



Análisis de la vulnerabilidad ante inundaciones para la ciudad de Morelia

Analysis of flood vulnerability for the city of Morelia

Israel Alejandro García Ledesma, Jesús Pardo Loaiza ✉, Sonia Tatiana Sánchez Quispe

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Civil.

Resumen

El trabajo realizado presenta un análisis técnico sobre la vulnerabilidad en contextos de gestión del riesgo, basado en el modelo de un Índice de Vulnerabilidad Integrado (IVI). Se describe la metodología empleada, incluyendo los componentes físicos, sociales, económicos y ambientales, y se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación del modelo en un área de estudio específica. Finalmente, se discuten las implicaciones de los hallazgos y se proponen recomendaciones para la planificación territorial y la reducción del riesgo.

Palabras clave: riesgo de inundación, vulnerabilidad, inundaciones, zonas susceptibles de Morelia.

Abstract

The work carried out presents a technical analysis of vulnerability in risk management contexts, based on the Integral Vulnerability Index (IVI) model. The methodology used is described, including physical, social, economic, and environmental components, and the results obtained from applying the model in a specific study area are presented. Finally, the implications of the findings are discussed, and recommendations are proposed for territorial planning and risk reduction.

Keywords: Flood risk, vulnerability, floods, susceptible areas of Morelia.

Introducción

Las inundaciones actualmente son de los desastres naturales más devastadores en términos de pérdida de vidas humanas y pérdidas económicas (García-Ledesma *et al.*, 2025). En los últimos años, han cobrado mayor relevancia aún, debido al efecto generado por el cambio climático y al aumento en la intensidad de los ciclones tropicales (Alarcón *et al.*, 2020). Estos fenómenos hidrometeorológicos pueden derivar en inundaciones que afectan a comunidades y regiones enteras (Tellman *et al.*, 2021).

Para dar frente a este problema, actualmente existen diversas metodologías enfocadas en el análisis de la vulnerabilidad ante inundaciones (Roblero-Escobar *et al.*, 2025). Dentro de las distintas metodologías que existen actualmente, una que tiene una amplia aceptación es la propuesta por Balica *et al.* en 2012. Esta metodología busca la identificación de los elementos que propician la formación de inundaciones, así como la identificación de los elementos que se encuentran expuestos, con el objetivo de ofrecer sugerencias que ayuden a la reducción de la vulnerabilidad de la población expuesta.

El estudio de la vulnerabilidad es un concepto que se utiliza ampliamente para determinar el grado de exposición de una población u objeto ante un agente perturbador,

sin embargo, existen investigaciones que resaltan la complejidad de su determinación. Karmaoui y Balica (2021) establecieron que la vulnerabilidad es el grado de fragilidad de un sistema (natural o socioeconómico) frente a los peligros. La vulnerabilidad es una cuestión construida socialmente, las desigualdades sociales dividen a las personas en vulnerables o no y conducen las actividades hacia la percepción mental y social de que se debe adaptar o alcanzar una resistencia. La vulnerabilidad es una función de la exposición, susceptibilidad, resistencia y estado de conocimiento (Roblero-Escobar *et al.*, 2025).

Con la finalidad de definir las zonas que pueden ser vulnerables a inundación, se deben definir los factores que pueden tener influencia positiva o negativa para el

Historial

Manuscrito recibido: 31 de octubre de 2025

Manuscrito aceptado: 19 de abril de 2026

Manuscrito publicado: agosto de 2026

✉ Autor para correspondencia

Jesús Pardo Loaiza

jesus.pardo@umich.mx

Como citar

García Ledesma IA, Pardo Loaiza J, Sánchez Quispe ST (2026).

Análisis de la vulnerabilidad ante inundaciones para la ciudad de

Morelia. *Ciencia Nicolaita* 97:203-208. doi:10.35830/cn.vi97.954

análisis, para ello se deben analizar las fuentes oficiales de información que se tienen y la calidad de la información que brindan.

En este contexto, el presente trabajo presenta una metodología capaz de determinar la vulnerabilidad ante inundaciones desde una perspectiva holística, considerando aspectos sociales, económicos, ambientales y físicos, que intervienen en el cálculo de la vulnerabilidad.

Materiales y métodos

La metodología se basa en la construcción del IVI, compuesto por cuatro dimensiones: física, social, económica y ambiental. Cada dimensión se evalúa mediante indicadores específicos que se normalizan y ponderan para obtener un índice integrado.

Para evaluar la vulnerabilidad se trabaja con base en la metodología propuesta por Karmaoui y Balica (2021) que considera un modelo a escala urbana y un modelo a escala de subcuenca, para la determinación de un IVI.

Ante la limitada disponibilidad de datos sistemáticos y registros actualizados en las bases de datos oficiales, la selección de variables para el IVI se restringió a aquellas con soporte estadístico y cartográfico. Esto permitió la construcción de un modelo de vulnerabilidad representativo, cuya metodología es replicable en contextos urbanos con características similares.

El análisis de vulnerabilidad a inundaciones se realiza mediante una evaluación detallada de los componentes a analizar, para obtener la vulnerabilidad global, después de haber sido estandarizados de 0 a 100 mediante la siguiente fórmula.

$$IVI_{\text{estandarizado}} = \frac{[IVI_{\text{escala}}]}{[IVI_{\text{máx.}}]} \quad (1)$$

La ecuación general vincula los valores de todos los indicadores a analizar con los componentes de vulnerabilidad a inundaciones y a los factores, sin equilibrar ni interpolar a partir de una serie de datos.

$$IVI = \frac{\text{Exposición} * \text{Susceptibilidad}}{\text{Resiliencia}} \quad (2)$$

En este trabajo, se optó por trabajar a escala urbana, debido a que apega mejor a las necesidades de la zona, este análisis considera los siguientes componentes:

Componente climático

$$IVI_c = \left[Hr, Er, \frac{Ev}{Er} \right] \quad (3)$$

Hr= Lluvias Torrenciales

Er= Tasa De Evaporación

Ev/Er= Evaporación/Tasa De Evaporación

Componente fisiográfico.

$$IVI_f = \frac{[T, Pr, Rds]}{[Dsc, Rd, Dl]} \quad (4)$$

T= Topografía

Pr= Proximidad Al Río

Rds= Carreteras

Dsc= Presas

Rd= Descarga Del Río

Dl= Diques

Componente de uso de suelo

$$IVI_{us} = \frac{[Cr, In, Ug, Ds]}{[Rt, Ga]} \quad (5)$$

Cr= Contacto Con El Río

In= Inequidad

Ug= Crecimiento Urbano

Ds= Sistema De Drenaje

Rt= Tiempo De Recuperación De Las Inundaciones

Ga= Áreas Verdes

Componente antropogénico

$$IVI_{an} = \frac{[Pr, Pfa, C, H, Pe, A, Cp, Cm, Dp, Hs]}{[Ws, Ed, Es]} \quad (6)$$

Pr= Proximidad Al Río

Pfa= Población En El Área De Inundación

C= Patrimonio Cultural

H= Índice De Desarrollo Humano

Pe= Experiencias Pasadas

A= Conciencia Y Preparación

Cm= Mortalidad Infantil

Dp= Personas Discapacitadas

Cp= Penetración De La Comunicación

Hs= Hospitales Y Refugios
 Ws= Sistema De Advertencia
 Ed= Rutas De Evacuación
 Es= Servicio De Emergencia

Componente económico

$$IVI_{ec} = \frac{[Pr, Un, In, Ug, Cm]}{[Dsc, Fi, Rt, Pe, Dl]} \quad (7)$$

Pr= Proximidad Al Río
 Un= Desempleo
 In= Inequidad
 Ug=Crecimiento Urbano
 Cm= Mortalidad Infantil
 Dsc= Presas
 Fi= Seguro Ante Inundaciones
 Rt= Tiempo De Recuperación
 Dl= Diques
 Pe= Experiencias Pasadas

Componente de acceso a servicios

$$IVI_{as} = \frac{[Dp, Cm, Cp]}{[Ed, Hs, Es]} \quad (8)$$

Dp= Personas Discapacitadas
 Cm= Mortalidad Infantil
 Cp= Penetración De La Comunicación
 Ed= Rutas De Evacuación
 Hs= Hospitales Y Refugios
 Es= Servicio De Emergencias

El IVI total, está conformado por la sumatoria de los componentes que lo conforman, tal como se indica en la ecuación 9.

$$IVI_{total} = \sum IVI_C IVI_f IVI_{us} IVI_{an} IVI_{ec} IVI_{as} \quad (9)$$

Recolección de datos

Para la elaboración del presente trabajo se consultaron distintas fuentes de información de acceso público, en lo referente a la topografía, desarrollo socioeconómico y población total, se consultaron las bases de datos de Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2016), derivado de la escala seleccionada (nivel ciudad) se consultó la base de datos del Instituto Municipal de Planeación de Morelia (IMPLAN) en lo referente a las vialidades, y sitios culturales de interés, también se

consultó la base de datos del Catálogo de Clave Única de Establecimientos de Salud (CLUES) en lo referente a los centros de salud que se encuentran en la ciudad, se tomaron las simulaciones hidráulicas generadas por García-Ledesma, Madrigal, Pardo-Loaiza, *et al.* (2025) para la estimación de la población afectada por inundaciones..

Resultados

La metodología de Karmaoui y Balica (2021), propone un listado de indicadores para poder obtener el IVI. Sin embargo, para este caso de estudio se realizó una depuración de este listado, debido a que, en algunos casos, el indicador no aplicaba para la zona de estudio, la información no se encontraba disponible o no era posible generar el indicador, por lo que a continuación se enlistan los componentes que se utilizaron para realizar el proceso de cálculo (**Tabla 1**):

En lo referente al componente climático se optó por tomar únicamente la variable de lluvias torrenciales, obtenida de estudios previos (estudio hidrológico) debido a que no se cuenta con la información para las variables faltantes que se involucran en el cálculo del componente climático, para facilitar la interpretación de los resultados, así como para cálculos posteriores.

Para la elaboración del componente fisiográfico, no se toman en cuenta las variables de descargas del río (Rd) ya

Tabla 1. Indicadores propuestos.

Abreviatura	Nombre
LLt	lluvias torrenciales
T	Terreno (pendientes)
Pr	Proximidad al río
Rds	Red carretera
Dsc	Descarga de la presa
Cr	Contacto con el río
IN	inequidad
GA	Áreas verdes
D	Densidad de población
Pfi	Población en el área de inundación
C	Patrimonio cultural
CP	Penetración de la comunicación
Dp	Personas con Discapacidad
Hs	Hospitales y refugios
Ed	Rutas de evacuación
UN	Desempleo
Es	Servicios de emergencia (hospitales)

que no se cuenta con estaciones de aforo a la salida de los cauces que otorguen el caudal drenado por cada corriente analizada, así como de la corriente principal a la salida de la ciudad, tampoco se considera el dato de Diques (DI) ya que no existen este tipo de estructuras que ayudan a minimizar el efecto de las inundaciones en la ciudad, para el resto de las variables involucradas, se explica el análisis y tratamiento de datos para su elaboración. El análisis del componente fisiográfico ejerce influencia sobre el problema, de manera positiva en aspectos como la identificación con áreas habilitadas para usarse como medios de evacuación, también muestra las zonas vulnerables tales como la proximidad al río; conocer la topografía de la zona de estudio ayuda a identificar áreas potencialmente en riesgo por su ubicación geográfica ubicadas en depresiones topográficas. Todo estudio fisiográfico tiene como objetivo fundamental reconocer y delimitar las diferentes formas de relieve y definir de qué manera, este componente puede afectar o minorar la vulnerabilidad inundaciones.

Para la elaboración del componente de uso de suelo, no se toma en cuenta la variable de tiempo de recuperación (Rt) ya que actualmente no se tiene una base de datos que mida el tiempo exacto que necesita una población en Morelia para recuperarse después de haber sido afectada por una inundación. La información sobre el uso de suelo de un área de estudio, es importante en diversos rubros, y lo es también para definir el IVI, como se muestra en los mapas en los cuales se aprecia la densidad de población por manzanas que podría llegar a ser afectada, las áreas verdes que ayudan a drenar el exceso de agua acumulada, las zonas que requieren un sistema de drenaje.

El componente antropogénico es el generado por la actividad humana, derivado de sus actividades cotidianas, urbanización, desarrollo y como todo esto modifica el entorno de la población con respecto en este caso a la exposición ante eventos de inundación. Para el cálculo del componente antropogénico, no se tomaron en cuenta las variables, de experiencias pasadas (Pe), conciencia y preparación (A), mortalidad infantil (Cm) y sistemas de aviso (Ws) ya que actualmente no se cuenta con esa información para la ciudad de Morelia.

Los componentes económicos son aquellos que intervienen y garantizan el buen funcionamiento de la riqueza de una sociedad, es por ello que la interrupción en estas actividades o la pérdida de las componentes que se involucran en esta componente representarían una gran pérdida para la población que depende estas actividades. Para el cálculo de este componente, no se toman en cuenta las variables referentes a la mortalidad infantil (Cm), seguro contra inundaciones (fi), tiempo de recuperación

(Rt), diques (DI) y experiencias pasadas (Pe) ya que actualmente no se cuenta con dicha información en la ciudad de Morelia.

El acceso a servicios es un componente clave, ya que está catalogado como una necesidad y una prioridad, los gobiernos locales son juzgados por su capacidad para proporcionar a la ciudadanía servicios de calidad, sin embargo, esta tarea se dificulta debido a la rapidez con la que cambia la urbanización, la demografía y el ambiente; por tanto, un primer paso hacia la mejora de este componente es identificar los factores que intervienen en su obtención para identificar los problemas y plantear los retos que se tienen actualmente para solucionar las deficiencias que existen actualmente. Para el cálculo de este componente, no se tomó en cuenta el componente que hace referencia a la tasa de mortalidad infantil (Cm), ya que no se cuenta con dicha información adicionalmente, en la parte de las variables de resiliencia la componente de hospitales (Hs) y servicios de emergencia (Es) en este trabajo se consideró el mismo valor por lo que estas 2 variables, se toma como solo un indicador que es el de hospitales y refugios (Hs) calculado previamente para el componente antropogénico, al igual que la variable de la penetración de la comunicación (Cp) y de personas con discapacidad (Dp). Una vez obtenidas todas las variables involucradas en el componente de accesos a servicios, al realizar las operaciones necesarias se obtiene el mapa de final de acceso a servicios

Los componentes previamente obtenidos dan como resultado el IVI, mediante la expresión (1) descrita el apartado de metodología.

Dicho valor se encontró para cada una de las manzanas en área urbana para las cuales existía información disponible, las zonas aledañas a los drenes son las que se reconocen como más vulnerables; sin embargo, se aprecian los rangos de vulnerabilidad y el grado de importancia que estas áreas deben tener ante un evento extremo de precipitación. Asimismo, se inspeccionan cada uno de los indicadores que forman parte de este índice, y es posible realizar un análisis de las áreas que pueden mejorarse y a partir de esto disminuir el valor del IVI, los resultados se observan a detalle en la **Figura 1**.

Discusión

El análisis del IVI en Morelia revela una clara concentración de vulnerabilidad en zonas urbanas periféricas, especialmente al sur y oriente de la ciudad. Estas áreas presentan una combinación crítica de factores: alta exposición física (proximidad a cuerpos de agua y pendientes pro-

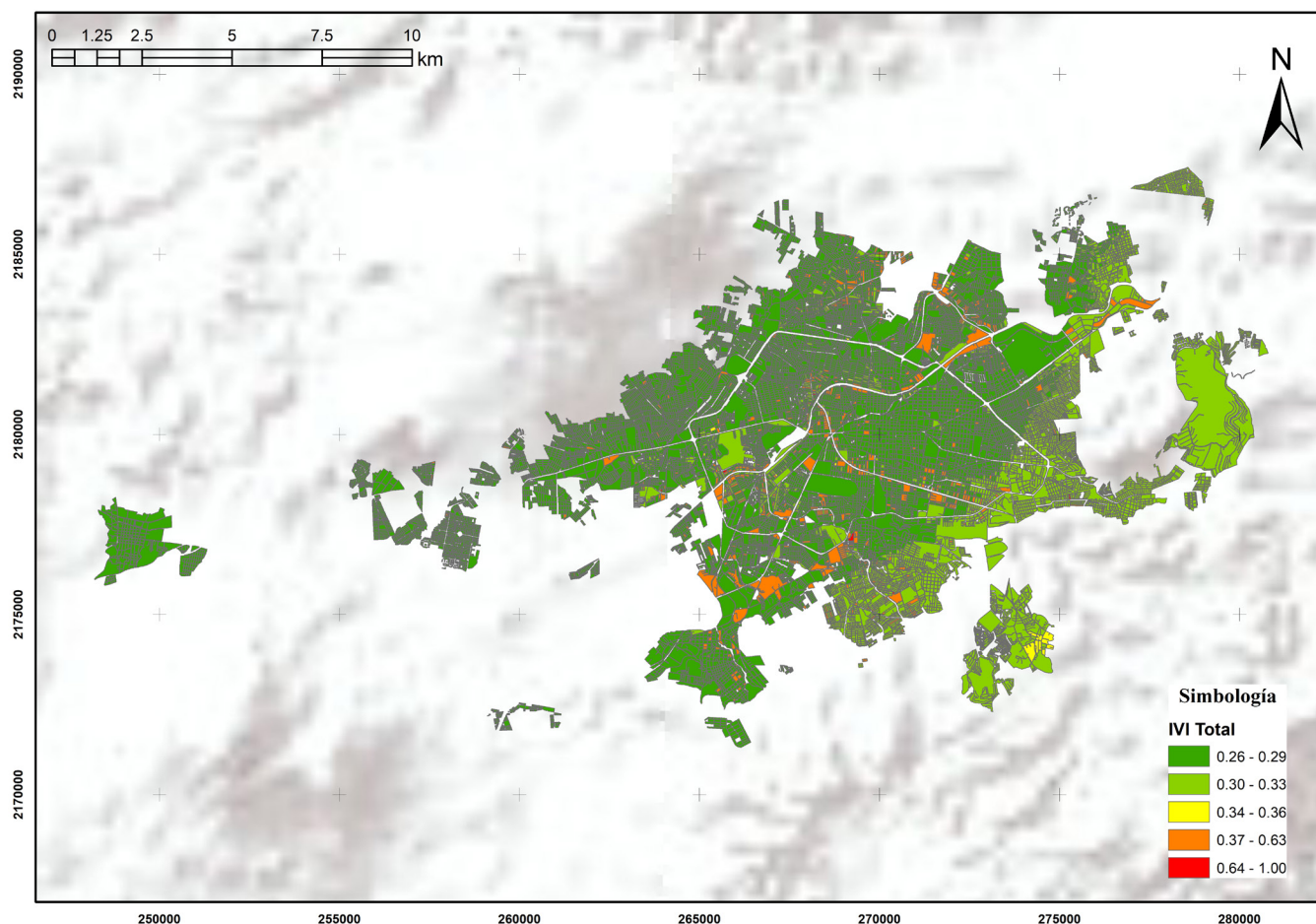


Figura 1. Índice de Vulnerabilidad Integrado ante Inundaciones para la Ciudad de Morelia.

nunciadas), condiciones socioeconómicas desfavorables (desempleo, marginación, baja penetración de servicios), y deficiencias en infraestructura (drenaje insuficiente, escasez de rutas de evacuación).

La integración de indicadores en seis componentes (climático, fisiográfico, uso de suelo, antropogénico, económico y acceso a servicios) ofrece una visión holística del riesgo, lo que fortalece la capacidad de diagnóstico territorial.

Los patrones de vulnerabilidad obtenidos en este trabajo, coinciden con hallazgos en otras ciudades mexicanas, tales como Tlacotalpan y Cotaxtla, donde estudios han demostrado que la vulnerabilidad física y social preceden a los desastres, intensificando los efectos y dificultando la recuperación de la ciudad. A nivel Latinoamérica, investigaciones como el proyecto SALURBAL-Clima han evidenciado que los barrios con menor nivel educativo tienen hasta 4.3 veces más probabilidad de estar expuestos a inundaciones, lo que refleja una profunda inequidad en la distribución del riesgo urbano (Kephart *et al.*, 2025;

Molina y González, 2019).

Los mapas generados evidencian que el 28% del área urbana se encuentra en niveles alto o muy alto de vulnerabilidad, lo que representa un reto urgente para la gestión del riesgo. Esta información es clave para priorizar intervenciones y asignar recursos de forma estratégica.

Adicionalmente, las implicaciones prácticas de estos hallazgos se extienden a sectores clave como lo son la agricultura urbana y periurbana, donde la vulnerabilidad territorial limita el acceso a suelo productivo y compromete la seguridad alimentaria de comunidades vulnerables. En términos de gestión del agua, la falta de infraestructura adecuada en zonas vulnerables dificulta la implementación de sistemas de drenaje resilientes (Tate *et al.*, 2021), como lo han demostrado experiencias en ciudades brasileñas apoyadas por el BID. Finalmente, en el ámbito de la planificación territorial, estos resultados refuerzan la necesidad de integrar el riesgo climático en los instrumentos de ordenamiento urbano, promoviendo estrategias de adaptación basadas en evidencia (Sánchez, 2019).

Conclusiones

El estudio confirma que el modelo IVI es una herramienta robusta para evaluar la vulnerabilidad urbana ante inundaciones. Su enfoque multidimensional permite identificar no solo las zonas más expuestas, sino también las causas estructurales que incrementan el riesgo.

Las conclusiones destacan la necesidad de fortalecer la planificación territorial con criterios de resiliencia. Esto implica no solo obras físicas (como sistemas de drenaje y contención), sino también acciones sociales y normativas: educación comunitaria, mejora de servicios públicos, regulación del crecimiento urbano y protección de zonas verdes.

Además, se propone el uso del IVI como instrumento de monitoreo periódico, lo que permitiría evaluar el impacto de políticas públicas en la reducción del riesgo. La replicabilidad del modelo en otras ciudades lo convierte en una herramienta valiosa para la gestión del riesgo a nivel nacional.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en especial al Programa de Doctorado en Ingeniería Civil y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

Referencias

Alarcón A, Chávez J, Palacios Ó, Ibáñez L (2020). Estimating areas vulnerable to flooding in urban zones: Morelia, Michoacán, Mexico. *Tecnología y Ciencias Del Agua* 01–26. doi:10.24850/j-tyca-2020-03-01

Balica SF, Wright NG, van der Meulen F (2012). A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Natural Hazards* 64(1):73–105. doi:10.1007/s11069-012-0234-1

García-Ledesma I, Madrigal J, Domínguez-Sánchez C, Sánchez-Quispe ST, Lara-Ledesma B (2025). Importance of cost-benefit evaluation in the selection of flood control infrastructures. *Urban Water Journal*. doi:10.1080/1573062X.2025.2476581

García-Ledesma, Israel, Madrigal J, Pardo-Loaiza J, Hernández-Bedolla J, Domínguez-Sánchez C, Sánchez-Quispe ST (2025). Flood analysis comparison with probability density functions and a stochastic weather generator. *PeerJ* 13:e19333. doi:10.7717/peerj.19333

INEGI (2016). *INEGI. Inventario Nacional de Viviendas. Bases de datos*.

Karmaoui A, Balica S (2021). A new flood vulnerability index adapted for the pre-Saharan region. *International Journal of River Basin Management* 19(1):93–107. doi:10.1080/15715124.2019.1583668

Kephart JL, Bilal U, Gouveia N, Sarmiento OL, Shingara E, Rangel Moreno K, Bakhtsiyarava M, Rodriguez JP, Ayala S, Carrasco-Escobar G, Diez Roux AV (2025). Social disparities in neighborhood flood exposure in 44,698 urban neighborhoods in Latin America. *Nature Cities* 2(3):246–253. doi:10.1038/s44284-025-00203-3

Molina EC, González ALM (2019). Methodology for the analysis of vulnerability to floods. An emerging exercise due to climate change. *Economía, Sociedad y Territorio* 19(61):543–574. doi:10.22136/est20191342

Roblero-Escobar CX, Madrigal J, Sánchez-Quispe ST, Orantes-Avalos JC, García-Romero L (2025). Development of a Block-Scale Spatial Flood Vulnerability Index—Case Study: Morelia, Mexico. *Water (Switzerland)* 17(3). doi:10.3390/w17030422

Sánchez HÁ (2019). Urban and peri-urban agriculture. Territorial rearrangement and potential of urban food systems. *Investigaciones Geográficas* (98). doi:10.14350/rig.59785

Tate E, Rahman MA, Emrich CT, Sampson CC (2021). Flood exposure and social vulnerability in the United States. *Natural Hazards* 106(1):435–457. doi:10.1007/s11069-020-04470-2

Tellman B, Sullivan JA, Kuhn C, Kettner AJ, Doyle CS, Brakenridge GR, Erickson TA, Slayback DA (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature* 596(7870):80–86. doi:10.1038/s41586-021-03695-w