

V.- Vulnerabilidad ante Fenómenos Naturales y Antrópicos



De acuerdo con la ley General de Protección Civil en el artículo segundo fracción LVIII señala que:

“Vulnerabilidad: Susceptibilidad o propensión de un agente afectable a sufrir daños o pérdidas ante la presencia de un agente perturbador, determinado por factores físicos, sociales, económicos y ambientales;”

Por lo que para entender la vulnerabilidad de la población y sus bienes es necesario abordar el tema desde diferentes perspectivas. Por un lado, está el análisis de las características socioeconómicas de la población donde aspectos como la edad, el grado de escolaridad y el empleo son factores condicionantes de la forma en como la población enfrenta una situación de emergencia y cómo se recupera de esta. Otro elemento importante es el conocimiento, comunicación y operación de los sistemas de emergencia por parte de las autoridades competentes.

En la medida que la población se encuentre preparada para enfrentar una situación de emergencia es mayor la probabilidad de que los daños que ocasione el evento sean menores. Y finalmente, un factor netamente físico que define a la vulnerabilidad, son aquellos rasgos estructurales de los bienes que le permiten soportar el embate de un fenómeno en particular.

Una de las formas más aceptadas para evaluar la vulnerabilidad social es a través de indicadores generados a partir de las características censales de la población y obtenidos del último censo disponible. En la actualidad, en México se utiliza el Índice de Marginación y el Índice de Rezago Social para medir la vulnerabilidad social.

5.1.- Vulnerabilidad Social

El índice de marginación por localidad 2020 es una herramienta de gran utilidad que permite observar y analizar la desigualdad en la participación del proceso de desarrollo y el disfrute de sus beneficios al interior de los municipios, así como su distribución territorial (CONAPO, 2021a). Para su cálculo incorpora indicadores de edad, educación, vivienda, empleo, entre otros que le permiten identificar la posibilidad que tiene la población de aprovechar las oportunidades para su desarrollo.

Por su parte el índice de rezago social es una medida que resume indicadores agregados del acceso a algunos de los derechos sociales de las personas y de sus bienes en el hogar a partir de indicadores relacionados con cuatro dimensiones señaladas en la Ley General de Desarrollo Social: rezago educativo; acceso a los servicios de salud; calidad y espacios de la vivienda; y servicios básicos en la vivienda. Adicionalmente, se incorporan indicadores referentes a los bienes del hogar (CONEVAL, 2021b).

Este último es de particular utilidad ya que permite conocer información acerca de los bienes muebles de la vivienda y que son parte de los activos dañados en una situación de desastre.

Es importante señalar que estos índices únicamente se encuentran disponibles a nivel localidad y a nivel AGEB, por lo que para diferenciar y clasificar el grado de vulnerabilidad a nivel manzana se realizó un cálculo independiente que consideró

30 diferentes variables con características de la población, vivienda, bienes muebles y servicios y acceso a la información (Tabla 70, 71 y 72).

El cálculo realizado se elaboró siguiendo las líneas generales de la metodología del índice de marginación y del índice de rezago social (CONAPO, 2021a; CONEVAL, 2021b), calculando los porcentajes de las variables descritas en las tablas y sometiéndolas a un análisis de componentes principales (Bro y Smilde, 2014; Huang et al., 2023). El resultado es un vector que se clasificó en tres rangos a los que se les asignó el nivel de vulnerabilidad correspondiente.

El vector construido para delimitar la vulnerabilidad incorporó variables de las características de la población (Tabla 70), de las características de la vivienda (Tabla 71) y de los bienes y servicios que forman parte de la vivienda (Tabla 72).

Tabla 70.- Indicadores socioeconómicos utilizados para la determinación de la vulnerabilidad en el municipio de Centro. Fuente: Elaboración propia

Área de Evaluación	Indicador Utilizado
Edad de la población	Porcentaje de la población menor a 14 años
	Porcentaje de la población mayor a 65 años
Etnicidad	Porcentaje de la población mayor a 3 años que solo habla lengua indígena
Discapacidad	Porcentaje de la población con discapacidad
Educación	Porcentaje de la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela
	Porcentaje de la población de 15 o más años que no saben leer y escribir
	Porcentaje de la población de 15 años o más que no terminaron la educación básica
Servicios de salud	Grado promedio de escolaridad
	Porcentaje de la población sin derecho a servicios de salud
Económicas	Población económicamente activa

Tabla 71.-Indicadores de las características de la vivienda utilizados para la determinación de vulnerabilidad en el municipio de Centro. Fuente: Elaboración propia

Área de Evaluación	Indicador Utilizado
Vivienda	Población económicamente inactiva
	Viviendas particulares habitadas con piso de tierra
	Viviendas particulares habitadas sin sanitario
	Viviendas particulares habitadas sin acceso al agua entubada de la red pública
	Viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje
	Viviendas particulares habitadas que no disponen de energía eléctrica

Tabla 72.- Indicadores de las características del menaje y servicios de la vivienda considerados para la determinación de vulnerabilidad en el municipio de Centro. Fuente: Elaboración propia

Área de Evaluación	Indicador Utilizado
Características del menaje y otros servicios	Viviendas particulares habitadas que disponen de microondas
	Viviendas particulares habitadas que disponen de radio
	Viviendas particulares habitadas que disponen de televisión
	Viviendas particulares habitadas que disponen de computadora personal
	Viviendas particulares habitadas que disponen de lavadora
	Viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador
	Viviendas particulares habitadas que disponen de vehículo automotor
	Viviendas particulares habitadas que disponen de motocicleta
	Viviendas particulares habitadas que disponen de bicicleta
	Viviendas particulares habitadas que no disponen de servicio de internet
Servicios	Viviendas particulares habitadas que disponen de televisión de paga
	Viviendas particulares habitadas que disponen de servicios en línea (música, series, películas)
	Viviendas particulares habitadas que no disponen de radio y televisión
Acceso a la información	Viviendas particulares habitadas que no disponen de línea telefónica ni celular

5.2.- Vulnerabilidad Física

La vulnerabilidad física se entiende como la susceptibilidad de un bien inmueble (casa o edificio) o infraestructura (camino o puente) de sufrir un daño como resultado de su exposición a un peligro específico. Por ejemplo, la vulnerabilidad de un edificio escolar ante una inundación o un sismo.

La vulnerabilidad física se representa por una función matemática que interpola el monto económico de los daños o el monto de las reparaciones necesarias para restablecer su funcionalidad original con la

magnitud del fenómeno, un ejemplo relevante por las características del municipio sería el tirante y la velocidad del agua.

La vulnerabilidad estructural se refiere entonces al daño o afectación que sufre un activo determinado ante una amenaza dada. Este se mide usualmente en términos de la relación media del daño (RMD) determinado por el valor económico requerido para reparar el bien afectado y regresarlo al estado equivalente al que tenía antes de ocurrir el daño.

El RMD se mide como porcentaje de su valor de reposición total (ERN, 2012; Galindo-Alcantara et al., 2015).

Para la construcción de una función de vulnerabilidad usualmente se utilizan técnicas de evaluación de daños que recogen datos del análisis del impacto de los fenómenos correlacionándolos con modelos experimentales para construir la expresión matemática que mejor se ajuste a las características físicas del bien analizado. Este proceso requiere de datos de varios años de observación de los daños y su documentación como resultado de acciones externas que moldean el comportamiento de una estructura.

Para el caso del municipio de Centro no existe un proceso de recopilación, análisis y resguardo de esta información que permita establecer parámetros del daño establecido por diferentes fenómenos. Tampoco existen registros formales de las intervenciones de la UMPC, por lo que se recurrió a otras fuentes para la definición de las principales funciones de vulnerabilidad.

5.3.- Vulnerabilidad Sísmica

La intensidad sísmica puede ser definida por la aceleración, velocidad, desplazamiento o cualquier otra variable que presente una fuerte correlación frente al nivel de daño del componente a considerar. Para el municipio de Centro no se cuenta con un registro de daños correlacionado con la intensidad de los eventos registrados, por lo que se hace imposible utilizar este método para la definición de vulnerabilidad. Ante esta situación se recurrió a la búsqueda de una función de vulnerabilidad en la bibliografía internacional.

La función de vulnerabilidad de las construcciones se expresa mediante curvas que vinculan la Relación Media de Daño, RMD, también llamada β , y una medida de intensidad del evento, y por otro lado, la medida de desviación estándar del parámetro anterior también como función de la intensidad del evento (Miranda, 1999).

Los estudios de amenaza permiten obtener los parámetros de intensidad demandados a la estructura. Estos están dados en general en términos de aceleración para diferentes periodos estructurales dominantes de vibración. Desde el punto de vista de la función de vulnerabilidad, la medida de intensidad que se selecciona corresponde en general al parámetro que mejor se ajuste a la representación de daño de cada construcción en particular. En general se utilizan las siguientes representaciones:

- ▲ Estructuras rígidas, de poca altura, en mampostería estructural, adobe y

materiales similares; el daño se correlaciona normalmente en términos de la aceleración espectral inelástica. Para el caso de estructuras muy rígidas, el parámetro que se utiliza normalmente es la aceleración máxima del terreno.

- ▲ Estructuras de altura en sistemas rígidos o flexibles tales como sistemas aporticados, combinados o sistemas de muros estructurales en edificios de varios pisos, el daño se correlaciona normalmente con la deriva espectral inelástica de la edificación.

La selección de funciones de vulnerabilidad debe hacerse teniendo en cuenta las siguientes precauciones:

La Relación Media de Daño (RMD) asignada a un elemento estructural individual no es la misma a nivel de toda una estructura. Se hace necesario entonces establecer cuál es la RMD global a partir de la RMD de componentes o elementos individuales.

El comportamiento global de la estructura puede variar significativamente con respecto al comportamiento de un elemento estructural dado, aún si este elemento es uno de los principales de la estructura.

De acuerdo con las características de la vivienda en el municipio de Centro se seleccionó la función de vulnerabilidad propuesta por ERN (2012) (Figura 55).

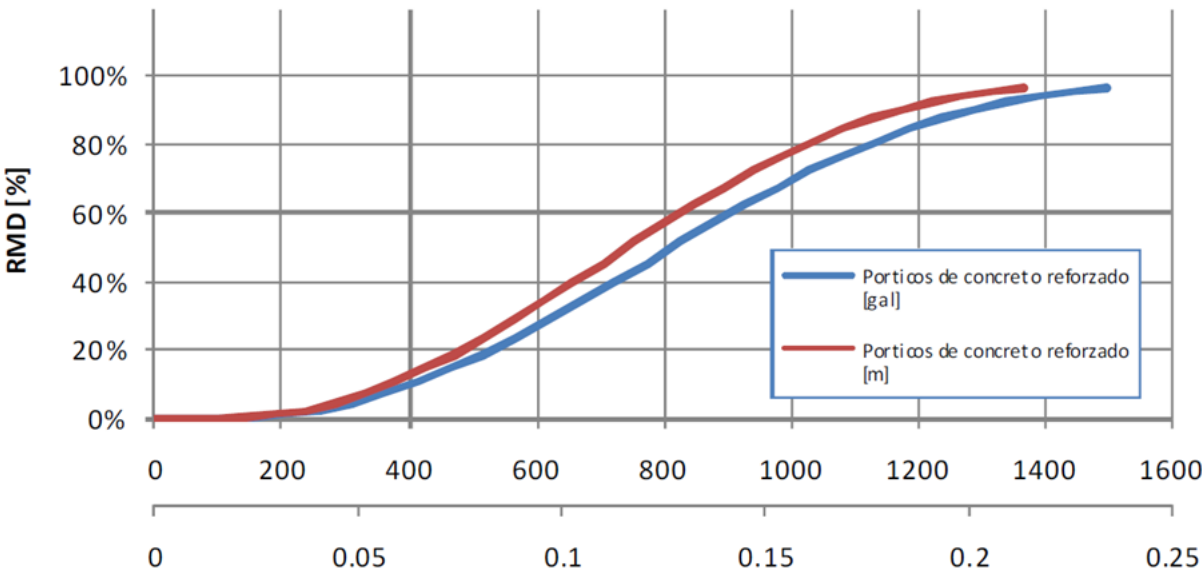


Figura 55.- Dos ejemplos de funciones de vulnerabilidad, uno en términos de aceleración espectral inelástica y otra en términos de deriva espectral inelástica; Rojo) Aceleración espectral elástica [gal]; Azul) Desplazamiento espectral elástico [m]. (ERN, 2012).

5.4.- Vulnerabilidad por Vulcanismo

Para una erupción volcánica la intensidad de una lluvia de ceniza se mide en función de la cantidad de material depositado por unidad de superficie. Esto principalmente por el peso que se deposita sobre la estructura, que es el principal factor de daño que puede presentarse en una estructura. En este caso, las funciones de vulnerabilidad varían

en función del tipo de construcción de la cubierta o techo. En la Figura 56 se presentan algunas funciones de vulnerabilidad para edificaciones menores con cubiertas inclinadas y tejas, así como para edificaciones menores con cubiertas planas conformadas por losa de concreto o similar.

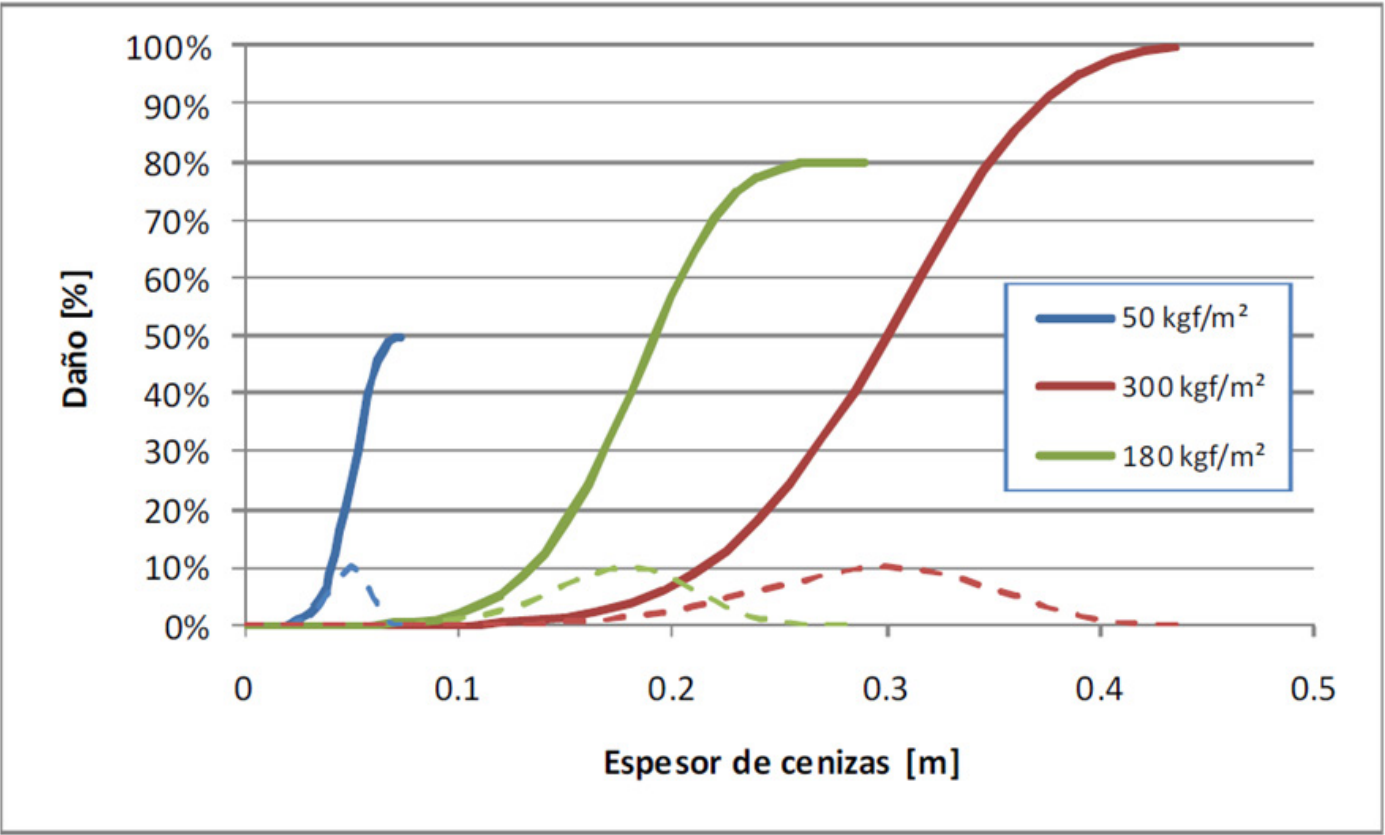


Figura 56.- Funciones de vulnerabilidad para depósitos de ceniza en diferentes estructuras. (ERN, 2012)

5.5.- Vulnerabilidad por Vientos Huracanados

Los daños ocasionados por los vientos fuertes rara vez son reportados y en la mayoría de los casos no establecen una correlación entre los daños y la fuerza de los vientos que los causaron. Así, las experiencias de análisis no se documentan de manera adecuada, con lo que se dificulta la utilización de estas para elaborar funciones de vulnerabilidad adecuadas a las características del fenómeno a evaluar.

En los reportes de efectos y daños de este tipo de eventos casi nunca se hace referencia a la variación espacial y temporal del campo de vientos y de manera intuitiva todos los daños son asignados a la velocidad máxima sostenida con la que se caracterizó al evento.

La modelación del daño ante vientos huracanados se establece mediante funciones de vulnerabilidad que utilizan la velocidad de viento pico para ráfagas de 5 segundos. Para la evaluación de la vulnerabilidad de la edificación ante vientos fuertes se requiere entonces información relativa al sistema estructural, elementos de fachada, tipo de cubierta, el tipo de acabados, materiales y conexiones susceptibles a sufrir daño.

Una estructura dentro de un campo de viento está sujeta a fuerzas aerodinámicas, las cuales se distribuyen sobre y a través de la estructura dependiendo de sus características. Estas fuerzas aerodinámicas ocasionan presiones y succiones sobre el recubrimiento de la estructura. Estos elementos transfieren las fuerzas a los componentes estructurales resistentes.

Los daños que típicamente presenta la infraestructura afectada por las altas velocidades del viento de los huracanes, son los siguientes:

- Caída de recubrimientos ligeros en edificios.
- Rotura de ventanas.
- Daños en vitrales en la fachada de construcciones.
- Pérdida de techos ligeros y domos, lo cual ocasiona daños al interior de las construcciones.
- Daño a plafones y muros de material ligero en interiores.
- Colapso de techos contruidos con madera y palma (palapas), lo cual ocasiona el daño a contenidos.
- Daño importante en elementos de recubrimiento ligeros en lámina para estructuras de acero
- Colapso de anuncios comerciales, que a su vez afectan construcciones cercanas.
- Socavación de cimentaciones.

El procedimiento para obtener las funciones de vulnerabilidad por viento para las diferentes clasificaciones de la infraestructura expuesta, consiste en identificar para diferentes velocidades de viento, el porcentaje de daño esperado en el inmueble a evaluar (Figura 57).

La estimación de las funciones de vulnerabilidad se ha realizado a través de:

- Modelos matemáticos.
- Reportes y artículos de investigaciones realizadas en este tema a nivel mundial.
- Análisis estadístico de daños que se han reportado después del paso de un huracán.

La función de vulnerabilidad propuesta se representa por medio de la siguiente expresión (ERN, 2012):

$$E[\beta] = E \left[1 - 0.5 \left(\frac{V}{\gamma} \right)^{\rho} \right]$$

Donde: V es la velocidad del viento en km/hr

p g son los parámetros que definen la forma de las funciones de vulnerabilidad para los diferentes tipos estructurales.

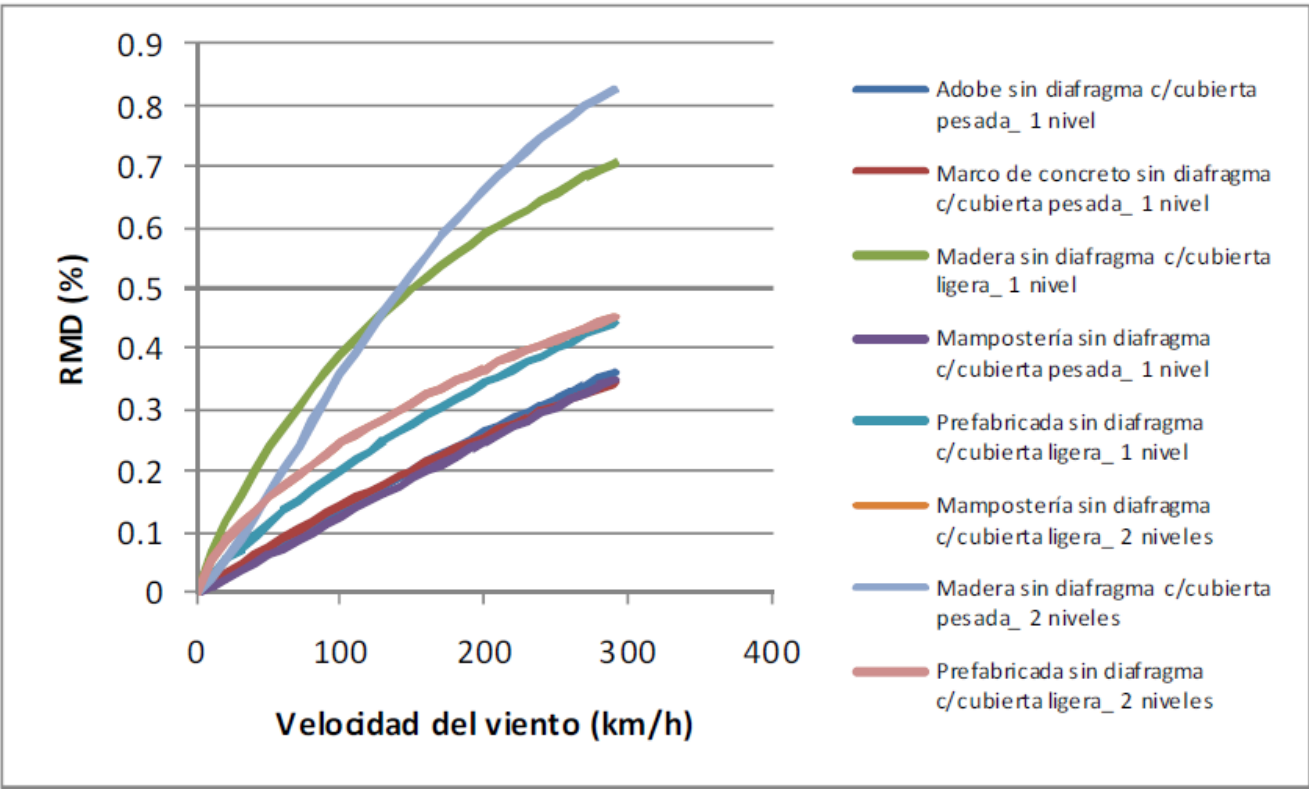


Figura 57. Funciones de vulnerabilidad para diferentes tipos de estructuras. (ERN, 2012)





Foto: El Heraldo de Tabasco

5.6.- Vulnerabilidad por Inundaciones y Anegamiento

Las funciones de vulnerabilidad ante una inundación se desarrollan para los diferentes tipos constructivos característicos, en función de dos parámetros principales: la profundidad de la lámina de agua de inundación y la velocidad máxima del flujo.

El municipio de Centro por su baja pendiente no presenta altas velocidades de flujo por lo que la amenaza de las inundaciones y anegamiento está relacionado preponderantemente a la profundidad de la lámina de agua.

Estas funciones no consideran los daños provocados por socavación, falta de resistencia por reblandecimiento del suelo o deficiencia de la cimentación que pueden producir el colapso de las estructuras.

Entre los años 2012 al 2015, el gobierno del estado de Tabasco realizó un estudio denominado Estrategia de Gestión de Riesgos (EGIR) en el cual se analizaron la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo de diversos elementos de equipamiento e infraestructura del estado y de sus municipios. En el EGIR se utilizaron los datos de los libros blancos del Fonden para las declaratorias emitidas,

apoyadas y evaluadas. Con estos datos Galindo y colaboradores (2015) desarrollaron funciones de vulnerabilidad específicas para diferentes bienes del estado. Uno de estos fueron las viviendas del municipio de Centro. Por lo que ante la falta de información actualizada se recurrió a estas funciones para el cálculo de la vulnerabilidad.

La asignación de las ecuaciones de vulnerabilidad se realizó mediante una clasificación de las características de la vivienda a partir de los datos del censo de población. INVRU01 se asignó a todas las localidades rurales, es decir, aquellas localidades que tienen menos de 2,500 habitantes (Figura 58).

En tanto que INVSTR 01, 02 y 03 se asignaron en función de las características de la vivienda, reportadas en el censo a nivel manzana. INVSTR 01 se asignó a las manzanas que presentaron carencias en la vivienda como piso de tierra, falta de drenaje o servicios públicos. INVSTR 02 se asignó a las viviendas que cuentan con todos los servicios pero que se encuentran en colonias populares. En tanto que, INVSTR 03 se asignó para las viviendas restantes localizadas en manzanas urbanas (Figura 58).

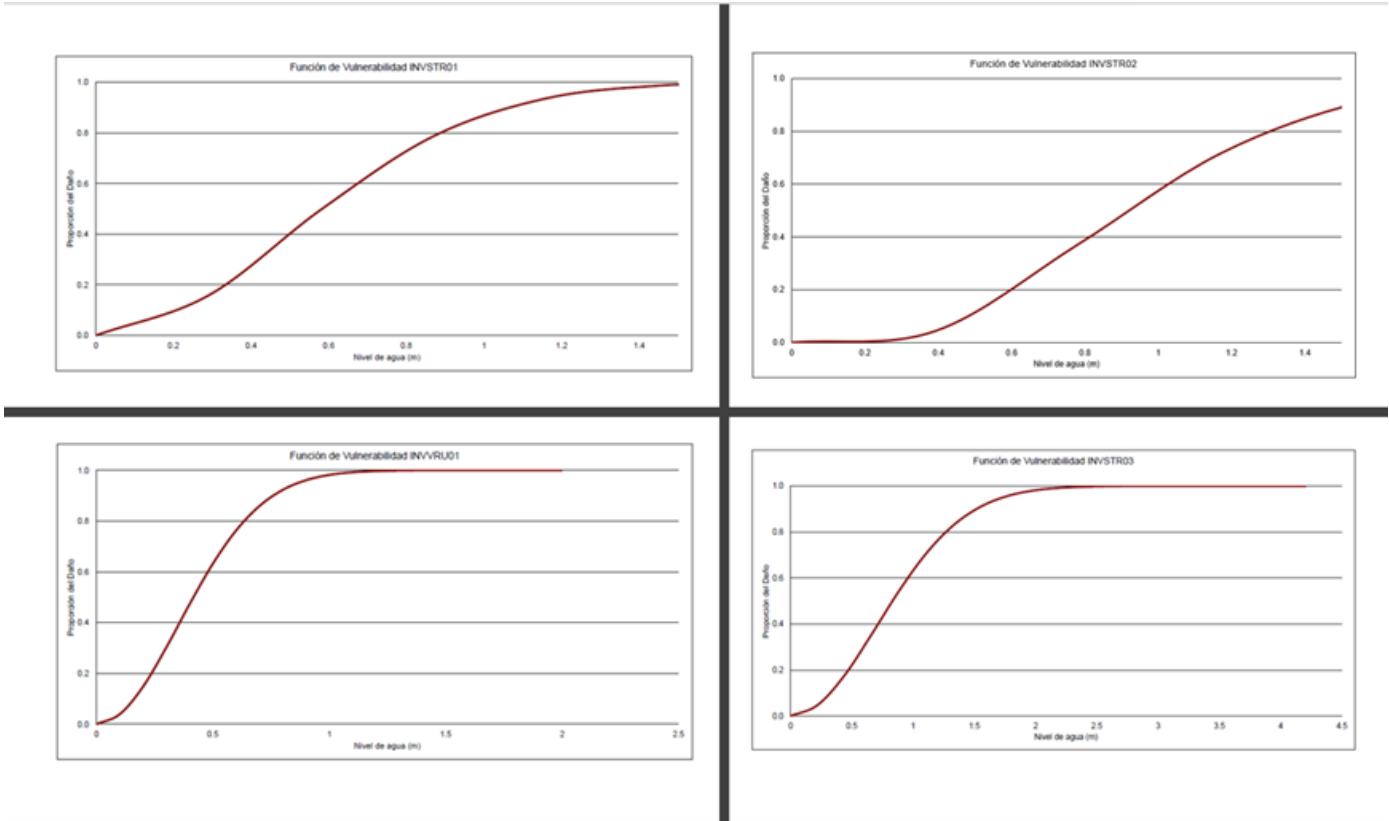


Figura 58.- Arriba izquierda INVSTR01; Arriba derecha INVSTR02; Abajo izquierda INVSTR03; Abajo derecha INVRU01 (Galindo-Alcantara et al., 2015).

Las funciones de vulnerabilidad consultadas son:

Clave de la función	Características de la función
INVSTR01	Vivienda tipo de estrato socioeconómico bajo (materiales de la región)
INVSTR02	Vivienda estrato socio económico bajo (material de construcción)
INVSTR03	Vivienda estrato socio económico medio (dos plantas promedio)
INVRU01	Vivienda rural (elaborada con material mixto)

