy alto índice de marginación pues indica las zonas más vulnerables y donde el desastre sería de mayor impacto en términos de población afectada por ser alta en número y encontrarse concentrada.

#### 5.2.3.3. Población y desplazamientos (ZMCM)

Una movilidad y accesibilidad urbana eficiente es importante para el sano funcionamiento de cualquier zona urbana. Por el contrario, una movilidad deficiente se convierte en un factor de amenaza para aquellos que la sufren al exponerlos a una condición de “lejanía” de las oportunidades de la ciudad. Esta condición se magnifica en situaciones de riesgo y vulnerabilidad.

Aunque la movilidad y accesibilidad se componen de múltiples factores, un indicador importante de las mismas es el tiempo invertido por los habitantes para trasladarse. En este apartado se incluyen dos mapas que muestran el tiempo promedio de viaje en minutos, tanto desde los distritos origen como de los distritos destino de la Encuesta Origen Destino (EOD) en Hogares de la ZMCM (INEGI, 2017). Se incluyeron los viajes que tienen como motivo el empleo, por ser éste el motivo más recurrente de viajes.

El primer resultado (tiempo promedio desde distritos origen) representa los lugares desde donde se inician los viajes diarios hacia el empleo de la ZMCM y corresponde a los distritos donde se concentran los hogares o lugares de habitación de la población.

El segundo (tiempo promedio desde distritos destino), representa los lugares a los que llegan los viajes diarios hacia el empleo de la ZMCM, es decir, aquellos distritos donde se concentran las fuentes de empleo. La información se presenta dividida en cinco rangos distribuidos por quiebre natural para la ZMCM.

#### 5.2.3.4. Conectividad e intensidad de uso vial (ZMCM)

37

Aunado a los patrones de desplazamiento de la población, otro factor importante para la movilidad y accesibilidad son las propiedades de la red vial. Ya que los puntos de mayor conflicto en términos de movilidad y acceso los constituyen aquellos con baja conectividad y niveles altos de uso (gran cantidad de viajes), se utilizó un índice que combina estas dos características. En éste, denominado Índice de Vulnerabilidad por Conectividad e Intensidad de Uso Vial, se conjunta la información de conectividad vial, es decir, cuántos cruces o conexiones tiene cada vía, a la cual se le extrapoló la información de viajes totales por distrito de acuerdo a la Encuesta Origen Destino de la ZMCM (INEGI, 2017).

Cada una de estas capas de información fue reclasificada en cinco categorías a través del método de quiebres naturales para poder normalizar y relacionar los datos entre sí con resultados más legibles. Se asignaron los siguientes valores: 5 para las vialidades que presentaban una menor conectividad y 1 para las que presentaban una mayor conectividad; para los datos de la encuesta origen destino se asignó el valor de 5 para las vialidades presentes en los distritos que presenta un mayor número de viajes y 1 para aquellos con el menor número de viajes. Una vez obtenidas estas calificaciones para las vialidades, se procedió a sumar las dos columnas y dividir las entre 10, para así tener un número que va del 0 al 1, resultando en que

aquellas vialidades con un valor cercano al 0 son las que presentan la mejor condición, los mejores niveles de conectividad y menor número de viajes, y aquellas cercanas al 1, son las vialidades con un número mayor de viajes y una conectividad menor, representando de esta forma aquellas zonas con la condición más conflictiva y tendencia a la congestión pues presentan problemas de conectividad y gran cantidad de viajes a través de ellas.

#### 5.2.4. Estructura e infraestructura urbana

Cada mapa temático se obtuvo a partir del Sistema de Consulta de Información Censal (SCINCE-INEGI 2010) correspondiente a la Ciudad de México usando la capa de “ageb\_urb”. Sólo se utilizaron los campos “VIV23\_R”, que corresponden al porcentaje de viviendas que no disponen de drenaje, “VIV17\_R” que corresponde al porcentaje de viviendas que no disponen de agua potable entubada y por último, “VIV15\_R” que corresponde al porcentaje de viviendas que no disponen de electricidad. Estos indicadores hicieron posible identificar aquellas zonas de la Ciudad de México donde se carece de infraestructura de drenaje, agua potable entubada y electricidad.

##### 5.2.4.1. Estructura y servicios urbanos

La generación del mapa de Equipamientos de la Ciudad de México se obtuvo a partir del Sistema de Consulta de Información Censal (SCINCE-INEGI 2010) mediante la capa “servicios\_a” y del Marco Geoestadístico Nacional, cuya información vectorial contiene polígonos que identifican equipamientos urbanos, en este caso los correspondientes a la Ciudad de México.

Para obtener la capa final, se unió la información del Marco Geoestadístico Nacional y la capa “servicios\_a” para actualizar la información. Por último, se realizó una clasificación de los equipamientos que contiene esta cobertura con respecto a los subsistemas que componen al Sistema de equipamiento urbano (SEDESOL): Educación y cultura; Salud y Asistencia; Comercio y Abasto; Recreación y Deporte; Comunicaciones y Transportes, así como Administración pública y Servicios Urbanos.

Posteriormente se realizó el mapa para identificar todos los equipamientos y la clasificación del subsistema al cual pertenece la Ciudad de México. Se incluyó y complementó la información de áreas verdes con los datos generados sobre el tema para este trabajo.



#### 5.2.4.2. Infraestructura hidráulica

El mapa de abastecimiento de agua potable se elaboró con los datos vectoriales proporcionados por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Ing. Mauricio Hernández García por Dirección Técnica de SACMEX, 2017). El mapa contiene pozos concesionados por el SACMEX, baterías de pozos, plantas potabilizadoras y presas. Se requirió extraer aquellos puntos geográficos que forman parte de la infraestructura que abastece agua a la ZMCM. También se agregaron las capas vectoriales en líneas de los Sistemas Lerma y Cutzamala.

#### 5.2.4.3. Infraestructura sanitaria

Al igual que el mapa de abastecimiento se utilizaron los datos vectoriales proporcionados por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX, 2017). Se hizo una separación de datos para obtener los proyectos más importantes que conforman el Drenaje Profundo de la Ciudad de México. Los datos vectoriales contienen el sistema de emisores, interceptores y canales.

#### 5.2.4.4. Infraestructura eléctrica

Las líneas de transmisión y subestaciones eléctricas se obtuvieron mediante la extracción de las capas “linea\_trasm20\_l” y “subesta\_elec20\_p” de los Conjuntos de Datos Vectoriales de las cartas topográficas E14A29 a-f, E14A38 a-f, E14A39 a-f, E14A49 a-f, E14B21 a-f, E14B31 a-f y E14B41 a-f Escala 1:200,000 de INEGI 2008 a 2016. Posteriormente se unieron las capas para obtener una cobertura única que abarca la totalidad de las infraestructuras primarias de energía eléctrica de la ZMCM.

39

Además, se incluyeron las Centrales Eléctricas mayores a 100 MW que se encuentran en la ZMCM y abastecen de energía eléctrica a la región. Los datos vectoriales se obtuvieron del portal de Datos Abiertos de la Comisión Federal de Electricidad.

### 5.2.5. Amenaza y vulnerabilidad

#### 5.2.5.1. Inmuebles dañados por el sismo

La capa de inmuebles dañados por sismo es de suma importancia para este trabajo por representar una amenaza latente por el tipo de suelo y características geofísicas del territorio de la CDMX. Se utilizaron los puntos correspondientes a los inmuebles levantados, es decir, revisados en el sitio y registrados como afectados, por las brigadas de arquitectos e ingenieros coordinados por la Facultad de Arquitectura de la UNAM, en los días posteriores al sismo del 19 de septiembre de 2017 y georreferenciados por el

Laboratorio de Vivienda de la misma Facultad. De entre varios posibles insumos se optó por este por ser el más completo, incluso más que los de fuentes gubernamentales, dado que corresponde a todos y cada uno de los reportes de habitantes de inmuebles que solicitaron el apoyo de los brigadistas, ya fuera vía telefónica o a través del formulario que circuló en redes sociales.

La capa espacial de inmuebles dañados por los sismos de septiembre de 2017, es un archivo vectorial de 10,581 puntos. Dado que los puntos carecen de representación de área, se realizó el análisis de densidad de puntos para obtener áreas definidas por el número de inmuebles dañados. A través del análisis de densidad de puntos se calcula la densidad de las entidades de punto alrededor de cada celda ráster de salida. Conceptualmente, la vecindad se define alrededor de cada centro de celdas ráster y la cantidad de puntos que están dentro de la vecindad se suma y divide por el área de la vecindad. El radio de análisis fue de 500 m. y el tamaño de la celda de 100. El raster resultante fue dividido en cinco categorías, en donde el valor de 1 fue asignado a los valores más bajos, en tanto que el valor de 5 asignado a los valores más altos. La determinación de cada categoría se realizó con el método de quiebres naturales (Jenks, 1967). Los procesos y análisis se realizaron con el software ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2014).

A partir del modelo espacial generado por la densidad de inmuebles dañados durante los sismos de septiembre de 2017, se sobrepusieron las capas de la mayor cantidad de edificios dañados en los sismos de 1957, 1979, 1985 y 2017. La información de estos daños fue obtenida a partir de los mapas elaborados por el Dr. Eduardo Reinoso Angulo del Instituto de Ingeniería de la UNAM y desplegado por Evaluación de Riesgos Naturales (ERN). La superposición con base en los sismos anteriores se utilizó para comprobar la zonificación realizada que sufren de mayor destrucción en la ciudad a partir del sismo del 2017. Una vez validadas estas zonas, la capa de densidad de inmuebles dañados por los sismos de 2017 fue utilizada en el submodelo de vulnerabilidad.

#### 5.2.5.2. Zonificación Sísmica de la Ciudad de México

Se define Zona Sísmica como el área geográfica delimitada dentro de una región sísmica, en la cual la amenaza y el riesgo sísmico son similares y los requerimientos para el diseño sismorresistente son iguales (NTC-002-SPCDF-PV-2010; GODF, 4 Agosto 2010).

Las capas espaciales de la Zonificación Sísmica de la Ciudad de México con base en las Normas Técnicas de Construcción para Diseño por Sismos, 2004, se obtuvo del Atlas Nacional de Riesgo, Centro Nacional de Prevención de Desastres (<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx>); disponible a partir de las capas espaciales generadas en el estudio: Hundimientos y agrietamientos en la Ciudad de México, (Geociencias, 2017). El formato de descarga es kmz, por lo que cada capa fue procesada y transformada a formato shapefile. El proceso se realizó con el software ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2014).

### 5.2.5.3. Densidad de fracturas-grietas

La capa de fracturas se integró con dos fuentes de información: i) Fracturamiento (Geociencias, 2017), ii) Conjunto de Datos Geológicos Vectoriales, INEGI, escala 1:250,000. Las capas vectoriales fueron procesadas con la herramienta de sobreposición para integrarlas en una sola capa espacial. Posteriormente se realizó el análisis de densidad de líneas. El análisis densidad de líneas calcula la densidad de las entidades lineales en la vecindad de cada celda ráster de salida. La densidad se calcula en unidades de longitud por unidad de área. Conceptualmente, se dibuja un círculo alrededor de cada centro de celda ráster utilizando el radio de búsqueda. La longitud de la parte de cada línea que está dentro del círculo se multiplica por su valor de campo de población. Estos números se suman y el total se divide por el área del círculo. El radio de análisis definido para el análisis fue de 200 m. y el tamaño de la celda de 100 m. El raster resultante fue dividido en cinco categorías, en donde el valor de 1 fue asignado a los valores más bajos, en tanto que el valor de 5 asignado a los valores más altos. La determinación de cada categoría se realizó con el método de quiebres naturales (Jenks, 1967). Los procesos y análisis se realizaron con el software ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2014).

41

### 5.2.5.4. Subsistencia

La capa espacial de subsidencia fue generada a partir de información de bancos de nivel del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX). Los bancos de nivel son una red de nivelación ubicados en monumentos u objetos naturales distribuidos en la superficie terrestre, que guarda una elevación referida a un plano de comparación (Flores, 2009). La información original de SACMEX tiene un total de 2,022 bancos de nivel y contiene datos de 1983 a 2007, la revisión de estos sitios es de manera bianual, sin embargo, no todos los puntos tienen información en todas las fechas, es por ello que la base de datos original fue depurada y se mantuvieron sólo aquellos bancos de nivel que contaban con información en dos fechas: 1987 y 2007, reportando un total de 1,709 bancos de nivel con información continua para veinte años.

El mapa de subsidencia muestra los cambios en el terreno en metros, la información es a nivel puntual, por lo que se realizó una interpolación con el método Distancia Inversa Ponderada (IDW, por sus siglas en inglés) con un tamaño de píxel de 100 m. Utilizando este método se determinan los valores de la celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos y presupone que la variable disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación, la interpolación se realizó con el software ArcGis versión 10.2.

#### 5.2.5.5. Asentamientos Humanos Irregulares

Para la elaboración de este mapa se requirió la obtención de polígonos y número de Asentamientos Humanos Irregulares obtenidos de los datos vectoriales del Sistema de Monitoreo del Suelo de Conservación de la Ciudad de México de la Procuraduría Ambiental y Ordenamiento Territorial (PAOT). Estos datos se generaron en el año 2012 para el Atlas del Suelo de Conservación.

#### 5.2.5.6. Amenazas químicas

42

La presencia de actividades peligrosas por el manejo de sustancias químicas puede representar una amenaza para los habitantes de los territorios circundantes, ya sea por contaminación o emisiones (exposición a dichas sustancias), por riesgo de explosión o incendio, o por ambas.

Se elaboraron tres mapas, dos se refieren a la presencia y concentración de establecimientos del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN-INEGI, 2018) registrados en el Registro de Emisiones y Transportación de Contaminantes (RETC-SEMARNAT, 2016). Los establecimientos se presentan por sector económico: minería, construcción, comercio al por menor, industrias y servicios.

El mapa sobre concentración de estos establecimientos se utilizó la herramienta Densidad Kernel (Silverman, 1986), lo cual permite estimar los niveles de concentración de entidades en el espacio. El resultado de esta herramienta es un archivo del tipo Raster, en el cual en cada píxel se contiene el valor de densidad para estos establecimientos, los parámetros utilizados fueron: tamaño de píxel de 100 x 100 m y radio de búsqueda de 500 m.

#### 5.2.5.7. Ductos de combustible

La capa de red de ductos de combustible se obtuvo del Atlas Nacional de Riesgo, Centro Nacional

de Prevención de Desastres (<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx>). El formato de descarga es kmz, por lo que la capa fue procesada y transformada a formato shapefile. El proceso se realizó con el software ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2014).

### 5.2.5.8. Inundaciones

Un número importante de ciudades se han vuelto cada vez más vulnerables a las inundaciones, afectando a un mayor número de personas cada año (Balica *et al.*, 2012; Hallegatte *et al.*, 2013; Klomp, 2015). Estas inundaciones son consecuencia, entre otros factores, de los cambios en la dinámica hidráulica de la cuenca, provocada por el cambio de uso de la suelo (áreas verdes, bosques, etc.) a usos urbanos (Haddad y Teixeira, 2015; Zambrano *et al.*, 2017). Por ejemplo, cuando llueve en zonas altas sin urbanizar, las AV reducen la velocidad del agua que fluye hacia las zonas bajas, asimismo, aumentan la infiltración y minimizan la posibilidad de inundaciones (Jyrkama y Sykes, 2007). Sin embargo, al transformar y hacer permeable el suelo en zonas altas, el agua corre sin obstáculo alguno y la infiltración es prácticamente nula, aumentando la cantidad de agua que llega a zonas bajas y por ende se fomentan las inundaciones.

Por otro lado, la morfología y la dinámica hidráulica de la cuenca tienen un efecto en la frecuencia de inundaciones. Las zonas ubicadas con pendientes pronunciadas son menos susceptibles de inundarse (Bradshaw *et al.*, 2007), a diferencia de las zonas planas y con bajas altitudes (Pérez y Blanco, 2010; Versini *et al.*, 2010). Es por esto que, la conectividad del agua entre las unidades de paisaje, también afecta la velocidad y la cantidad de agua que fluye hacia a las zonas bajas (Kalantari *et al.*, 2014). Además, es necesario considerar la intensidad de la precipitación (Sankarasubramanian y Lall, 2003; Field *et al.*, 2012), ya que los eventos de inundación repentinas pueden aumentar la esorrentía de un cauce y las frecuencias de inundaciones (Versini, 2012). Además, la sobreexplotación de los acuíferos acelera el hundimiento, aumentando las zonas potencialmente inundables, a medida que los hundimientos se hacen evidentes en lugares de tierras bajas (Izazola, 2001; Zambrano *et al.*, 2017).

En este estudio se utilizó el modelo elaborado por Zambrano *et al.* (2018), empleando variables que tienen un impacto directo en la influencia y dinámica de inundación, tanto físicas como sociales. Se generó un mapa donde se muestran las áreas con diferentes riesgos de inundación<sup>1</sup>. Las variables que se emplearon en el modelo se muestran en la Tabla 5.

---

<sup>1</sup> Inundaciones chicas corresponden a encharcamientos menores a 50 km<sup>2</sup>, grandes son encharcamientos mayores a 50 km<sup>2</sup>.

**Tabla 5** Variables usadas en el modelo de inundación

| COEFICIENTE | ALTITUD<br>(MSNM) | PRODUCCIÓN<br>DE BASURA<br>(TON/KM²) | PRECIPITACIÓN<br>(MM) | DENSIDAD DE<br>ÁRBOLES (KM²) | HUNDIMIENTO<br>(CM/AÑO) | DENSIDAD DE<br>INUNDACIONES (KM²) |           | PENDIENTE |
|-------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|
|             |                   |                                      |                       |                              |                         | CHICOS                            | GRANDES   |           |
| 1           | 2217-2236         | 26.8-41.5                            | 1500-1800             | 5.5-24.3                     | -6.8                    | 17.9-46.2                         | 18.4-54.9 | 0-1       |
| 0.8         | 2237-2256         | 20.5-26.8                            | 1220-1500             | 2.6-5.5                      | -0.9                    | 9.4-17.9                          | 6.5-18.4  | 1.1-2     |
| 0.6         | 2257-2275         | 7.1-20.5                             | 1000-1200             | 1.2-2.6                      | -0.8                    | 4.8-9.4                           | 2.1-6.5   | 2.1-3     |
| 0.4         | 2276-2300         | 2.4-7.1                              | 800-1000              | 0.3-1.2                      | -0.7                    | 2.0-4.8                           | 0.6-2.1   | Mayor 3.2 |

Derivado de lo anterior, el modelo se elaboró con la siguiente Fórmula (5):

$$RI = \sum (A_{C_i}, SW_{C_i}, P_{C_i}, T_{C_i}, SK_{C_i}, F_{C_i}, SL_{C_i})$$

Donde:

RI = Riesgo de inundación

A =Altitud

SW = Producción de basura

P = Precipitación

T = Densidad de árboles

SK = Hundimiento

F = Inundaciones

SL = Pendiente

### 5.2.6. Modelo Multicriterio para el Análisis de Riesgo

En el presente estudio se utilizó la modelación multicriterio para priorizar los indicadores que permitan evaluar el riesgo para la población ante eventos sísmicos e inundaciones en la Ciudad de México. La modelación multicriterio se ha utilizado en numerosos estudios de resolución de conflictos ambientales (Malczewski, 1999; Rezaei-Moghaddam y Karami, 2008), debido a que estas técnicas permiten integrar de manera sistemática y rigurosa información de cualquier tipo tangible e intangible, dado que los algoritmos en los que se basa la modelación multicriterio hacen posible considerar en forma participativa y fundamentada cada uno de los factores, procesos y alternativas que son relevantes para alcanzar la meta definida. Para la construcción del modelo se utilizó el Proceso Analítico de Redes (PAR) para la toma de decisiones con dependencia y retroalimentación que hace posible manejar sistemáticamente toda clase de

dependencias y retroalimentaciones entre los componentes y criterios propuestos. El PAR permite incluir todos los criterios y factores tanto tangibles como intangibles relacionados con la selección de la mejor decisión, es decir permite tanto la interacción como la retroalimentación dentro de los componentes y sus elementos (en el presente caso de los indicadores) (Saaty, 2001).

La importancia de cada uno de los indicadores que integran el modelo se evaluó a través de comparaciones pareadas entre cada uno de los indicadores que están relacionados, a través de la aplicación de una matriz de comparaciones pareadas y una escala numérica llamada escala fundamental (Tabla 6), en la escala numérica cada uno de los valores corresponde con una expresión verbal. Para detectar posibles errores en la asignación de los valores o pesos ( $\omega$ ) se calculó la consistencia entre las comparaciones pareadas. La consistencia se interpreta como el grado de coherencia lógica entre las comparaciones pareadas y se define como la transitividad cardinal entre comparaciones (Escobar *et al.*, 2004), el valor de inconsistencia aceptable fue en todos los casos menor a 0.1 acorde a lo sugerido por Saaty (2001).

**Tabla 6** Escala Fundamental de asignación de valor.

| VALOR NUMÉRICO | DEFINICIÓN DE IMPORTANCIA  |
|----------------|----------------------------|
| 1              | Igual                      |
| 2              | Entre Igual y moderado     |
| 3              | Moderado                   |
| 4              | Entre Moderado y Fuerte    |
| 5              | Fuerte                     |
| 6              | Entre Fuerte y Muy Fuerte  |
| 7              | Muy Fuerte                 |
| 8              | Entre Muy Fuerte y Extremo |
| 9              | Extremo                    |

El proceso de construcción y estructuración del modelo consideró la experiencia del grupo de trabajo en los temas de arquitectura, urbanismo, diseño urbano, geografía, ecología, biología y ciencias ambientales. El modelo construido incluye los componentes e indicadores así como las interacciones entre ellos y sus retroalimentaciones definidos por el grupo de trabajo. El modelo de Riesgo se integra por tres componentes: Amenaza, Vulnerabilidad y Servicios Ecosistémicos, los cuales agrupan 16 indicadores (Tabla 7).

**Tabla 7** Componentes e indicadores del modelo multicriterio para evaluar el riesgo de la población ante eventos sísmicos e inundaciones.

| COMPONENTE              | INDICADORES                                          |
|-------------------------|------------------------------------------------------|
| Amenaza                 | Zonas sísmicas                                       |
|                         | Densidad de gasolineras-gaseras                      |
|                         | Subsidencia                                          |
|                         | Densidad de fracturas                                |
|                         | Industrias - riesgo químico                          |
|                         | Ducto de combustible                                 |
|                         | Densidad de inmuebles dañados por los sismos de 2017 |
|                         | Marginación + densidad de población                  |
| Vulnerabilidad          | Inundaciones                                         |
|                         | Infraestructura                                      |
|                         | Equipamiento                                         |
|                         | Asentamientos irregulares                            |
|                         | Conectividad vial y número de viajes                 |
| Servicios Ecosistémicos | Provisión de agua                                    |
|                         | Control de inundaciones                              |
|                         | Servicios culturales                                 |

5.2.6.1. Modelo espacial de Riesgo

Cada grupo de componentes se estableció como un submodelo independiente, cuyos indicadores que lo componen fueron definidos en el modelo multicriterio (Tabla 7).

Submodelo Amenaza

Cada una de las capas espaciales del componente Amenaza (Tabla 7) fue clasificada en cinco categorías, en donde el valor de 1 fue consistentemente asignado a los valores más bajos (i.e. menor densidad de gasolineras y gaseras), en tanto que el valor de 5 fue consistentemente asignado a los valores más altos (i.e. mayor densidad de gasolineras y gaseras); la determinación de cada categoría se realizó con el método de quiebres naturales (Jenks, 1967). Posteriormente cada capa espacial fue transformada a formato raster



con un tamaño de pixel de 100 m. En el caso de la capa de zonas sísmicas se definieron tres categorías. La categoría con valor de 1 se asignó a la zona sísmica I, dado que por sus características la amplificación de las ondas sísmicas es reducida y los movimientos son de corta duración. La categoría con valor de 3, se asignó a la zona II, que es la zona de transición. Y la categoría con valor de 5, se asignó a las zonas III a, b, c y d, que son zonas de lago, en donde el tipo de suelo de depósitos lacustres muy blandos y altos contenidos de agua, favorece la amplificación de las ondas sísmicas.

Aplicando el álgebra de mapas los valores resultantes fueron multiplicados por el peso ( $\omega$ ) obtenido para cada indicador en el modelo multicriterio, el proceso y análisis se realizó con el software ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2010). El submodelo de Amenaza se calculó como:

$$Amenaza = \sum (ZS * \omega_{ZS}, DGG * \omega_{DGG}, SS * \omega_{SS}, DFG * \omega_{DFG}, IRQ * \omega_{IRQ}, DC * \omega_{DC})$$

En donde:

ZS- Zonas sísmicas

DGG- Densidad de gasolineras-gaseras

SS- Subsistencia

DFG- Densidad de fracturas-grietas

IRQ- Industrias-riesgo químico

DC- Ductos de combustible

47

## Submodelo Vulnerabilidad

Cada una de las capas espaciales del componente Vulnerabilidad (Tabla 7) fue clasificada en cinco categorías, en donde el valor de 1 fue consistentemente asignado a los valores más bajos (i.e. menor densidad de inmuebles dañados en los sismos del 2017), en tanto que el valor de 5 fue consistentemente asignado a los valores más altos (i.e. mayor densidad de inmuebles dañados en los sismos del 2017); la determinación de cada categoría se realizó con el método de quiebres naturales (Jenks, 1967). Posteriormente cada capa espacial fue transformada a formato raster con un tamaño de pixel de 100 m.

Para el submodelo de vulnerabilidad se consideraron dos escenarios: 1) en donde la infraestructura y el equipamiento representan un factor de fortaleza y representan un indicador de baja vulnerabilidad, en este

caso el valor asignado a estas capas fue de 1. 2) en donde la infraestructura y equipamiento representan una debilidad porque se pierde o daña la infraestructura y el equipamiento a causa por ejemplo de sismos, por lo que representan un factor de alta vulnerabilidad; en este caso el valor asignado a estas capas fue de 5.

Aplicando el álgebra de mapas los valores resultantes fueron multiplicados por el peso ( $\omega$ ) obtenido para cada indicador en el modelo multicriterio, el proceso y análisis se realizó con el software ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2014).

El submodelo de Vulnerabilidad se calculó como:

$$Vulnerabilidad = \sum (DID * \omega_{DID}, MDP * \omega_{MDP}, IN * \omega_{IN}, IFE * \omega_{IFE}, EQ * \omega_{EQ}, AI * \omega_{AI}, CVNV * \omega_{CVNV})$$

*En donde:*

DID- Densidad de inmuebles dañados por los sismos 2017

MDP- Marginación + densidad de población

IN- Inundaciones

IFE- Infraestructura

EQ- Equipamiento

AI- Asentamientos irregulares

CVNV- Conectividad vial y número de viajes

### Submodelo Servicios Ecosistémicos

El submodelo de servicios ecosistémicos de las áreas verdes de la Ciudad de México, se incluyó como un elemento que permite mejorar la resiliencia y la calidad de vida en la ciudad, y por lo tanto puede tener un efecto positivo en disminuir el riesgo evaluado en el presente estudio.

Cada una de las capas espaciales del componente Servicios Ecosistémicos (Tabla 7) fue clasificada en cinco categorías en donde el valor de 1 fue consistentemente asignado a los valores más bajos (i.e. menor provisión de agua), en tanto que el valor de 5 fue consistentemente asignado a los valores más altos (i.e. mayor provisión de agua). La determinación de cada categoría se realizó con el método de quiebres naturales (Jenks, 1967). Posteriormente cada capa espacial fue transformada a formato raster con un tamaño de pixel de 100 m.

Aplicando el álgebra de mapas los valores resultantes fueron multiplicados por el peso ( $\omega$ ) obtenido para cada indicador en el modelo multicriterio, el proceso y análisis se realizó con el software ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2014).

## Modelo de Riesgo

Aplicando el álgebra de mapas se integraron cada uno de los submodelos antes descritos para obtener el modelo de Riesgo. Dado que el submodelo de vulnerabilidad tiene dos escenarios, se usaron ambos submodelos generando dos modelos de Riesgo. El proceso y análisis se realizó con el software ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2014).

Los modelos de Riesgo se calcularon como:

$$Riesgo_1 = (Submodelo\ de\ Amenaza + Submodelo\ de\ Vulnerabilidad_1) - (Submodelo\ de\ Servicios\ Ecosistémicos)$$

$$Riesgo_2 = (Submodelo\ de\ Amenaza + Submodelo\ de\ Vulnerabilidad_2) - (Submodelo\ de\ Servicios\ Ecosistémicos)$$

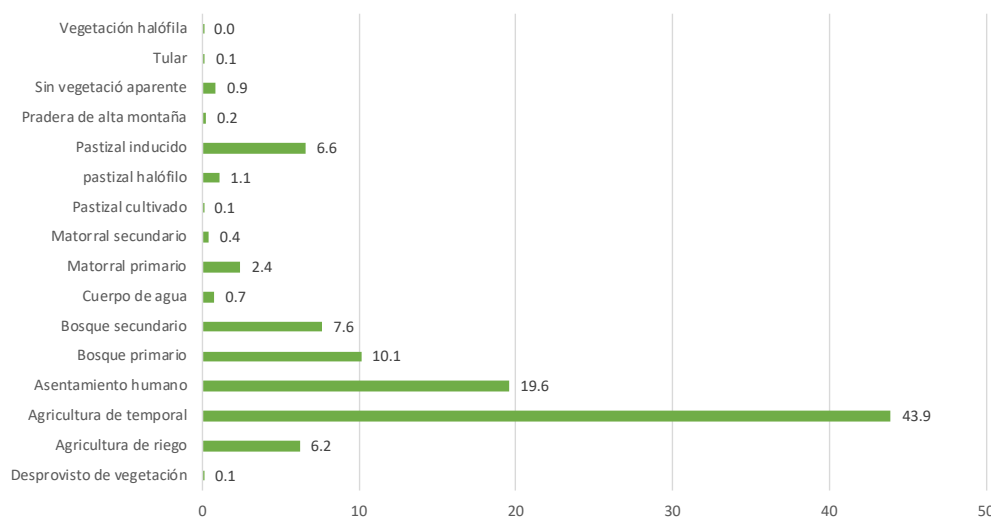
## 6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

## 6.1. Áreas verdes

### 6.1.1. Áreas verdes en la Cuenca de México

La Cuenca de México tiene una superficie de más de 9,600 km<sup>2</sup> la cual se localiza dentro los límites de los estados de Tlaxcala, Estado de México, Hidalgo, Puebla, Morelos y Ciudad de México (CDMX). Cuenta con extensiones de bosques muy importante para la recarga de los acuíferos que abastecen a la CDMX, al sur de la cuenca se localiza el Corredor Biológico Chichinautzin declarado como Zona de Protección de Flora y Fauna, al este se localiza el Parque Nacional Izta-Popo.

De acuerdo con la cartografía de uso de suelo y vegetación (INEGI serie VI, 2016), los usos de suelos antrópicos, como las zonas de cultivo y pastizales, cubren el 57% de la cuenca, mientras que los asentamientos humanos abarcan el 20% de la misma. Las regiones naturales en la cuenca principalmente bosques y matorrales, tanto en estado primario como secundario, ocupan cerca de 2,260 km<sup>2</sup>, lo que representa el 24% del total de la cuenca. Por lo anterior, la densidad de AV y los diferentes tipos de vegetación, generan modificaciones en la dinámica hídrica (Figura 3, Mapa 1).



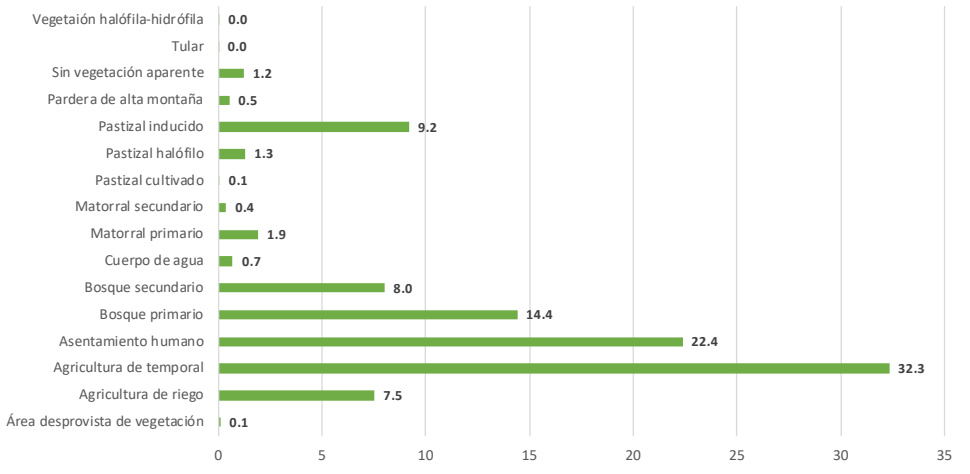
**Figura 3** Porcentaje de uso de suelo y vegetación en Cuenca de México.

### 6.1.2. Áreas verdes en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) tiene una extensión de más de 7,800 km<sup>2</sup>, colinda al norte con los estados de Hidalgo y México, al este con los estados de México, Tlaxcala y Puebla y al sur con los estados de México y Morelos, cuenta con 76 municipios dentro de sus límites y más de diez



millones de habitantes al 2010 (INEGI, 2014). Más del 60% de su superficie está cubierta por zonas de cultivo y asentamientos humanos, las áreas naturales como bosques y matorrales importantes para el proceso de infiltración son escasos y apenas cubren el 24% de la zona, además están expuestas a una fuerte presión de cambio de uso de suelo por el crecimiento urbano (Figura 4. En el Mapa 2 se presentan los usos del suelo y vegetación de la ZMCM.



**Figura 4** Porcentaje de uso de suelo y vegetación en ZMCM.

### 6.1.3. Áreas Verdes en la Ciudad de México

#### 6.1.3.1. Cantidad y proximidad de las AV en la Ciudad de México

La Ciudad de México se ubica dentro de una cuenca endorreica rodeada de montañas altas con vegetación original de bosque templado (González, 2012), cuyos remanentes están distribuidos en las delegaciones políticas Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan y Milpa Alta. Actualmente, más del 50% del territorio de esta ciudad se clasifica como Suelo de Conservación (SEDEMA, 2016), es por esto que en ocasiones se ha llegado a considerar que la Ciudad de México cumple con las recomendaciones internacionales que indican que cada persona debe tener acceso por lo menos a 9 m<sup>2</sup> de área verde. Sin embargo, si dejamos fuera el Suelo de Conservación debido a la poca accesibilidad de la mayoría de los habitantes de la Ciudad de México, el promedio de las AV por habitante dentro del suelo urbano de la ciudad, cambian drásticamente. En un estudio reciente realizado por Ayala *et al.* (2017, en prensa), reportan que la Ciudad de México cuenta con un promedio de 3.089 m<sup>2</sup> de AV públicas por persona.

En este sentido, el presente análisis espacial permitió identificar un total de 730 km<sup>2</sup> de AV en toda la Ciudad de México, incluyendo Suelo de Conservación, parques, camellones, áreas naturales protegidas y





jardines. Las dieciseis delegaciones que conforman la Ciudad de México cubren una extensión de 1,486 km<sup>2</sup>. Algunas delegaciones cuentan con Suelo de Conservación, clasificadas por el Programa de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal, la mayoría de la distribución espacial de Suelo de Conservación se localiza al sur de la ciudad en las delegaciones: Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco. Por lo tanto, respecto al total de la superficie total de la Ciudad de México, la delegacional Milpa Alta es la que cuenta con mayor superficie de AV con un 79%, seguida de Magdalena Contreras con 78%, Cuajimalpa con 73%, Xochimilco con 66%, Tlalpan con 62% y Tláhuac con 44% (Mapa 3).

A pesar de no estar entre las delegaciones con mayor superficie de AV, las delegaciones Álvaro Obregón y Miguel Hidalgo poseen AV de gran tamaño, lo cual representa el 38% y 28% respectivamente de la superficie total de cada una de las delegaciones ya mencionadas; también cuentan con sistemas de barrancas. Asimismo, los principales problemas que enfrentan estas delegaciones, en materia de AV, son el cambio de uso de suelo, pérdida de cobertura natural, descarga de aguas residuales, deforestación, asentamientos humanos irregulares, entre otros (SEDEMA, 2018).

El análisis también indica que las delegaciones más consolidadas, urbanizadas y más densamente pobladas, poseen menor superficie de AV. Por ejemplo, Gustavo A. Madero, Azcapotzalco e Iztapalapa tienen menos del 15% de su superficie con AV; Benito Juárez, Cuauhtémoc e Iztacalco menos del 5%. Finalmente, destaca la delegación Venustiano Carranza, la cual cuenta con menos del 3% de área verde dentro de su superficie (Figura 5).

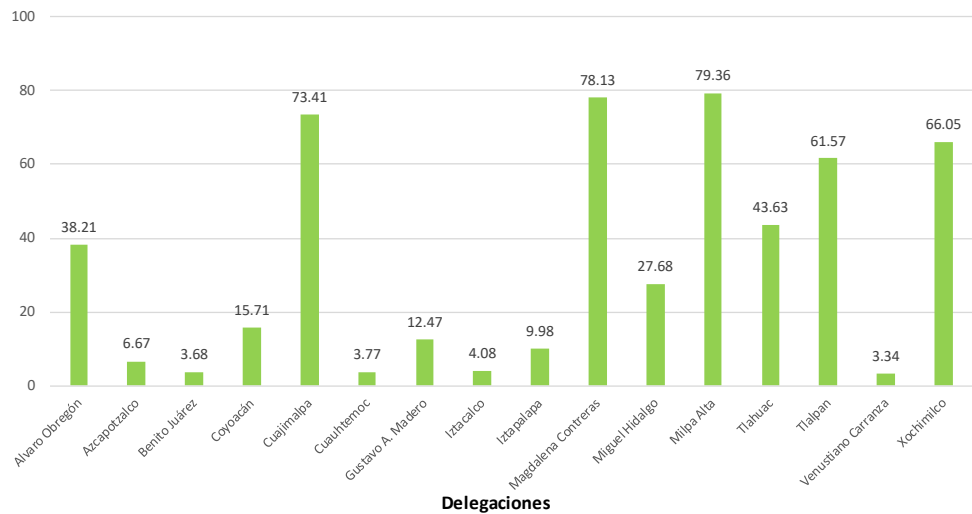


Figura 5 Porcentaje de áreas verdes por delegación

Respecto al tamaño y proximidad, el Mapa 4 indica el porcentaje de AV por km<sup>2</sup>, en el cual se observa que la presencia de AV en la zona centro-norte de la ciudad está por debajo del 10% por km<sup>2</sup> y son las delegaciones que concentran más del 50% de la población (INEGI, 2015). Esto es, por cada kilómetro cuadrado de superficie en estas delegaciones<sup>1</sup>, menos de 0.1 km<sup>2</sup> son AV, lo cual podría traducirse en porcentaje de superficie con potencial de infiltración. Ahora bien, el mismo comportamiento se observa en términos de proximidad a las AV y los habitantes (Mapa 5), el cual representa la cantidad de metros que toma trasladarse a cada una de ellas por km<sup>2</sup>. Esto significa que, entre más tenga que caminar una persona para encontrar un AV, el color indicativo en el mapa será en una serie de rojos, y si está cercana será en una gama de verdes (Mapa 5).

6.1.3.2. Fragmentación de paisaje en la Ciudad de México

De acuerdo con los resultados obtenidos por medio de la clasificación y método de análisis espacial propuesto de Vogt *et al.*, 2007 (Figura 6), el 48% de las AV corresponden a zonas núcleo (color verde), es decir, grandes extensiones continuas de vegetación; mismas que pueden presentar áreas de entre 100 (ha) y más de 200 ha. Asimismo, el 52% de las AV restantes, están fragmentadas, y se están clasificadas en el orden siguiente: 28% son huecos (color anaranjado) o zonas dispersas sin conectividad espacial entre cada una de las área de vegetación, 16% son zonas límites (amarillo) y 8% parches (rojos) (Figura 7, Mapa 6). En el Mapa 6, se observa el grado de fragmentación general que presenta la Ciudad de México.

Se resalta el porcentaje de AV en forma de parches (8%), ya que estos representan las AV urbanas (parque, camellones, jardines etc.), lo cual implicaría una referencia espacial en la geografía de la Ciudad de México para realizar políticas públicas de corredores biológicos dentro de suelo urbano.

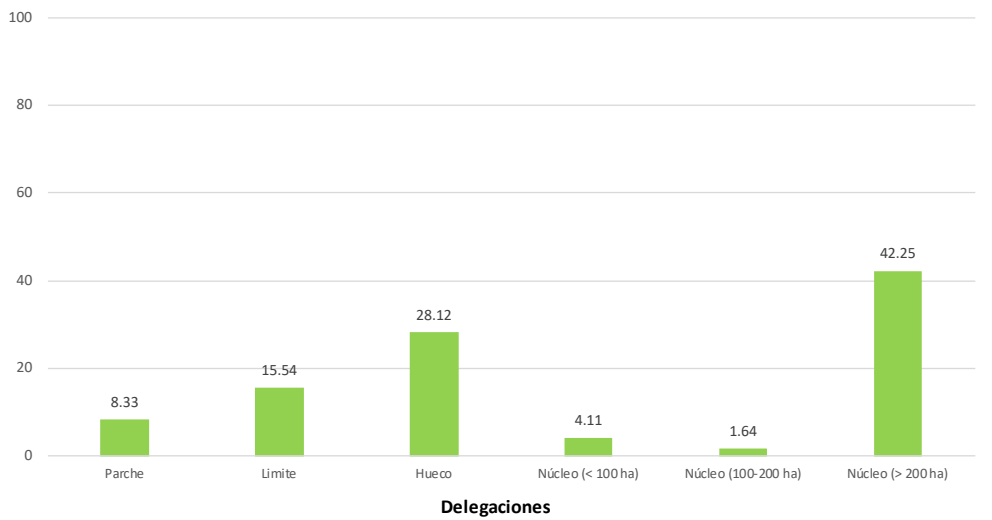


Figura 6 Porcentaje de patrón espacial en fragmentación del paisaje.

<sup>1</sup> Delegaciones Iztacalco, Iztapalapa, Azcapotzalco, Gustavo A Madero, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza.











## 6.2. Servicios Ecosistémicos

### 6.2.1. Servicio de Provisión-Provisión de agua

Como resultado se observa (Mapa 7) que la región sur de la cuenca de México es el área con mayor potencial de infiltración, en esta zona se caracteriza por montañas y uso de suelo forestal con valores más altos de precipitación en toda la cuenca. Otra zona de alto valor para la infiltración son las zonas de cultivo localizadas en la parte baja del sur de la ciudad, esto se debe principalmente a los suelos arenosos (Sanders, 1998) y el bajo grado de pendiente. La CDMX y la zona central de la cuenca son las zonas con los valores más bajos en infiltración, esto se debe a la pérdida de cobertura natural por el cambio de uso de suelo hacia coberturas antrópicas como asentamientos humanos y cultivos (Zambrano *et al.*, 2017) .

El servicio ecosistémico de provisión de agua en las áreas verdes de la Ciudad de México presentó un patrón espacialmente heterogéneo (Mapa 8). Las áreas de muy alto aporte de este servicio ecosistémico se presentan principalmente en el sur de la ciudad correspondiente a la zona del Suelo de Conservación, abarcando las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan y Milpa Alta, en donde uno de los factores más importantes es la presencia de bosques de pino, pino-encino y oyamel, lo que repercute en las condiciones que favorecen la infiltración de agua al subsuelo, no solo al interceptar la lluvia a través de sus ramas, hojas y tronco, sino al modificar las condiciones del suelo a través de la capa de protección de materia vegetal en el suelo. Otra zona importante de zona de recarga de agua se presenta en la Sierra de Santa Catarina localizada entre las delegaciones Tláhuac e Iztapalapa, así como en la Sierra de Guadalupe localizada en la delegación Gustavo A. Madero. Las áreas de moderada recarga de agua se presentan en las delegaciones Tlalpan (porción centro), Xochimilco, norte de Milpa Alta, y Tláhuac.

### 6.2.2. Servicio de Regulación-Control de inundaciones

El servicio ecosistémico de control de inundaciones en las áreas verdes de la Ciudad de México presentó un patrón espacialmente heterogéneo y fragmentado. Las zonas de mayor control de inundaciones se observan en la Sierra de Guadalupe (Gustavo A. Madero), Bosque de Chapultepec (Miguel Hidalgo), Cerro de la Estrella (Iztapalapa), Sierra de Santa Catarina (Iztapalapa y Tláhuac), y en áreas fragmentadas en la zona sur de la ciudad, correspondiente a la zona de Suelo de Conservación. Esta fragmentación en el sur de la ciudad es resultado de la deforestación de la zona, lo cual reduce la intercepción de la lluvia por parte de



la vegetación, favorece la compactación del suelo, incrementando el escurrimiento de las partes altas de la cuenca hacia las zonas bajas. El proceso de deforestación es resultado tanto de tala ilegal, asentamientos irregulares, así como, por el desarrollo de la actividad agricultura en la zona.

### 6.2.3. Servicios culturales

El mapa de servicios culturales de las áreas verdes de la Ciudad de México (Mapa 11), muestra que las áreas de mayor aporte de este servicio se localizan hacia el sur de la ciudad, y si bien representan áreas de gran importancia por su belleza escénica, la diversidad de paisajes y la oportunidad de tener en zonas relativamente cercanas a las zonas urbanas de la ciudad, opciones para el enriquecimiento espiritual, la generación de conocimiento o recreación; las limitantes del disfrute de estos servicios se deben principalmente a falta de accesibilidad y principalmente por la inseguridad que se presenta en las zonas particularmente en las áreas del Suelo de Conservación en el sur de la ciudad. De ahí que cobran especial relevancia, para el servicio ecosistémico cultural aquellas áreas localizadas en la zona urbana de la ciudad representadas por bosques y jardines, en donde si bien, actualmente su aporte es entre bajo y moderado, son zonas con alto potencial del servicio cultural. Uno de los principales factores que explican el bajo aporte de este servicio en las áreas verdes urbanas es la alta fragmentación, la falta de conectividad y la condición de deterioro de los mismos. Por lo que una alternativa para incrementar el valor del servicio cultural en ellos es generar corredores que permitan la conectividad entre áreas verdes urbanas, así como incrementar la diversidad de especies vegetales nativas y endémicas, así como la diversidad de paisajes, en donde intervengan en su diseño arquitectos, ingenieros y ecólogos, entre otros, creando espacios que se integren al entorno.









## 6.3. Sistema sociodemográfico y urbano

### 6.3.1. Población y nivel socioeconómico

En el Mapa 12 se muestra la población total de la CDMX en números absolutos a nivel AGEB dividida en cinco rangos distribuidos por quiebres naturales.

Se observan números elevados de población (primer y segundo rangos, rojo y naranja respectivamente) distribuidos prácticamente por todas las delegaciones de la CDMX. Destacan algunas AGEB al norte de la delegación Gustavo A. Madero así como la zona de Aragón; el corredor que va de Tepito a Tacuba pasando por las colonias Guerrero y Santa María La Ribera; la zona de Santa Fe hasta Vista Hermosa en las delegaciones de Álvaro Obregón y Cuajimalpa; Pedregal de Santo Domingo, Los Reyes, La Candelaria y Santa Úrsula en Coyoacán; buena parte de Iztapalapa; y el corredor que va desde Jardines del Sur hasta la zona de embarcaderos y pueblos de Xochimilco hasta San Gregorio Atlapulco y Santiago Tulyehualco. Cabe destacar que este mapa considera la población en números absolutos, es decir, ésta no se encuentra normalizada por unidad de superficie.

68

En el Mapa 13 se muestra la densidad poblacional de la CDMX a nivel AGEB, es decir, número de habitantes por hectárea, dividida en cinco rangos distribuidos por quiebres naturales.

Al normalizar la población por unidad de superficie este mapa ofrece una visión más detallada de dónde se concentra la población. Desaparecen de los rangos altos las zonas de Álvaro Obregón, Cuajimalpa, excepto Santa Fe, y Xochimilco, así como otras áreas puntuales como Pedregal de Santo Domingo en Coyoacán y el corredor de San Lorenzo Tezonco a todo el sur de Iztapalapa. Aparece la zona de Culhuacán al norte de Coapa y permanecen zonas similares en Gustavo A. Madero, sobre todo al norte de Acueducto de Guadalupe y en Aragón, y el corredor Tepito-Tacuba, que ahora muestra también la Unidad Habitacional Nonoalco-Tlatelolco.

En el Mapa 14 se muestra el nivel socioeconómico promedio por AGEB pertenecientes a la Ciudad de México, clasificadas en seis estratos (A/B, el más alto, C+, C, D+, D y E, el más bajo).

Se observa que los estratos más desfavorecidos, D y E, forman un anillo a lo largo de todo el límite sur de la mancha urbana (Suelo de Conservación) haciéndose más crítico en el oriente (Iztapalapa y Tláhuac). Estos estratos también se observan en el límite norte de la CDMX, pero ocupan un área menor (dado que el nivel socioeconómico es menor en municipios del Estado de México, como se observa en la siguiente sección), por ejemplo en la punta norte de Gustavo A. Madero (al norte del Cerro del Chiquihuite) así como la franja norte de Azcapotzalco (El Rosario e Industrial Vallejo).

El estrato más alto, A/B se encuentra concentrado en Polanco y Lomas de Chapultepec al poniente, y Jardines del Pedregal-San Jerónimo Lídice y Chimalistac al surponiente. Éste junto con los siguientes estratos, C+ y C, se concentran hacia el surponiente, comenzando por las colonias Cuauhtémoc, Anzures, Roma, Condesa y casi todas las Delegaciones Benito Juárez y Coyoacán, hasta llegar al anillo descrito en el párrafo anterior. No se ubican en estos estratos, aunque se encuentren en el surponiente, colonias como Pedregal de Santo Domingo, Los Reyes, Ajusco en Coyoacán, y Tacubaya, Observatorio y todas las pequeñas colonias de la antigua Santa Fe al sur de Constituyentes.

El Mapa 15 fue elaborado a partir de la sobreposición de las capas de población total, concentración poblacional y nivel socioeconómico por AGEb, las cuales fueron clasificadas en seis categorías mediante quiebres naturales. Los resultados permiten conocer las zonas donde se concentran los diferentes niveles socioeconómicos. De particular interés es el rango cercano a 1, concentración de población de nivel socioeconómico bajo, pues indica las zonas más vulnerables y donde el desastre sería de mayor impacto en términos de población afectada por ser alta en número y encontrarse concentrada. Destaca el anillo sur (Suelo de Conservación) y, sobre todo, Iztapalapa, así como Tacubaya y las colonias antiguas de Santa Fe, Pedregal de Santo Domingo, Aragón, las colonias en el extremo norte de Gustavo A. Madero (al norte del Cerro del Chiquihuite), Tepito, Obrera.











### 6.3.2. Población e índice de marginación urbana.

En el Mapa 16 se muestra la población total de la ZMCM en números absolutos a nivel AGEB dividida en cinco rangos distribuidos por quiebre natural.

Se observan números elevados de población en el contorno que bordea la mancha urbana (antes del desarrollo más disperso o en archipiélago). Destacan los municipios de Nezahualcóyotl, Chimalhuacán y Ecatepec al oriente; Tecámac, Coacalco y Tultepec al norte; Nicolás Romero al poniente; y Cuajimalpa, Álvaro Obregón al sur. En medio de la mancha destaca Pedregal de Santo Domingo-Los Reyes en la Delegación Coyoacán. Cabe destacar que este mapa considera la población en números absolutos, es decir, ésta no se encuentra normalizada por unidad de superficie.

En el Mapa 16 se muestra la densidad poblacional de la ZMCM a nivel AGEB, es decir, número de habitantes por hectárea, dividida en cinco rangos distribuidos por quiebre natural.

74

Al normalizar la población por unidad de superficie este mapa ofrece una idea más detallada de dónde se concentra la población (Mapa 17). Ya no se observa una corona completa de AGEBs de alta población. Éstos se concentran principalmente al oriente, sobre todo en Nezahualcóyotl y Chimalhuacán. Al poniente, destaca sólo una concentración al sureste de Naucalpan de Juárez. Al interior de la CDMX destacan concentraciones muy puntuales, como Pedregal de Santo Domingo en la Delegación Coyoacán y San Gregorio Atlapulco en Xochimilco.

En el Mapa 18 se muestra el índice de marginación urbana a nivel AGEB para la ZMCM. El índice de marginación urbana es una medida-resumen que permite diferenciar AGEB urbanas del país según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, a los servicios de salud, la residencia en viviendas inadecuadas y la carencia de bienes. Contribuye a mostrar las disparidades territoriales que existen entre las AGEB urbanas al interior de las ciudades y entre zonas urbanas del país (CONAPO, 2012). Se observa claramente que el grado de marginación aumenta en las zonas más periféricas, especialmente en el desarrollo disperso y desconectado en forma de archipiélago en los municipios más alejados de la ciudad central. Hay índices muy altos de marginación concentrados al oriente de la ciudad y relativamente cerca de la zona central en Chicoloapan, La Paz, Ixtapaluca, Chalco.

El Mapa 19 fue elaborado a partir de la sobreposición de las capas de población total, concentración poblacional e Índice de Marginación Urbana por AGEB, las cuales fueron clasificadas en cinco categorías mediante el método de quiebres naturales.

Los resultados permiten conocer las zonas donde se concentran los diferentes grados de marginación. De particular interés es el rango cercano a 1, concentración de población con muy alto índice de marginación pues indica las zonas más vulnerables y donde el desastre sería de mayor impacto en términos de población afectada por ser alta en número y encontrarse concentrada. Destaca sobre todo la zona formada por Iztapalapa, Nezahualcóyotl, Chimalhuacán, Ixtapaluca, Valle de Chalco y Chalco. En segundo lugar, Ecatepec, Nicolás Romero y Naucalpan de Juárez.











### 6.3.3. Población y desplazamientos (ZMCM)

En el Mapa 20 se muestra el tiempo promedio de viaje en minutos desde los distritos de la EOD, en los cuales se originó un viaje desde el hogar de los encuestados con dirección al trabajo.

Se observa que los distritos más desfavorecidos en términos de tiempo promedio de desplazamiento del hogar al trabajo son Chimalhuacán, Ixtapaluca, Chalco y el sur de la Delegación Tlalpan, sobre todo lo correspondiente a pueblos como San Miguel Ajusco, con tiempos promedio que oscilan entre los 77 y 87 minutos por viaje al trabajo. Le siguen Cuajimalpa y Magdalena Contreras al sur, Nicolás Romero al poniente, Coacalco-Tecámac al norte, y Iztapalapa, Tláhuac y el resto de Ixtapaluca al oriente, con tiempos promedio de 68 a 77 minutos. Las zonas con tiempos promedio de desplazamiento menores a 48 minutos se encuentran en la ciudad central: Cuauhtémoc, Benito Juárez, Iztacalco, la parte sur de Azcapotzalco, Miguel Hidalgo y Huixquilucan.

En el Mapa 21 se muestra el tiempo promedio de viaje en minutos desde los distritos de la EOD, en los cuales se originó un viaje desde el trabajo de los encuestados con dirección al hogar.

80

Se observa que, como es de esperarse, los distritos más desfavorecidos en términos de tiempo promedio de desplazamiento del trabajo al hogar se encuentran en las zonas concentradoras de empleo, mismas que se encuentran completamente concentradas en las Delegaciones centrales y el corredor que lleva a Santa Fe: Cuauhtémoc, Benito Juárez, Miguel Hidalgo, Álvaro Obregón y el poniente de Coyoacán, con tiempo promedio de 65 a 73 minutos. En el siguiente rango se encuentran los distritos que rodean a los anteriores llegando hasta los municipios de Tlalnepantla, Atizapán de Zaragoza, Naucalpan y Huixquilucan al poniente; las Delegaciones de Venustiano Carranza, Iztacalco e Iztapalapa al oriente; y el límite norte de Tlalpan y Xochimilco al sur. El tiempo de desplazamiento promedio en este rango de movilidad es de 41 a 53 minutos.

A partir de estas imágenes se analizará la cantidad, tamaño y distribución espacial de la AV, con el fin de correlacionarla con distintos fenómenos. Asimismo, se realizará un índice de tamaño distancia (relación tamaño de área verde vs. distancia al área verde más cercana), a partir de la distribución espacial de las mismas, verificando su homogeneidad en tamaño con respecto a los vecinos, la distancia entre ellas, calculando la superficie de área verde por delegación y la factibilidad de creación de corredores a partir de su distribución espacial.

#### 6.3.4. Conectividad e intensidad de uso vial (ZMCM)

El Índice de Vulnerabilidad por Conectividad e Intensidad de Uso Vial (Mapa 23) muestra que las zonas en los dos rangos más altos y, por lo tanto, más críticas en términos de la eficiencia de la red vial se encuentran sobre todo en toda la mitad sur de la Ciudad de México (Delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, Xochimilco, Iztapalapa, Coyoacán y Milpa Alta), especialmente en el límite con y sobre Suelo de Conservación. Esto se traduce en congestión vial, caos en horas pico e inminente colapso en caso de desastre, la única excepción es Tláhuac.

En segunda instancia, el poniente de la ZMCM muestra concentración de vialidades con baja conectividad y alto número de viajes, aunque predomina el segundo sobre el primer rango, especialmente en los municipios aledaños a la Ciudad de México como Huixquilucan, Naucalpan de Juárez, Tlalnepantla de Baz, Atizapán de Zaragoza, Nicolás Romero, Cuautitlán Izcalli, Tultitlán y Cuautitlán. Es sabido que son municipios desde donde se desplazan muchos trabajadores hacia los centros de empleo y otras oportunidades, concentradas en la ciudad central. Otros municipios, cercanos a los anteriores, pero no necesariamente inmediatos a la Ciudad de México, como Teoloyucan y Tepotzotlán, muestran condiciones críticas (rango más alto) en relación a la capacidad de su red vial y, en general, todo el Estado de México presenta condiciones pobres, salvo algunas zonas de Nezahualcóyotl y Valle de Chalco.









## 6.4. Estructura e infraestructura urbana

La estructura urbana establece el orden y la relación que existe entre los diferentes componentes de la ciudad, y los sistemas y subsistemas que la organizan. Se compone de elementos del medio natural y el construido que se entrelazan y combinan de diferentes maneras y gradaciones. La estructura urbana en las ciudades está sujeta a transformaciones constantes, aunque las de gran escala son poco frecuentes.

Las infraestructuras, entendidas como los sistemas de soporte de los procesos de urbanización, han sido identificadas como los motores del desarrollo urbano y la evolución de las ciudades. Históricamente, la implementación de la infraestructura acompañaba a la planeación urbana y determinaba la extensión y las posibilidades de expansión de los centros urbanos. Hoy en día muchas ciudades, particularmente en América Latina, se expanden sin planeación y sin infraestructuras que les den soporte, y se introducen de forma descentralizada, auto organizada y/o posterior al desarrollo. La infraestructura más dura, menos flexible, es cada vez menos costeable por lo que su diseño se ha ido modificando y adaptando para incorporar la multifuncionalidad, la participación de múltiples sectores y la de diversos actores urbanos.

86

La disposición de la estructura e infraestructura urbana condiciona, obstruye, permite, o fomenta formas de ocupación, e influye en el conjunto de actividades y relaciones sociales que se establecen en la ciudad. El crecimiento y expansión, operación y funcionamiento de las ciudades dependen de su estructura e infraestructura urbana cotidianamente y son puestas a prueba al enfrentarse a impactos, estrés y tendencias de transformación. El fortalecimiento de su capacidad de resiliencia es muy importante para reducir los riesgos y vulnerabilidad de las poblaciones que las habitan. En este capítulo se describen y analizan las condiciones básicas de la estructura e infraestructura urbana de la Ciudad de México y su relación con las áreas verdes para definir el potencial de transformación de dichos espacios hacia una reducción de riesgo y vulnerabilidad.

### 6.4.1. Estructura y servicios urbanos

La estructura alrededor de la ciudad se organiza inicialmente desde el espacio que ocupa el Centro Histórico, y aunque continúa siendo una estructura de significativa centralidad, se han configurado con el tiempo varios centros adicionales donde se concentran servicios, comercio, empleo y población.



Dichos centros se encuentran conectados por la red vial, particularmente a través de corredores viales, que a su vez orienta el desarrollo de otras redes y sistemas como el de agua, saneamiento, la electricidad, el metro, entre otras. En las décadas de los años cincuenta y sesenta se definieron vialidades primarias de gran importancia para la evolución y funcionamiento de la ciudad como el Circuito Interior (hoy Bicentenario), el Anillo Periférico y posteriormente los ejes viales. Sin embargo, la red vial pierde continuidad al entrar en contacto con el Estado de México con algunas excepciones como el Anillo Periférico o las vialidades que comunican con las salidas de carreteras a Toluca, Querétaro, Pachuca y Puebla.

Otro de los componentes importantes de la estructura urbana es el equipamiento, entendido como el conjunto de edificios y espacios, predominantemente de uso público, en donde se realizan actividades complementarias a las de habitación y trabajo, que proporcionan a la población servicios de bienestar social y de apoyo a las actividades económicas, sociales, culturales y recreativas. Se trata de un componente determinante de los centros urbanos y poblaciones rurales; la dotación adecuada de éste, determina la calidad de vida de los habitantes que les permite desarrollarse social, económica y culturalmente.

La distribución del equipamiento de la Ciudad de México, como en la mayoría de los centros urbanos, se distribuye a lo largo del sistema vial primario y crece en dimensiones y dispersión conforme se aleja del centro y subcentros hacia predios de costos más bajos, mayor espacio y disponibilidad en las zonas periféricas o de desarrollo más reciente. El equipamiento en las zonas más centrales se encuentra mejor distribuido pero sus dimensiones son de menor dimensión. En el Mapa 24 se muestran los servicios y equipamientos urbanos de la Ciudad de México.

87

#### **6.4.2. Infraestructura hidráulica**

Una de las mayores limitantes al desarrollo urbano es la incorporación de nuevas fuentes de abastecimiento al sistema de suministro de agua. Se calcula que desde la década de los años setenta se rebasó la relación entre la magnitud de la población y el volumen de agua disponible y desde hace décadas la ciudad cuenta con un alto grado de dependencia hidrológica del exterior (SEDUVI, 2003).

Aun cuando el 98% de la superficie urbanizada de la Ciudad de México cuenta con redes de distribución de agua potable existen graves deficiencias en el abasto, especialmente de las delegaciones periféricas

(SACMEX, 2012). Ejemplo de ello, es la situación de tandeo en que se encuentran diversas colonias del oriente y norte, así como diversos poblados rurales del sur de la ciudad, especialmente en zonas altas. Esto se debe tanto a los problemas de escasez en el suministro adicional de agua como a aspectos de la infraestructura, costos económicos y a la condición del funcionamiento técnico del sistema debido a la orografía de la propia cuenca de México.

En 2012 se suministró un caudal promedio de 31.2 m<sup>3</sup>/s compuesto por fuentes locales y externas; donde el sistema Lerma aportó 13% (4.0 m<sup>3</sup>/s), el sistema Cutzamala el 29% (9.0 m<sup>3</sup>/s), los pozos de la CDMX el 43% (13.6 m<sup>3</sup>/s), de los manantiales 3% (1 m<sup>3</sup>/s), 10% de los Sistemas Barrientos y Chiconautla (3 m<sup>3</sup>/s) y 2% de la Planta La Caldera (0.6 m<sup>3</sup>/s) (SACMEX, 2012). Para analizar correctamente la disponibilidad del recurso hídrico es necesario analizar también la calidad del agua tomando en cuenta sus características físicas, químicas y microbiológicas como indicadores importantes de acceso a dicho recurso.

Por otra parte, la dependencia de pozos de extracción para el abastecimiento de agua para uso y consumo humano, industrial y agrícola origina el abatimiento del nivel piezométrico y produce una depresión del terreno por la consolidación de los materiales del subsuelo, en especial las zonas arcillosas. La mayor parte de la Ciudad de México, especialmente hacia la zona de arcillas lacustres, presenta hundimientos del terreno, los cuales varían de una zona a otra de acuerdo con la constitución del suelo, los volúmenes de extracción de agua subterránea y los espesores de la propia capa de arcilla. En el Mapa 26 se muestra la disponibilidad de agua entubada en la Ciudad de México.

### 6.4.3. Infraestructura sanitaria

El sistema de drenaje de la Ciudad de México desde sus inicios fue planteado no sólo para proporcionar salida a aguas residuales y pluviales sino para drenar la cuenca hidrológica, endorreica originalmente, formada por una zona lacustre. La primera salida artificial del agua fue el Tajo de Nochistongo, construido sobre el Río Cuautitlán y terminado en 1789. Posteriormente, se construyó y puso en operación el Gran Canal de Desagüe terminado en 1900, con una longitud de 47 kilómetros de San Lázaro a Tequixquiac con dos túneles para desalojar agua hacia fuera de la cuenca. En 1975 empezó a operar el Drenaje Profundo, integrado por un Emisor Central y nueve Interceptores con una longitud total de 153.3 km. Finalmente, desde 2008 el SACMEX inició la construcción del Túnel Emisor Oriente, con una longitud de 62 km y 7 m





de diámetro, que representa una salida complementaria y alterna al Emisor Central, con el fin de abatir el riesgo de inundaciones. Estas obras representan las principales infraestructuras sanitarias de la ciudad, que se han ido desarrollando en el tiempo principalmente en respuesta a las inundaciones y en respuesta al crecimiento de la población.

La red primaria consiste en un sistema de drenaje de tipo combinado entre agua residual y pluvial formada por 128 sistemas de colectores. En 1995 se estimaba que la longitud de la red era de aproximadamente 1,375 km (SACMEX, 2012). El sistema incluye plantas de bombeo, tanques de tormenta, sifones, lagunas de regulación y un sistema de presas para el poniente de la ZMCM.

La red secundaria del sistema consiste en un conjunto de atarjeas que recolectan aguas residuales y pluviales que provienen de las descargas de los predios urbanos. Sus trayectorias han ido aumentando conforme se expande la urbanización, para el año 1995 se estimaba que la longitud de las atarjeas era de 9,000 km (SACMEX, 2012).

La Ciudad de México presenta una paradoja en relación con el problema hidráulico, por un lado, requiere de una fuerte inversión para la dotación de agua potable y, por el otro, utiliza una cantidad de recursos semejantes para el desalojo del agua residual y pluvial del sistema combinado. Al no separar las aguas pluviales se desaprovecha la posibilidad de reutilizar la misma debido a su calidad y genera saturación en temporada de lluvias, resultando en encharcamientos e inundaciones y en un incremento del riesgo en poblaciones vulnerables.

En cobertura de drenaje en 2011, el 94% de la población de la Ciudad de México contaba con infraestructura de drenaje (SACMEX, 2012). La prestación de este servicio presenta un patrón territorial que se torna más precario del centro hacia las periferias. La Delegación que menor cobertura presenta es Xochimilco con 89% de su población servida, seguida de Milpa Alta con 91%, según datos del Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2010) y el Plan de Acciones Hidráulicas 2005-2015 de SACMEX. En el Mapa 27 se presenta la disponibilidad de drenaje en la Ciudad de México, mientras que en el Mapa 28 se muestra la red de drenaje profundo que se extiende a la ZMCM.



#### 6.4.4. Infraestructura eléctrica

Las delegaciones de la Ciudad de México que aun cuentan con viviendas sin servicio eléctrico se concentran en Xochimilco, Tlalpan, Iztapalapa y Gustavo A. Madero. La Ciudad de México es la entidad con menor incidencia relativa de pobreza energética del país, en números absolutos la población afectada es todavía considerable. De acuerdo con cifras de INEGI (2012), el total de hogares que se encontraban en estado de pobreza energética en la Ciudad de México era de 392,000 hogares.

En 2016 en la Ciudad de México se consumieron 14,500 GW-h, que corresponden 20% del consumo total nacional. Se estima un incremento del 14% respecto a las cifras de 2016 para el año 2024 (CESCDMX-IPN, 2017). La Ciudad de México solo genera el 10% de la energía eléctrica que consume, el resto se importa de otros estados. Pertenecce a la Región de Transmisión 31 Central del Sistema Eléctrico Nacional. El sistema cuenta con cuatro TAR (Terminales de Abastecimiento y Reparto) dentro de la ciudad y una más en el Estado de México para abastecer de hidrocarburos a la ZMCM.

Por otra parte, uno de los sistemas que se ven más rápidamente afectados durante un evento de desastre, ya sea por origen geológico o hidrometeorológico es el servicio eléctrico. La Comisión Federal de Electricidad estimó que más de 3.8 millones de personas sufrieron cortes de energía después del sismo del 19 de septiembre de 2017. En el Mapa 29 se muestra la distribución de la red eléctrica en la Ciudad de México.







## 6.5. Amenazas y vulnerabilidades

### 6.5.1. Inmuebles dañados por el sismo

Durante los últimos sismos que han afectado a la Ciudad de México (1957, 1979, 1985 y 2017) existe un patrón sobre las zonas donde hubo mayor afectación a los inmuebles. Esto sugiere que la distribución espacial de los diferentes tipos de suelo, fracturas y zonificación urbana pueden estar relacionados con la afectación hacia la infraestructura. Por su parte, también es clara que la expansión del área de afectación conforme van pasando los años. Estos modelos corroboraron el modelo que se generó de manera independiente y únicamente con los datos del 2017, puesto que las zonas de mayor afectación fueron las mismas y este fue el enfoque principal de este proyecto.

Con el modelo que se generó a partir de tener únicamente los datos del 2017 se puede decir que aun cuando no se tiene claridad respecto al número total de inmuebles afectados en el sismo del 19 de septiembre de 2017 (Mapa 30), aproximándose a 11,079 inmuebles de acuerdo con las cifras reportadas por SEDUVI, 19% con clasificación roja destinados a demolición, su ubicación ha visibilizado la relación que mantiene el desarrollo urbano con la geología y el tipo de suelo sobre el que se desplantan los inmuebles. Las franjas que dibujan las localizaciones de los inmuebles con daños más severos coinciden con la intersección entre el suelo lacustre arcilloso y las formaciones geológicas de la zona de transición, particularmente en la zona poniente de la ciudad.

El análisis de densidad de puntos de los inmuebles dañados por los sismos de septiembre de 2017, mostró que la mayor densidad de moderada a muy alta se concentra en las delegaciones Cuauhtémoc, Benito Juárez, dos áreas en el centro de la delegación Iztapalapa y en la parte central de la delegación Xochimilco. El resto de las áreas se ubican en la categoría baja a muy baja.

Debido a que la afectación se genera prioritariamente en la zona de transición entre el lago y la zona montañosa, es necesaria una re-zonificación que involucre la vulnerabilidad de las personas frente a los sismos. Por ello, estas regiones deben de estar lo más libres de edificaciones y con áreas verdes que pueden mejorar la resiliencia de la ciudad, sobre todo con respecto al contenido de agua del suelo que es en parte lo que influye en la dispersión de la energía de las ondas sísmicas.



## 6.5.2. Zonificación Sísmica de la Ciudad de México

El Mapa 31 muestra las tres diferentes zonas sísmicas en las que se ha dividido la Ciudad de México. Para explicar las características de cada una de estas zonas tomamos la información oficial publicada en el Diario Oficial de la Federación (1993), así como, en la Gaceta Oficial del Distrito Federal (2010).

En el artículo 219 del Capítulo VIII, del Título Sexto del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 29 de enero de 2004), divide a la Ciudad de México en tres zonas:

*Artículo 219.- Para fines de este Título, el Distrito Federal se divide en tres zonas con las siguientes características generales:*

*Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta Zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas y de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena;*

*Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limoarenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros y,*

*Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variables de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.*

Adicionalmente en la NTC-002-SPCDF-PV-2010; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 4 Agosto 2010, se señala que la zona III se divide en cuatro subzonas: IIIa, IIIb, IIIc y IIId (NTC-002-SPCDF-PV-2010; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 4 Agosto 2010).



La Norma Técnica Complementaria al Reglamento de la Ley de Protección Civil del Distrito Federal, NTC-002-SPCDF-PV-2010, en el punto 1.4. Zonificación sísmica. señala:

Diversas investigaciones y trabajos científicos en materia de Ingeniería Sísmica, han dado como resultado una zonificación sísmica de la Ciudad de México, que muestra las zonas con mayor impacto y que presentan aceleraciones del terreno desfavorables para la estabilidad de la infraestructura civil. De esta forma las delegaciones con mayor riesgo sísmico de la ciudad son: Cuauhtémoc, Benito Juárez, Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco, Iztapalapa, Xochimilco y Tláhuac (NTC-002-SPCDF-PV-2010; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 4 agosto, 2010).

### 6.5.3. Densidad de fracturas-grietas

El análisis espacial de densidad de fracturas en la Ciudad mostró un patrón espacial heterogéneo. Las zonas de menor densidad (baja y muy baja) se presentan en la zona centro de la delegación Miguel Hidalgo, al sur de la delegación Cuajimalpa, al norte y sur de la delegación Álvaro Obregón y en la parte central de la delegación Magdalena Contreras. La densidad de fracturas fue entre baja y moderada en la delegación Cuauhtémoc y parte central de la delegación Xochimilco. En tanto que la mayor densidad de fracturas se presenta en las delegaciones Benito Juárez, zona centro de Gustavo A. Madero, al norte de Venustiano Carranza, zona centro y sur de Iztapalapa, noroeste de Tláhuac y, centro-este de Xochimilco.

### 6.5.4. Subsistencia

El rango de valores de subsistencia en el periodo 1987-2007 fue entre 7 y 8 metros, los valores positivos en la mayoría de los casos se consideran “errores” ya que se localizan en zonas cercanas a árboles y la raíces mueven la placa de lectura del banco de nivel.

Espacialmente la zona oriente de la Ciudad de México es la que presenta una mayor subsistencia con valores de -2 a -8 metros en veinte años o una tasa anual de 0.1-0.4 metros. Las delegaciones Venustiano Carranza e Iztacalco son las que presentan una mayor subsistencia, seguida de Gustavo A. Madero, Iztapalapa, una parte de la delegación Xochimilco y el este de la delegación Tláhuac. Esta zona de la ciudad coincide con el límite del ex lago de Texcoco donde se localizan los depósitos lacustres (Mooser, 1996). Al sur de la ciudad donde se localizan las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan y Milpa



**Mapa 32** Densidad de fracturas en la CDMX.









Alta, tienen tipo de suelo de volcánico y menos construcciones, por lo que el fenómeno de subsidencia se ve aminorado o nulo.

### 6.5.5. Asentamientos Humanos Irregulares

La población excluida del mercado formal de suelo y vivienda por su elevado costo encuentra una solución en la ocupación ilegal de áreas verdes, la mayoría de las veces en Suelo de Conservación que se encuentra en la periferia sur y poniente, junto con una serie de zonas puntuales al interior del suelo urbano. Estos asentamientos humanos irregulares terminan por ser regularizados expandiendo así el territorio bajo el uso de suelo urbano, incrementando las superficies impermeables y disminuyendo las áreas verdes junto con sus servicios ecosistémicos. Los asentamientos humanos irregulares se han desarrollado de forma dispersa, impactando negativamente al entorno natural. Por otro lado, las condiciones bajo las cuales se desarrollan estos asentamientos es de precariedad y carencia en el abastecimiento de servicios, equipamiento e infraestructura; marginación social e irregularidad jurídica de posesión del suelo.

106

Los asentamientos humanos irregulares se ubican en las delegaciones Cuajimalpa de Morelos, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón, Tlalpan, Xochimilco, Tláhuac, Milpa Alta, Iztapalapa y Gustavo A. Madero, abarcando zonas de transición entre lo urbano y lo rural, zonas agrícolas y forestales (Mapa 24). En el Inventario de Asentamientos Humanos Irregulares y Análisis de (PAOT, 2016) se detectaron 835 asentamientos, la mayor parte en Xochimilco (300) con un alto nivel de conurbación, seguido de Tlalpan (191) y Milpa Alta (114).

La Delegación representa la mayor tasa de crecimiento en superficie de asentamientos irregulares de 2010 a 2016 es Xochimilco (79.22%). Le sigue la Delegación Álvaro Obregón con una tasa de crecimiento de 62.69% y la Delegación Gustavo A. Madero con un porcentaje de 55.49%.

### 6.5.6. Amenazas químicas

En el Mapa 37 se muestra la distribución de establecimientos del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN-INEGI, 2018) registrados en el Registro de Emisiones y Transportación de Contaminantes (RETC) (SEMARNAT, 2016). De acuerdo al sector económico, se observa que solo existe un

establecimiento dedicado a la minería y se ubica en Ecatepec de Morelos y uno dedicado a la construcción, en Apaxco. El comercio al por menor de actividades contaminantes muestra incidencias puntuales, sobre todo en el límite entre la Ciudad de México y Estado de México (norte de Cuajimalpa, Tlalnepantla de Baz, Nezahualcóyotl, Venustiano Carranza, Iztacalco y, la más alejada, en Cuautitlán Izcalli).

Las industrias con actividad contaminante se encuentran más concentradas al norte de la Ciudad de México (Miguel Hidalgo, Azcapotzalco, Gustavo A. Madero) continuando sobre la Av. Gustavo Baz Prada hacia la Autopista México-Querétaro (Carretera 57D) (Tlalnepantla, Tultitlán y los Cuautitlanes), así como sobre la Autopista México-Pachuca (Carretera 85D) en el municipio de Ecatepec de Morelos y el municipio de Tizayuca en el Estado de Hidalgo. También hay incidencias puntuales en prácticamente todas las delegaciones de la Ciudad de México con mayor presencia en Iztapalapa. Los servicios registran también un patrón disperso sobre las delegaciones de la Ciudad de México y municipios inmediatos a ésta, sobre todo en el límite norponiente, con cierta concentración en Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Cuautitlán Izcalli.

La información anterior se detalla con el Mapa 38, en el cual se muestra el patrón de concentración de las actividades descritas anteriormente. Destacan los corredores industriales mencionados que van desde el norte de la Ciudad de México y sobre las Carreteras México-Querétaro y México-Pachuca, así como el municipio de Tizayuca.

En el Mapa 39 se observa la concentración de gaseras y gasolineras en la ZMCM. El patrón general es disperso y está presente en todo el territorio, correspondiendo con la presencia de asentamientos humanos/mancha urbana. Se observa mayor concentración en las delegaciones del norponiente de la Ciudad de México, Cuauhtémoc, Benito Juárez, Miguel Hidalgo, Azcapotzalco, y municipios aledaños circundantes del Estado de México, sobre todo Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán, Ecatepec, Nezahualcóyotl, La Paz, y Valle de Chalco.

### **6.5.7. Ductos de combustible**

La red de ductos de combustible en la Ciudad de México, se distribuyen principalmente en dos zonas del Mapa 40: i) al oeste de la ciudad y cruzan las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Miguel Hidalgo, Azcapotzalco y oeste de la delegación Gustavo A. Madero. ii) sureste de la delegación Tlalpan, oeste de

Xochimilco, Iztapalapa, Iztacalco, Venustiano Carranza y, este de Gustavo A. Madero. Es en las delegaciones Azcapotzalco y Gustavo A. Madero donde la red de ductos presenta mayor densidad.

### 6.5.8. Inundaciones

En el caso de inundaciones se elaboraron dos modelos, la diferencia entre ellos es el tamaño de encharcamiento. El primer modelo utilizó los encharcamientos chicos y muestra que el rango de altitud más bajo en la cuenca, entre 2,220 y 2,240 msnm, contiene el 70% de todos los eventos de inundación. Las zonas más bajas tienen una tasa de hundimiento mayor y es en estas zonas donde la cantidad de residuos sólidos (basura) genera mayor número de encharcamientos pequeños, de acuerdo a Zambrano *et al.* (2018) se observa una correlación de 0.70 entre los encharcamientos pequeños y la cantidad de residuos sólidos. Se observa que más de la mitad de la Ciudad de México tiene alto o muy alto riesgo de inundación, 32 y 25% respectivamente. En contraste solo el 6% de la ciudad se tiene muy bajo riesgo de inundación. La mayor parte de riesgo alto se localiza en la región centro, noreste y sureste de la ciudad, donde se concentra la mayor parte de la población (Mapa 41).

108

Los resultados empleando el modelo de encharcamientos grandes (inundaciones), indican que riesgo de inundación alto y muy alto representa el 25% del territorio, estos rangos se concentran principalmente en tres zonas; el sureste, centro-oeste y el noreste, donde predominan las zonas de alta montaña, es decir, el riesgo de inundación por grandes encharcamientos se observa en aquellas zonas en relación con la altitud y pendiente de la zona (topografía), por lo que se concentra el agua en las zonas más bajas cercanas a las áreas de descenso del flujo, estancada en las zonas bajas (Mapa 42). Los resultados basados en el modelo presentado sugieren que la geomorfología y el uso de suelo juega un papel importante en la vida urbana vulnerabilidad a las inundaciones (Hallegatte *et al.*, 2013; Klomp, 2015), particularmente para grandes inundaciones, que afectan significativamente la economía de la ciudad en el corto plazo.







**Mapa 38** ZMCM, Concentración de establecimientos con actividad contaminante por densidad Kernel a 500 m de radio









## **7. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGO**

## 7.1. Amenaza, vulnerabilidad y riesgo

Durante las últimas décadas las sociedades han tomado conciencia de que los desastres se pueden interpretar como el resultado de procesos de largo plazo, como es el caso de la frecuencia de incidencia sísmica destructiva en la Ciudad de México. Cuando un evento de desastre que desata pérdidas de vidas humanas y daños a infraestructuras se presenta en un contexto urbano como la Ciudad de México se hace visible y evidente la vulnerabilidad de la población y sus bienes. En un sentido técnico, la combinación de un evento de desastre, la exposición frente al mismo y la vulnerabilidad definen el riesgo (Figura 7). El riesgo, por lo tanto, representa la presencia de amenazas de desastre, exposición a estas amenazas y la vulnerabilidad de los sistemas y sociedades.



**Figura 7** Integración del riesgo. Elaboración propia a partir de las definiciones vigentes de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR, 2015)

Las Naciones Unidas desde la década de los años noventa han impulsado esfuerzos de escala global para la implementación y definición de políticas y medidas para reducción de riesgos de forma preventiva para evitar que los riesgos se conviertan en desastres e impacten a comunidades vulnerables. En la Segunda Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres que se celebró en Hyogo, Japón, en 2005 se estableció el Marco de Acción de Hyogo 2005-2015 con el objetivo de aumentar las resiliencia de las naciones y comunidades. En marzo de 2015, durante la Tercera Conferencia Mundial sobre Reducción de Riesgo de Desastres en Sendai se estableció el Marco de Sendai para la Reducción de Riesgo de Desastres 2015-2030 suplantando al Marco de Hyogo. En el Marco de Sendai se actualizaron la terminología e indicadores orientados a medir avances en la aplicación mundial de estrategias de reducción de riesgos. Bajo el Marco de Hyogo el Informe del grupo de trabajo intergubernamental de expertos de composición abierta sobre los indicadores y la terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres (UNISDR, 2015), presentado en la Asamblea General de las Naciones Unidas el 1 de diciembre de 2016 se

refiere a las siguientes definiciones:

**Amenaza:** *Proceso, fenómeno o actividad humana que puede ocasionar muertes, lesiones u otros efectos en la salud, daños a los bienes, interrupciones sociales y económicas o daños ambientales.*

*Las amenazas pueden tener origen natural, antropogénico o socio-natural, y pueden ser únicas, secuenciales o combinadas en su origen y sus efectos. Cada amenaza se caracteriza por su ubicación, intensidad o magnitud, frecuencia y probabilidad. Las amenazas biológicas también se definen por su toxicidad e infecciosidad, entre otras características.*

**Exposición:** *Situación en que se encuentran las personas, las infraestructuras, las viviendas, las capacidades de producción y otros activos humanos tangibles situados en zonas expuestas a amenazas.*

**Vulnerabilidad:** *Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad, los bienes o los sistemas a los efectos de las amenazas.*

**Riesgo de desastre:** *Posibilidad de que produzcan muertes, lesiones o destrucción y daños en bienes en un sistema, una sociedad o una comunidad en un periodo de tiempo concreto, determinados de forma probabilística como una función de la amenaza y la vulnerabilidad.*

118

El UNISDR establece que esta definición de *riesgo* refleja el concepto de suceso peligrosos y desastres como resultado de condiciones de riesgo constantemente presentes. El riesgo de desastres incluye diferentes tipos de pérdidas posibles que a menudo resultan difíciles de cuantificar. No obstante, conociendo las amenazas predominantes y las pautas de desarrollo humano y socioeconómico, los riesgos de desastres se pueden evaluar y cartografiar, al menos en líneas generales. Es importante tener en cuenta que los contextos sociales y económicos en que se dan los riesgos de desastres, así como el hecho de que las personas no necesariamente comparten las mismas percepciones del riesgo y los factores de riesgo subyacentes.

El nivel y calidad del desarrollo en gran medida determina la manera en que los eventos de desastre impactan en las sociedades. La gestión de riesgo ante eventos de desastre permite establecer estrategias y políticas de disminución de riesgo y manejo de riesgo residual contribuyendo al fortalecimiento de la resiliencia, la mitigación de las pérdidas y una aproximación hacia el desarrollo sostenible. En este proyecto se analizan las amenazas y vulnerabilidades, incluyendo las del reciente sismo del 19 de septiembre 2017, a través de un modelo multicriterio en un contexto interdisciplinario para desarrollar un análisis de riesgo



para la Ciudad de México, entendida desde una perspectiva de cuenca.

## 7.2. Modelo Multicriterio

La importancia de cada uno de los indicadores (los vectores de los pesos: 1, 2, .... n) se organizaron en la supermatriz no ponderada, en donde todas las comparaciones realizadas pueden ser leídas directamente. Para generar la matriz ponderada se normalizaron los pesos obtenidos, constituyendo la matriz estocástica. Los pesos finales de cada uno de los indicadores se obtuvieron calculando la matriz límite, elevando la matriz ponderada a potencias multiplicando la matriz por sí misma hasta alcanzar el límite. Los pesos finales para cada indicador se muestran en la Tabla 8 y su elaboración se detalla en el capítulo 5.2.6.

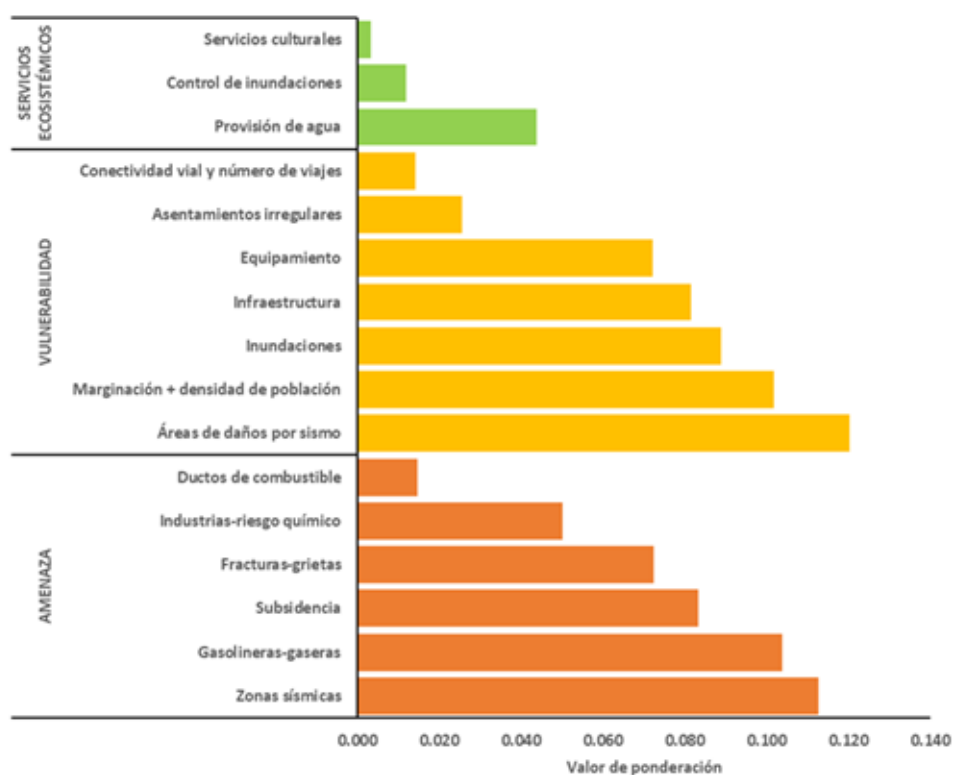
Modelo Multicriterio para el Análisis de Riesgo.

**Tabla 8** Ponderación de los componentes e indicadores del modelo multicriterio para evaluar el riesgo de la población ante eventos sísmicos e inundaciones, en la Ciudad de México.

| COMPONENTE              | INDICADORES                                       | PONDERACIÓN |
|-------------------------|---------------------------------------------------|-------------|
| AMENAZA                 | Zonas sísmicas                                    | 0.113       |
|                         | Densidad de gasolineras-gaseras                   | 0.104       |
|                         | Subsidencia                                       | 0.083       |
|                         | Densidad de fracturas-grietas                     | 0.072       |
|                         | Industrias-riesgo químico                         | 0.05        |
|                         | Ductos de combustible                             | 0.015       |
| VULNERABILIDAD          | Densidad de inmuebles dañados por los sismos 2017 | 0.12        |
|                         | Marginación + densidad de población               | 0.102       |
|                         | Inundaciones                                      | 0.089       |
|                         | Infraestructura                                   | 0.082       |
|                         | Equipamiento                                      | 0.072       |
|                         | Asentamientos irregulares                         | 0.026       |
| SERVICIOS ECOSISTÉMICOS | Conectividad vial y número de viajes              | 0.014       |
|                         | Provisión de agua                                 | 0.044       |
|                         | Control de inundaciones                           | 0.012       |
|                         | Servicios culturales                              | 0.003       |

El análisis de ponderación del modelo multicriterio mostró la importancia relativa de cada uno de los indicadores. De acuerdo con los resultados obtenidos los indicadores de mayor peso relativo son: a) densidad de inmuebles dañados por los sismos 2017, b) zonas sísmicas, c) densidad de gasolineras-gaseras, d) marginación+densidad de población, e) inundaciones, f) subsidencia y, g) infraestructura (Figura 8). Le siguen en importancia: a) densidad de fracturas-grietas, b) equipamiento, c) industrias-riesgo químico, d) servicio ecosistémico de provisión de agua, e) asentamientos irregulares. Los indicadores de menor peso relativo son: a) ductos de combustible, b) conectividad vial y número de viajes, c) control de inundaciones y d) servicios culturales (Figura 8).

**Figura 8** Ponderación de los indicadores para evaluar el riesgo de la población ante eventos sísmicos e inundaciones.



### 7.3. Modelo espacial de Riesgo de la Ciudad de México

El modelo de riesgo es el resultado de la sobreposición ponderada de las variables de tres componentes: amenaza, vulnerabilidad y servicios ecosistémicos. Las ponderaciones a cada variable fueron asignadas en un taller del equipo de trabajo con diferentes especialidades. A continuación se muestran y describen los resultados de cada uno de los submodelos correspondientes a dichos componentes.

### 7.3.1. Submodelo de exposición a amenazas en la Ciudad de México

El Mapa 44 muestra el resultado del submodelo correspondiente a las variables que se consideraron como amenazas. Como se muestra en la Figura 8 éstas son: zonas sísmicas (11.3%), densidad de gaseras y gasolineras (10.4%), subsidencia (8.3%), densidad de fracturas y grietas (7.2%), presencia de industrias que representan riesgo químico (5%), y presencia de ductos de combustible (1.5%), calculadas y representadas geográficamente de acuerdo con lo explicado en la sección de Metodología y expresado en cinco rangos que van de la amenaza muy alta (rojo) a la muy baja (verde oscuro).

El rango de amenaza muy baja se encuentra al sur de la CDMX, en las delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, Milpa Alta y la parte más al sur de Xochimilco, correspondiendo a Suelo de Conservación, aunque no a todo éste. El rango de amenaza baja va desde la franja restante al norte del Suelo de Conservación (zona de asentamientos de transición) hasta Miguel Hidalgo, el resto de Álvaro Obregón, la mitad surponiente de Coyoacán y la mitad de Xochimilco hasta el límite con Tláhuac. Igualmente se encuentran en este rango las zonas del Cerro de la Estrella y Sierra de Santa Catarina en Iztapalapa y Tláhuac.

Por otro lado, las zonas de amenaza alta y muy alta corresponden a los suelos de tipo lacustre o zona sísmica tipo III, comprendido en las delegaciones de Gustavo A. Madero, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, el oriente de Benito Juárez, Iztacalco e Iztapalapa y, aunque también coinciden con este tipo de suelo, se encuentran más bien en el rango de amenaza alta, Xochimilco norte y Tláhuac sur. Esto, ya que otras variables que se consideraron para construir este submodelo, como la densidad de gaseras y gasolineras y la subsidencia, son mayores al norte, en las primeras delegaciones mencionadas, que en Xochimilco y Tláhuac.

Además de las variables que se consideró que contribuyen a incrementar o construir la amenaza, es importante mencionar que las zonas que se encuentran en los rangos alto y muy alto también coinciden en gran medida con las más densamente pobladas: Iztapalapa, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Gustavo A. Madero (Mapa 12, Ciudad de México, Densidad poblacional (hab/ha) por AGEB.). En el caso de Xochimilco y, de nuevo, de Iztapalapa, la coincidencia se presenta también con la ubicación de población de niveles socioeconómicos bajos (Mapa 13 Ciudad de México, Nivel Socioeconómico por AGEB). Aunque la relevancia de estas capas se considera y discute en el submodelo de vulnerabilidad de la Ciudad de

México (ver 7.3.3), es claro que es en estos territorios donde la condición de amenaza es más preocupante ya que la probabilidad de daños humanos y materiales en caso de desastre es naturalmente mayor por el simple hecho de concentrar más población. Si a esto se le agrega la condición de pobreza, la construcción del riesgo es cada vez mayor.

### 7.3.2. Submodelo de Servicios Ecosistémicos de las áreas verdes de la Ciudad de México

En los Mapas 9, 10 y 11 se muestra el patrón espacial del aporte de servicios ecosistémicos de provisión de agua, control de inundaciones y servicios culturales de las áreas verdes (AV) de la Ciudad de México. En él se observa que la zona sur de la Ciudad de México, que corresponde a las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan y Milpa Alta, presentan un aporte muy alto para el grupo servicios ecosistémicos. En tanto que el aporte de la categoría alta, se presenta en las delegaciones Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuac. Todas las delegaciones de las dos categorías, corresponden al Suelo de Conservación.

122

Esta tendencia en el aporte de servicios ecosistémicos, se vincula con la relevancia que poseen estas áreas verdes para la sustentabilidad de las diversas actividades en la Ciudad de México, importancia que deriva de la estrecha relación entre los ecosistemas del Suelo de Conservación y su capacidad de infiltración de agua hacia los sistemas de agua subterránea. Dicha relación ha sido ampliamente discutida en investigaciones que dan cuenta del valor de los ecosistemas naturales en el mantenimiento y regulación de los flujos hidrológicos (Jujnovsky *et al.*, 2017, Mazari-Hiriart *et al.*, 2014). Adicionalmente, el alto valor otorgado a las áreas del Suelo de Conservación, se explica no solo por su influencia en la provisión y regulación hídrica, sino también por la existencia de sitios y espacios de importancia cultural (valor estético, recreación y desarrollo cognitivo, y oportunidades educativas).

Por otra parte, los parques, jardines y superficies con vegetación en suelo urbano de la Ciudad de México, están caracterizados por el aporte de SE en la categoría moderado y baja, si se compara con el Suelo de Conservación que va de alto a muy alto. El aporte de categoría moderada y baja se presenta principalmente en las delegaciones Miguel Hidalgo, Álvaro Obregón, Coyoacán, Xochimilco, Milpa Alta, Tláhuac, y en sectores específicos de Iztapalapa y Gustavo A. Madero. El bajo aporte de SE de las AV en el suelo urbano de la Ciudad de México, puede mejorarse a partir de conectar las AV de tamaño pequeños y medio con

otras más grandes. Si bien es cierto que, en el análisis espacial resultara que las AV urbanas aportan SE a escalas de mediano a bajo, las AV existentes en el suelo urbano tienen una importancia estratégica en la ciudad, como pequeños reservorios de SE, ya que, las AV proveen beneficios importantes para las personas que viven en las ciudades como ejemplo podemos indicar: la capacidad de infiltración del agua de lluvia, el mejoramiento en calidad y cantidad de agua, la captura de carbono, purificación del aire, reducción del ruido y la regulación de la temperatura, entre otros.

Estos SE, son indispensables para la calidad de vida de los habitantes de los centros urbanos, ya que inciden directa e indirectamente en la salud física y mental de las personas (Chiesura, 2004). Además, las AV proporcionan espacios recreativos para los habitantes, pudiendo beneficiar la construcción de un tejido social que se refleja en buenas relaciones interpersonales, arraigo a un barrio, la confianza entre los residentes y la seguridad de una zona (Butler y Oluoch-Kosura, 2006). Sin embargo, el papel de las AV en la prevención y reducción de desastres naturales suele pasar desapercibido.

Cada vez existe más evidencia de que la reducción de los espacios verdes en las ciudades está directamente relacionada con una tendencia a incrementar los desastres naturales (Khoshtaria y Chachava, 2017). Con la desaparición de la naturaleza urbana disminuye también la biodiversidad y las zonas con capacidad de infiltración con la consiguiente pérdida de SE. La reducción progresiva de las AV no solo afecta la biodiversidad urbana, sino que disminuye la resiliencia de los ecosistemas urbanos. Un claro ejemplo de esto se observa en las lluvias en la Ciudad de México, cada vez más frecuentes, que son muy abundantes y en poco tiempo descargan una gran cantidad de agua. Este fenómeno genera inundaciones que provocan daños a la infraestructura urbana y particular, disminuye la capacidad de movilidad y seguridad de las personas. Las AV en estos casos mitigarían este tipo de eventualidades, aumentando la resiliencia de la ciudad.

A pesar de su importancia, los beneficios de las AV son ignorados en la toma de decisiones respecto al manejo y ordenamiento territorial. Históricamente, la urbanización basada en el mercado, ha generado un enorme deterioro en las áreas naturales, lo que conlleva al agotamiento de la cobertura vegetal natural, la erosión del suelo, y el desplazamiento de la fauna local. Todo esto tiene efectos en la vida cotidiana de los habitantes de las ciudades ya que frecuentemente, derivan en considerables pérdidas económicas y

sociales (Robertson y Wunder, 2005) y reduciendo la resiliencia urbana (Roy *et al.*, 2011).

Lo anterior, representa una oportunidad para que los planificadores urbanos y tomadores de decisiones de la CDMX, estén abiertos a prácticas que aseguren ordenamientos territoriales más adaptativos, que consideren tanto el efecto de eventos catastróficos como cambios a largo plazo, y el beneficio proporcionado por las AV tanto en el Suelo de Conservación como en suelo urbano.

La planeación urbana de una ciudad contemporánea debe responder a los que la habitan (humanos, flora y fauna), realizando intervenciones que humanicen el entorno social; mejoren los espacios tomando como eje rector el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible y tomen en cuenta que un ecosistema urbano tiene infinidad de dimensiones, a múltiples escalas y diferentes grados de complejidad.

### 7.3.3. Submodelo de vulnerabilidad de la Ciudad de México

Como se explica en el capítulo 5.2.6. Modelo Multicriterio para el Análisis de Riesgo, para el submodelo de vulnerabilidad se usaron dos escenarios: 1) con infraestructura y equipamiento y 2) sin infraestructura y equipamiento, para modelar cuando ésta se daña por un evento catastrófico. Como resultado de estos escenarios, se presentan dos submodelos de vulnerabilidad que responden a cada una de estas condiciones.

En el submodelo de vulnerabilidad con infraestructura y equipamiento se toma en cuenta que la presencia, distribución y ubicación del equipamiento y la infraestructura son importantes en el proceso de atención a emergencias frente a un desastre, particularmente aquellos que son súbitos como los sismos. El equipamiento que se mantiene en operación durante el periodo de emergencia frente a un desastre reduce el riesgo de las comunidades dando atención a afectados y permitiendo la organización de la ayuda. La infraestructura que no se ve afectada o que se restablecen sus funciones rápidamente posterior a un evento de desastre, permite reducir el riesgo de la población en general, sea afectada directamente por el desastre o no. En el Mapa 46 del Modelo de Vulnerabilidad con infraestructura y equipamiento se puede observar que las zonas con vulnerabilidad muy alta corresponden a la parte central y nororiente de la ciudad que comprende a las delegaciones Benito Juárez, Cuauhtémoc en casi toda su extensión. En las delegaciones Iztapalapa, Iztacalco y Venustiano Carranza la vulnerabilidad es amplia pero la presencia de equipamiento e infraestructura permite que se reduzca a alta vulnerabilidad en porciones significativas de su territorio. Por otro lado, las delegaciones de Coyoacán, Tláhuac, Xochimilco, Gustavo A. Madero

y Miguel Hidalgo presentan zonas puntuales de vulnerabilidad muy alta que abarcan menos de la mitad del territorio. En Coyoacán resalta la concentración de vulnerabilidad del Pedregal de Santa Domingo y en Xochimilco las zonas al sur de los canales chinamperos, debido a la presencia de mayor densidad de población e índices de marginación elevados que incrementan la vulnerabilidad de estas comunidades. Las delegaciones de Azcapotzalco, Milpa Alta, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Cuajimalpa y Tlalpan corresponden a las delegaciones con índice de vulnerabilidad moderada, baja y muy baja, dependiendo de su proximidad con áreas verdes y Suelo de Conservación. La mayor parte del suelo urbano de la Ciudad de México presenta vulnerabilidad moderada, y conforme el suelo urbano se acerca a las zonas de Suelo de Conservación y a áreas verdes las áreas de vulnerabilidad baja se incrementan.

En el submodelo de vulnerabilidad sin equipamiento e infraestructuras la vulnerabilidad mostrado en el Mapa 47 se expande e incrementa a la categoría vulnerabilidad muy alta. Las delegaciones de Benito Juárez y Cuauhtémoc permanecen en una vulnerabilidad similar a la presentada en el submodelo que considera el equipamiento y la infraestructura, sin embargo, delegaciones como Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco e Iztapalapa incrementan su vulnerabilidad de moderada y alta a muy alta en gran parte de su demarcación. Las delegaciones de Coyoacán, Xochimilco, Tláhuac, Azcapotzalco y Miguel Hidalgo presentan un aumento significativo de las zonas de vulnerabilidad muy alta y alta. Las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, Milpa Alta presentan muy poca diferencia respecto al Mapa 46 de vulnerabilidad con presencia de equipamiento e infraestructuras. Para ambos modelos la proximidad con áreas verdes y Suelo de Conservación reducen la vulnerabilidad.











### 7.3.4. Modelo de Riesgo de la Ciudad de México

Los modelos de riesgo se obtuvieron a partir de la suma de la ponderación de amenazas y vulnerabilidades restando vulnerabilidad en el caso de la presencia de servicios ecosistémicos. Como resultado del análisis espacial de superposición ponderada se identificaron cinco categorías de riesgo para la Ciudad de México que se presentan en los Mapas de Modelo de Riesgo 48 y 49.

En el Mapa 48 se muestra el modelo de riesgo considerando la presencia de equipamiento e infraestructura y se evidencia el riesgo muy alto bajo el cual se encuentran las delegaciones centrales de Benito Juárez, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza e Iztacalco. La zona de riesgo muy alto se extiende ampliamente a otras delegaciones como Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y la Gustavo A. Madero. En estas delegaciones se pueden observar áreas dispersas de riesgo moderado y alto que responden a la consideración de la presencia de equipamiento e infraestructuras como reductores de vulnerabilidad. Las delegaciones de Coyoacán y Azcapotzalco presentan condiciones similares principalmente de riesgo alto y moderado en un patrón mucho más homogéneo que otras delegaciones. La Delegación Miguel Hidalgo es particular porque presenta poca superficie en riesgo alto y el resto dividido entre el resto de las categorías de riesgo hasta la verde que corresponde con la zona de riesgo bajo de las barrancas y lomerío del poniente. Las delegaciones de Milpa Alta, Tlalpan, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa presentan más de la mitad de su superficie en riesgo bajo ya que corresponden a Suelo de Conservación. La zona de la Ciudad de México que se encuentra en riesgo alto, representado en color rojo, ocupa una superficie un poco menor que la que corresponde al Suelo de Conservación y se concentra más fuertemente en el sector centro y centro oriente de la ciudad. Las áreas de mayor riesgo no corresponden directamente a las zonas de mayor densidad de población pero sí incorporan la traza de las zonas lacustres y de transición, ya sea por amenaza de sismo o inundación.

El Mapa 49 muestra el modelo de riesgo que integra valores de amenazas, y vulnerabilidades tomando en cuenta la falla del equipamiento y/o infraestructuras. En este mapa se consolida toda la zona central y centro oriental como una zona de riesgo alto sin interrupción. La zona que conecta el riesgo alto con el bajo es mayoritariamente de tipo moderado y las zonas de riesgo alto se concentran alrededor de las zonas rojas de riesgo muy alto, Son muy pocas y pequeñas las áreas que tienen próximas las zonas de riesgo muy alto y muy bajo, presentándose solamente en las delegaciones de Tláhuac, Xochimilco y Gustavo A.

Madero. La Delegación de Coyoacán presenta una condición particular de homogeneidad del territorio en riesgo moderado y alto, mientras que las delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan y Milpa Alta se encuentran aproximadamente la mitad del territorio de riesgo muy bajo y la otra mitad en riesgo moderado.

Respecto al equipamiento urbano las zonas de riesgo alto se encuentran en áreas de buena cobertura de equipamiento en todos sus subsistemas, particularmente en las delegaciones Coyoacán, Benito Juárez, Cuauhtémoc, la parte nororiente de la delegación Miguel Hidalgo, y la parte surponiente de la delegación Gustavo A. Madero. La Delegación Iztapalapa, en su zona norte presenta un nivel alto de riesgo y proximidad con equipamiento de nivel regional de grandes superficies como el Parque Cuitláhuac, el centro de la delegación, el Bosque de Aragón, la Central de Abastos y la comunicación vial del oriente con el actual Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. La presencia de áreas verdes y públicas como equipamiento recreativo y deportivo de gran superficie en zonas de riesgo alto representan una oportunidad para alojar servicios de emergencias en caso de desastre, y una vulnerabilidad en caso de ser afectadas en evento de desastre. Por otro lado, la zona de nivel alto de riesgo expone una parte significativa de elementos de infraestructura hidráulica para el abastecimiento de agua potable como son los pozos de extracción, particularmente frente a amenazas sísmicas, presentando una posible vulnerabilidad de un servicio básico en circunstancias de emergencia.

Los asentamientos humanos irregulares se encuentran en zonas de riesgo bajo, a pesar de su marginación por su proximidad y vinculación con el Suelo de Conservación. Sin embargo, la expansión de los asentamientos humanos irregulares hacia las áreas verdes incrementa el riesgo de inundación en las zonas más bajas de la cuenca y la pérdida de resiliencia al disminuir servicios ecosistémicos asociados con las áreas verdes en Suelo de Conservación.











## 8. CONCLUSIONES

Las zonas con mayor riesgo de inundación se localizan al oriente de la CDMX, donde se presenta mayor hundimiento y se observaron fracturas en el pasado sismo del 19 de septiembre de 2017; el riesgo de estas zonas es alto y puede verse intensificado por el cambio climático y los cambios en los patrones de precipitación. La zona con mayores amenazas en la CDMX corresponde a las arcillas de la antigua traza lacustre, siendo también la zona de mayor subsidencia, que corresponde al noreste y sureste de la ciudad.

El modelo de infiltración potencial es una herramienta útil para generar escenarios, así como, contrastar condiciones con cambios específicos en el uso del suelo; ayuda a evaluar la relevancia de los atributos físicos específicos dentro de la cuenca para poder plantear una regionalización de la dinámica hídrica. Así mismo es útil para reconocer los riesgos de modificar los usos de suelo donde existan áreas con altos valores de infiltración hídrica.

Las mayores concentraciones de industria de riesgo se concentran en la zona norte de la ciudad, coincidiendo en algunos puntos con las variables anteriores. En contraste, el Suelo de Conservación es la zona que presenta menores amenazas.

Las delegaciones que presentan vulnerabilidad alta y muy alta coinciden con las más densamente pobladas y, en segundo lugar con el nivel socioeconómico.

La CDMX presenta una baja cantidad y densidad de Áreas Verdes (AV) en suelo urbano, principalmente en las delegaciones con mayor número de habitantes. Las AV que tienen mayor extensión y están conservadas corresponden al Suelo de Conservación, el cual está continuamente bajo presión por el cambio de uso de suelo, principalmente por asentamientos humanos irregulares. Es estratégico el mantener esta zona con la cobertura de vegetación original, ya que es la principal fuente de abastecimiento de agua, por la infiltración que provee hacia el sistema de acuíferos de la CDMX.

Las zonas de riesgo se han ampliado desde el sismo de 1985 al de 2017. Ha disminuido la zona de provisión de servicios ecosistémicos dado que las zonas de menor amenaza coinciden con las de menor provisión de éstos. Los asentamientos humanos de transición, ya sean regulares o irregulares, representan la frontera

de la expansión de los riesgos y su incremento, así como la reducción de los servicios ecosistémicos.

La existencia y el aumento de estos asentamientos de transición representa a su vez una mayor amenaza y el mal funcionamiento de todo el sistema urbano, en especial para las delegaciones centrales, aunque no se encuentren en proximidad física con los anteriores, pero sí al ser las que concentran mayores densidades de población. Esto, desde una perspectiva sistémica donde todas las partes se encuentran interrelacionadas.

La expansión de los valores altos de amenaza a vulnerabilidad y, finalmente, a riesgo sugieren que la planeación y urbanización han sido muy deficientes.. El reto es utilizar las amenazas para mejorar la urbanización al incluir el riesgo como una condición fundamental en la planeación, es decir, una planeación proactiva y no reactiva, como se ha dado históricamente.

No existe en la CDMX una planeación integral entre el medio ambiente natural y el medio físico construido; en algunos casos, ni siquiera están alineadas. Por otro lado, las instituciones de procuración de justicia en materia ambiental y/o del ordenamiento territorial no son vinculantes.



## **9. RECOMENDACIONES**

## **10. AGRADECIMIENTOS**

1. En la Ciudad de México no existe una línea estratégica que constituya un ordenamiento territorial que proponga un sistema de áreas verdes con miras a la creación de posibles rutas de evacuación, uso emergente de estos sitios en caso de sismos que fortalezca la resiliencia de la ciudad. Para ello se requiere un inventario actualizado de áreas verdes y un sistema integral de corredores verdes a desarrollar durante un periodo de tiempo.
2. La vulnerabilidad urbana, no puede estar a expensas de las variables de crecimiento económico reflejadas en los resultados de este estudio. La urbanización en la ciudad necesita de una visión sistémica a diferentes niveles y escalas, donde las variables más importantes deben de ser consideradas para la planeación espacial (interacción urbano ambiental).
3. Es necesario rediseñar y fortalecer las instituciones actuales con una visión interdisciplinaria para una planeación sistémica que reduzca la vulnerabilidad ante sismos y otros eventos extremos.
4. Debido a la recurrencia de derrumbes en ciertas zonas de la Ciudad de México, es necesario rezonificar estas zonas para que se conviertan en áreas verdes y así aumentar los servicios ecosistémicos en estas zonas de la ciudad que son particularmente vulnerables a los sismos.
5. Las zonas de asentamientos de transición entre Suelo de Conservación y el resto de la ciudad requieren de un modelo alternativo de desarrollo urbano, más basado en infraestructura verde que gris.
6. Las zonas que presentan una alta vulnerabilidad requieren intervenciones estratégicas que respondan a las condiciones locales de cada uno, incluidas las dimensiones de lo social y lo ambiental.
7. Los servicios ecosistémicos, la cultura local, la desigualdad social y la vulnerabilidad frente a sismos y otros eventos extremos, deben ser consideradas en la planeación urbana. Esto es, que para una planeación integral e interdisciplinar es necesario considerar caso por caso, proponiendo soluciones basadas en los problemas y fortalezas de cada zona o su potencial de transformación.

## 11. BIBLIOGRAFÍA



Aguilar, A.G. Coord. 2016. La Ciudad de México en el siglo XXI: realidades y retos. Gobierno de la Ciudad de México. Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación. Miguel Ángel Porrúa. Ciudad de México, México.

Ayala-Azcárraga, C. Características objetivas y percibidas de las áreas verdes y su efecto en el bienestar de sus visitantes. En Prep. Tesis Doctorado. Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM.

Bradshaw, C.J.A., N.S. Sodhi, K.S.H. Peh, and B.W. Brook. 2007. Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology* 13: 2379–2395. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01446.x>.

Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., Huete, A.R. 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews* 13(1-2): 95-120.

Balica, S.F., N.G. Wright, and F. van de Meulen. 2012. A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Natural Hazards* 2012: 73–105. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0234-1>.

Butler, C. D. & Oluoch-Kosura, W. (2006). Linking Future Ecosystem Services and Future Human Well-being. *Ecology and Society* 11(1):30

Buró de Investigaciones de Mercado S.A. de C.V. (2008) Mapa Mercadológico de la Ciudad de México 2008. México: BIMSA.

Chiesura, A. The role of urban parks for the sustainable city. (2004) *Landscape and Urban Planning* 68(1):129-138.  
City Biodiversity Index. 2012. User's manual for the city biodiversity index. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. <http://www.cbd.int/en/subnational/partners-and-initiatives/city-biodiversity-index>

Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO). 2012. Guía de Campo: Árboles Comunes de la Ciudad de México. México D.F. México.

Consejo Nacional de Población. 2012. Índice de Marginación Urbana 2010. México: CONAPO.

Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, Q. Dahe, D.J. Dokkern, K.L. Ebi, and P.M. Midgley. 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245>.

Flores, E.M A. 2009. La geomática en la evaluación de inundaciones causadas por el hundimiento regional de la zona metropolitana del Valle de México. Tesis de Licenciatura en Ingeniero Geomático. México D.F. 145 p.

Folke, M., Carpenter, S.R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., Rockström., J. (2010). Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society* 15 (4): 20-29.

Gaceta Oficial del Distrito Federal. 2004. Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal, 29 de enero de 2004.

Gaceta Oficial del Distrito Federal. 2004. Norma técnica complementaria al Reglamento de la Ley de Protección Civil

del Distrito Federal NTC-002-SPCDF-PV-2010 que establece los lineamientos técnicos para la aprobación, utilización, operación y funcionamiento de instrumentos de alertamiento sísmico en inmuebles del Distrito Federal, 4 de agosto de 2004.

Gobierno de la Ciudad de México. 2016. Programa General de Desarrollo Urbano de la Ciudad de México 2016 – 2030. Ciudad de México: Gobierno de la Ciudad de México-SEDUVI. Ciudad de México, México.

Gobierno del Distrito Federal. 2012. Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos Visión 20 años. Ciudad de México: Gobierno del Distrito Federal-SACMEX-SEDEMA. México, D.F., México.

González, L. G. (2012). La movilización social por el agua en la cuenca de México Una perspectiva desde las organizaciones sociales. *Territorios* (26), 35-62.

Haddad, E.A., and E. Teixeira. 2015. Economic impacts of natural disasters in megacities: The case of floods in Sao Paulo, Brazil. *Habitat International* 45: 106–113.

Hallegatte, S., C. Green, R.J. Nicholls, and J. Corfee-Morlot. 2013. Future flood losses in major coastal cities. *Nature Climate Change* 3: 802–806. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE1979>.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Sistema de Consulta de Información Censal 2010. México: INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. Cuaderno estadístico y geográfico de la zona metropolitana del Valle de México.

144

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. Encuesta Intercensal. Ciudad de México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Capa Unión.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2017. Marco Geoestadístico municipal. Ciudad de México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2017. Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2018. Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte. México: INEGI.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2018. Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. México: INEGI.

Izazola, H. 2001. Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México. *Estudios demográficos y urbanos*, 16: 285–320. El Colegio de México. [http://www.jstor.org/stable/40315074?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](http://www.jstor.org/stable/40315074?seq=1#page_scan_tab_contents).

Jenks, George F. 1967. The Data Model Concept in Statistical Mapping, *International Yearbook of Cartography*, 7: 186–190.

Jyrkama, M.I., and J.F. Sykes. 2007. The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the grand river watershed (Ontario). *Journal of Hydrology* 338: 237–250. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.02.036>.

Jones, H.G., Vaughan, R.A. 2010. Remote sensing of vegetation. Oxford University Press. Schaefer, H.K., Tian, H., Vargas, R., Verbeeck, H., Xiao, J., Xue, Y. 2012.

Kalantari, Z., A. Nickman, S.W. Lyon, B. Olofsson, and L. Folkeson. 2014. A method for mapping flood hazard along roads. *Journal of Environmental Management* 133: 69–77. [https://doi.org/ 10.1016/j.jenvman.2013.11.032](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.032).

Khoshtaria, T.K., Chachava, N.T. (2017). The planning of urban green areas and its protective importance in resort cities. *Annals of Agrarian Science*. 15 (2) 217-223.

Klomp, J. 2015. Economic development and natural disasters: A satellite data analysis. *Global Environmental Change* 6: 67–88.

Terrestrial biosphere models need better representation of vegetation phenology: results from the North American Carbon Program Site Synthesis. In: *Global Change Biology* 18: 566-584.

Maderey, L.E., Jiménez, A.R., 2000. Los recursos hidrológicos del centro de México ante un cambio climático global. In: Gay, C.G. (Ed.), *Hacia El Siglo XXI. El Cambio Climático en México*. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program, Mexico City, Mexico, pp. 39–53.

Malczewski, J., R. Moreno-Sánchez, L.A. Bojórquez-Tapia, and E. Ongay-Delhumeau. 1997. Multicriteria group decision-making model for environmental conflict analysis in the Cape Region, Mexico. *Journal of Environmental Planning and Management* 40:349-347.

McHarg, I.L. 2000. *Proyectar con la naturaleza*. Gustavo Gili. Barcelona, España.

Mooser, F., Montiel, A., Zúñiga, Á. 1996. Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla: estratigrafía, tectónica regional y aspectos geotérmicos. Comisión Federal de Electricidad. México, D.F.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2016. Beneficios de los árboles urbanos. 2016, de FAO Sitio web: <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/411598>

Pérez, V., Blanco, L., 2010. Evaluación de amenazas por inundaciones en el centro de México: el caso de Iztapalapa: distrito Federal (1998–2005). *Investig. Geográficas* 22–40.

Rezaei-Moghaddam, K. y Karami, E. 2008. A multiple criteria evaluation of sustainable agricultural development models using AHP. *Environment Development and Sustainability* 10:407-426.

Reinoso, E., M.A. Torres, M. A. Jaimes, V. Franco, R. Domínguez- Mora, y O . Pozos. 2012. Escenarios de pérdidas por inundación pluvial en la ciudad de México ante la falla de algún componente del Sistema de Drenaje Principal.

Roy S, Byrne J, Pickering C. 2012. A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban For Urban Gree*. 11(4):351–363.

Robertson, N., Wunder, S. 2005. Huellas frescas en el bosque: evaluación de iniciativas incipientes de pagos por servicios ambientales en Bolivia.

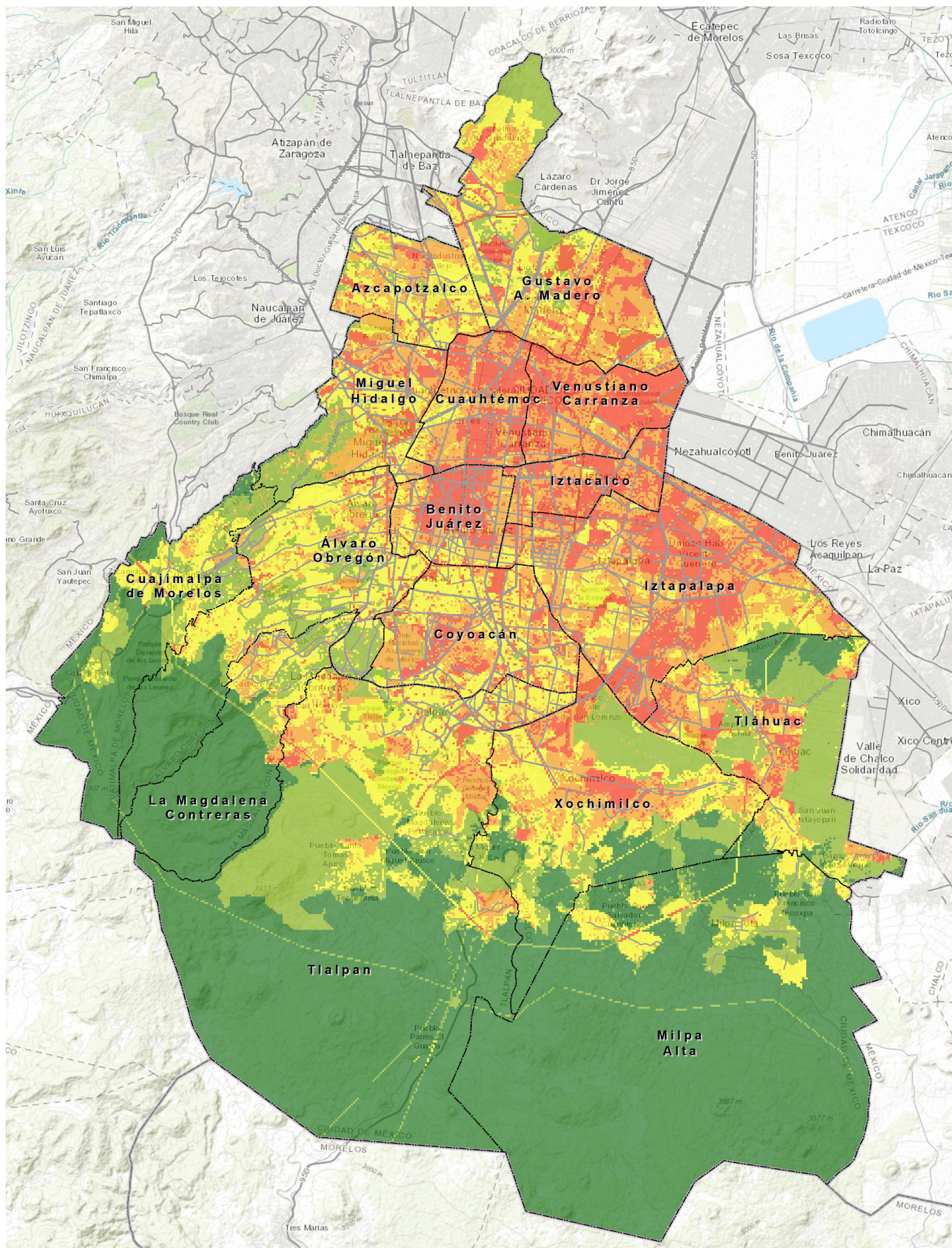
- SACMEX, 2012. El Gran Reto del Agua. Pasado, Presente y Prospectivas de Solución para una de las Ciudades más Complejas del Mundo. Encontrado en: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2013/02/El-gran-reto-del-agua-en-la-ciudad-de-Mexico.pdf>
- Sanders, L. L. (1998). *Field Hydrogeology*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Secretaría de Medio Ambiente. 2018. Barrancas CDMX. 2010, de SEDEMA Sitio web: <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/barrancas>
- Sankarasubramanian, A., and U. Lall. 2003. Flood quantiles in a changing climate: Seasonal forecasts and causal relations. *Water Resources Research*. <https://doi.org/10.1029/2002WR001593>.
- Saaty, T.L. 2001. *The analytic network process: decision making with dependence and feedback*. RWS Publications. Pittsburg.
- Secretaría de Medio Ambiente. 2018. Inventario de áreas verdes. 2010, de SEDEMA Sitio web: <http://www.cms.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/cuadro%20de%20inventarioarea%20verde%202010%20sup%20x%20categoria.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México. 2016. Suelo de Conservación. SEDEMA. Ciudad de México.
- Sosa-Rodriguez, F.S., 2010. Impacts of water-management decisions on the survival of a city: from ancient tenochtitlan to modern Mexico City. *Int. J. Water Resour. Dev.* 26, 675–687. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/07900627.2010.519503>.
- Soto, G.M. de O., Herrera, M.P., 2009. Estudio sobre el impacto del cambio climático en el servicio de abasto de agua de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México [Report]. Cent. Virtual Cambio Climático Ciudad México. Retrieved from: <http://www.ampres.com.mx/pdf/ImpactoenelcambioclimaticoenelDF.pdf>.
- UNISDR, 2016. Informe del grupo de trabajo gubernamental de expertos de composición abierta sobre los indicadores y la terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres. Encontrado en: [https://www.preventionweb.net/files/50683\\_oiewgreportspanish.pdf](https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreportspanish.pdf)
- Versini, P.-A. 2012. Use of radar rainfall estimates and forecasts to prevent flash flood in real time by using a road inundation warning system. *Journal of Hydrology* 416–417: 157–170. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.048>.
- Velázquez, A., Mas, J. F., Gallegos, J. R. D., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., & Palacio, J. L. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica* 62, 21-37.
- Vogt, P., Riitters, K. H., Estreguil, C., Kozak, J., Wade, T. G., & Wickham, J. D. (2007). Mapping spatial patterns with morphological image processing. *Landscape Ecology* 22(2), 171-177.
- Zambrano, L. 2013. ¿Cómo lograr un ecosistema urbano saludable?. *Defensor-Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal* 3: 58-62.

Zambrano, L., Pacheco-Muñoz, R., & Fernández, T. (2017). A spatial model for evaluating the vulnerability of water management in Mexico City, Sao Paulo and Buenos Aires considering climate change. *Anthropocene* 17, 1-12.

Zambrano, L., Pacheco-Muñoz, R., & Fernández, T. (2018). Influence of solid waste and topography on urban floods: The case of Mexico City. *Ambio* 1-10.







**CES<sup>CD</sup> MX**  
Consejo Económico y Social  
de la Ciudad de México



Laboratorio  
Nacional  
de Ciencias  
de la Sostenibilidad

