

# Aportes al plan para la mitigación de riesgos en el sector central del parque Metropolitano Albarregas, Mérida, Venezuela

## Contributions to the plan for risk mitigation in the central sector of the Albarregas Metropolitan Park Mérida, Venezuela

Mejía, Luis<sup>1\*</sup>; Segura, Deivi<sup>1</sup>; Mora, Luis<sup>2</sup>; Pérez, Alberto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica, Mérida – Venezuela.

<sup>2</sup> Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

\*[luismejia637@gmail.com](mailto:luismejia637@gmail.com).

### Resumen

*El crecimiento de la población ha generado la falta de planificación urbana, asentando centros poblados en zonas no recomendadas para dicho uso o sin la toma de previsiones necesarias en cuanto al riesgo y desastre estipuladas en las leyes. La presente investigación tuvo como objetivo generar aportes al desarrollo de un plan para la mitigación de riesgos, para ello se calcularon parámetros hidráulicos de profundidad del tirante de agua y velocidad de flujo en el modelo HEC-RAS 5.0.3, los cuales indicaron los criterios para evaluar los niveles bajo, medio y alto de amenaza por desborde para diferentes períodos de retorno (25, 50, 100, 200, 500 años), por medio de datos tomados de caudales máximos,  $Q_{25}= 519,3 \text{ m}^3 /\text{s}$ ,  $Q_{50}= 600,6 \text{ m}^3 /\text{s}$ ,  $Q_{100}= 688,4 \text{ m}^3 /\text{s}$ ,  $Q_{200}= 765,7 \text{ m}^3 /\text{s}$  y  $Q_{500}= 873,3 \text{ m}^3 /\text{s}$ , tomados de Rojas, (2017). De la misma forma se desarrolló escenarios de riesgo sísmico, evaluando consecuencias probables. Los análisis y organización de la información siguieron la pauta metodológica y de técnicas de cálculo desarrolladas por el Dr. Argimiro Castillo en su tesis doctoral sobre escenarios de comportamiento de edificaciones ante eventos sísmicos. Se tomó el método "Sísmico" "Determinístico" como resultado del análisis de riesgos en dos posibles eventos con intensidades de  $I = VI$  y  $I = IX$  en la Escala de Mercalli, los efectos inducidos (efectos locales del suelo y deslizamientos de tierra) se determinaron mediante la metodología de estimación de pérdidas sísmicas HAZUS. Sus aplicaciones permitieron la generación de mapas de zonificación de amenazas para estimar pérdidas ante un evento sísmico e hidrogeomorfológico y entender que, la socavación se convierte en el principal agente generador de amenaza ya que las grandes alturas que presentan los taludes limitan la posibilidad de desbordes.*

Palabras clave: Riesgo sísmico, intensidad, crecidas, Hec-ras, Hazus, efectos locales, mitigación, deslizamiento.

### Abstract

*The growth of the population has generated the lack of urban planning, settling populated centers in areas not recommended for such use or without taking necessary precautions in terms of risk and disaster stipulated in the laws. The objective of this investigation was to generate contributions to the development of a risk mitigation plan, for which hydraulic parameters of depth of the water depth and flow velocity were calculated in the HEC-RAS 5.0.3 model, which indicated the criteria to evaluate the low, medium and high levels of overflow threat for different return periods (25, 50, 100, 200, 500 years), through data taken from maximum flows,  $Q_{25}= 519.3 \text{ m}^3 /\text{s}$ ,  $Q_{50}= 600.6 \text{ m}^3 /\text{s}$ ,  $Q_{100}= 688.4 \text{ m}^3 /\text{s}$ ,  $Q_{200}= 765.7 \text{ m}^3 /\text{s}$  and  $Q_{500}= 873.3 \text{ m}^3 /\text{s}$ , taken from Rojas, (2017). In the same way, seismic risk scenarios were developed, evaluating probable consequences. The analysis and organization of the information followed the methodological guideline and calculation techniques developed by Dr. Argimiro Castillo in his doctoral thesis on behavior scenarios of buildings in the face of seismic events. The "Seismic" "Deterministic" method was taken as a result of the risk analysis in two possible events with intensities of  $I = VI$  and  $I = IX$  on the Mercalli Scale, the induced effects (local effects of the soil and landslides) were determined using the HAZUS seismic loss estimation methodology. Its applications allowed the generation of hazard zoning maps to estimate losses in the face of a seismic and hydrogeomorphological event and to understand that scour becomes the main threat-generating agent since the great heights of the slopes limit the possibility of overflows.*

Keywords: Seismic risk, intensity, floods, Hec-ras, Hazus, local effects, mitigation, landslide

## 1 Introducción

Actualmente, el riesgo se suele valorar en términos físicos debido a que la vulnerabilidad social es muy difícil de cuantificar. Por otro lado, el nivel de riesgo de una sociedad está relacionado con sus niveles de desarrollo y su capacidad para afrontarlos. Una comunidad puede enfrentar distintas vulnerabilidades o debilidades ambiental, física, económica, social, institucional (Wilches-Chaux, 1993), en ella se evidencia un incremento de la vulnerabilidad, como consecuencia de los cambios en los patrones de precipitaciones, producto de la variabilidad natural del clima, las cuales generan escenarios de riesgos diferentes dependiendo de las características y exposición a la amenaza de cada comunidad. Cuando no se interviene en ese riesgo, se genera la emergencia si ésta sobrepasa la capacidad de respuesta de la comunidad se desencadena el desastre, con pérdidas económicas y de vidas.

Mérida es una ciudad tropical de montaña enclavada dentro de Los Andes Centrales Venezolanos, específicamente dentro de la porción central de la cuenca hidrográfica del río Chama, siguiendo su emplazamiento físico una orientación NO-SE. Por su posición geográfica, características geológicas y topografía, presenta una compleja variedad de aspectos climáticos, hídricos, ambientales y bióticos.

El área seleccionada para la investigación se corresponde con la cuenca del río Albarregas en el tramo 4 y 5 de la zona central del Parque Metropolitano Albarregas, siendo esta una de las zonas con un crecimiento urbano acelerado y localización de grandes áreas de servicios públicos, como lo son; La alcaldía del municipio Libertador, el aeropuerto Alberto Carnevali, CAMIULA, Corposalud y otros entes gubernamentales. Por esta razón la importancia de desarrollar herramientas que permitan a las zonas urbanas establecer acciones que mitiguen y proporcionen una respuesta oportuna ante una posible amenaza.

Por ende, resulta importante establecer técnicas metodológicas que ayuden a los habitantes de las zonas urbanas a establecer tanto sus posibles vulnerabilidades físicas y sociales ante las amenazas naturales como su nivel de riesgo, para que luego puedan establecer acciones que mitiguen los posibles riesgos.

Lo descrito anteriormente conlleva a plantear el siguiente objetivo general: Realizar aportes al desarrollo de un plan para la mitigación de riesgos sísmicos e hidrogeomorfológicos utilizando los modelos numéricos HAZUS, MH-MR3 y HECRAS en la Zona central del parque Metropolitano Albarregas.

Para lograrlo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Conocer las condiciones de estabilidad geotécnica y de riesgos sísmicos e hidrogeomorfológicos del área partiendo de una revisión de estudios que permitan un diagnóstico de la situación actual de la zona de estudio.
- ✓ Zonificar espacios bajo condiciones de riesgo aplicando metodologías propuestas para los modelos numéricos a utilizar, identificando las áreas más susceptibles a riesgo sísmico e hidrogeomorfológico.
- ✓ Proponer una base de datos mediante el análisis e interpretación de los resultados, que posibilite la cuantificación de pérdidas materiales ante eventos sísmicos e hidrogeomorfológicos.

La zona norte de Venezuela se caracteriza por formar parte de los límites entre las placas de América del Sur y el Caribe. La zona de subducción del Caribe debajo de la placa de América del Sur da lugar a las cadenas montañosas de los Andes las cuales se caracterizan por ser un límite de placas múltiples ramas conocida como zona de falla de Boconó. La traza principal de la Zona de Falla de Boconó (BFZ), así como las fallas secundarias sub paralelas, son fallas de rumbo-deslizamiento lateral derecha orientadas al NE Figura 1.

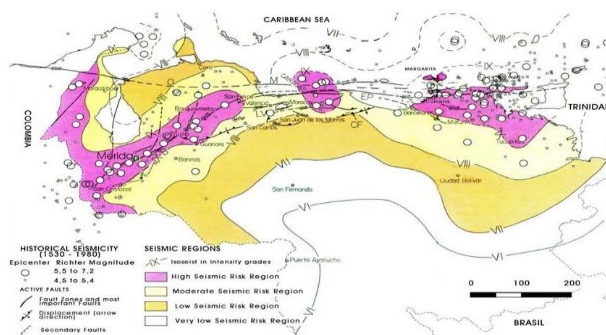


Fig. 1. Mapa histórico de sismicidad de Venezuela (Schubert, 1984).

Los estudios en Mérida sobre sismicidad la identifican como una zona con importante sismicidad de diferentes fallas y sistemas de fallas. Varios autores, a través de diferentes metodologías, han realizado varios estudios de sismicidad para Mérida; estos se describen brevemente cronológicamente con la metodología utilizada y los resultados relevantes obtenidos.

Basado en un enfoque determinista (DSHA), este autor identifica ocho fuentes sismogénicas, ver Tabla 1, y por registros históricos e instrumentales identifica eventos de escenario para cada una de las fuentes.

En esta investigación se establece el evento 1812,  $M = 8$  Richter,  $I$  (MMI) = X como escenario sísmico para la ciudad de Mérida, asociado a la Zona de Falla de Boconó como fuente sismogénica (Laffaille, 1996).

**Tabla 1.** Fuentes sísmogénicas para la ciudad de Mérida (100-km radius) (Laffaille, 1996)

Fuente	Distancia (km)	Magnitud (Mb)	Intensidad (MM)
Boconó	12.5	8	IX – X
Granates	15	6.9	VII – VIII
Celoso	25	6	V – VI
Soledad	40	6	V – VI
Piedemonte	35	6.9	VI – VII
Icotea	45	< 6.0	V

## 2 Materiales y Métodos

El procedimiento metodológico de la investigación se conformó en cuatro (4) fases o etapas de trabajo:

- Fase I: Recopilación y revisión Bibliográfica.
- Fase II: Reconocimiento y adquisición de datos en campo.
- Fase III: Simulación y zonificación.
- Fase IV: Análisis e interpretación de resultados y propuestas.

Las fotografías fueron facilitadas por la oficina del Parque Metropolitano Albarregas (PAMALBA), allí, se identificaron rasgos geológicos como estructuras geológicas (fallas, pliegues, discordancias), litologías, rasgos geomorfológicos que permiten inferir la presencia de fallas geológicas (alineamiento de drenajes, facetas triangulares, drenajes desplazados, entre otros.), zonas pobladas y usos de la tierra. Dichos rasgos contribuyeron a la caracterización del área estudiada.

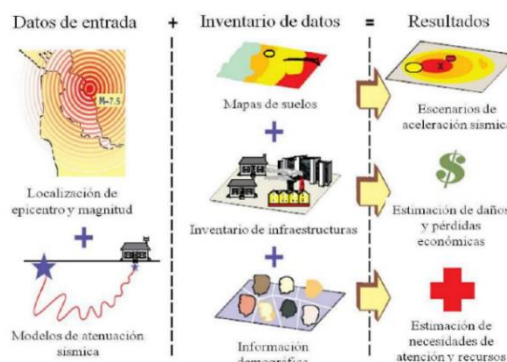


**Fig. 2.** Fotografías aéreas de la misión 010497 (170 / 171 / 172).

La metodología HAZUS MH, fue creada en los Estados Unidos de Norteamérica por La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (Fema, 2017). Los especialistas y planificadores de FEMA desarrollaron esta herramienta metodológica con el fin de atender los efectos generados por desastres naturales.

En HAZUS MH, se contemplan una serie de variables Figura4. Que se interrelacionan para obtener posibles daños materiales en infraestructura y sus efectos en la sociedad.

- Dentro de las variables que se contemplan están:
- ✓ La simulación de escenarios sísmicos, a partir de los que se obtienen mapas de aceleración pico del terreno que luego se reclasifican para obtener valores de intensidad de Mercalli Modificada.
  - ✓ La utilización de ecuaciones de atenuación sísmica del terreno.
  - ✓ Se realiza un inventario de las infraestructuras involucradas y que se pueden ver afectadas por el sismo, se consultan mapas de suelos y sus características de respuesta ante el efecto de las ondas sísmicas.



**Fig. 3.** Esquema de la metodología del programa HAZUS MH. Fuente: FEMA 2008.

El modelo de simulación hidráulica HEC – RAS 5.0.3, permite conocer la capacidad del cauce para transportar una determinada creciente partiendo de datos geométricos (secciones transversales) y los datos asociados a éstas, así como, diferentes elementos que pudiesen encontrarse a lo largo de la red de drenaje: bancos, puentes, alcantarillas, represas, diques, vertederos, entre otros.

En este sentido, el modelo requiere como datos de entrada:

- La geometría del cauce (secciones transversales).
- La rugosidad del lecho y de los bancos.
- Los caudales de diseño.

Con base en el catálogo sísmico histórico, y estudios previos realizados, se procedió a identificar y ubicar las fuentes sísmicas y a analizar el potencial sísmico de las mismas, considerando para este estudio, sismos de importante capacidad destructiva. Este análisis se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Terremotos ocurridos en el occidente de Venezuela. Fuente: (Chirinos, 2010).

Fecha	Tiempo	Epicentro macrosísmico	In-tensi-dad	Fuente de mapa de isosistas
16 de enero de 1674	15:30	8,9°N 70,90°W	VIII	Palme y Altez 2002
26 de marzo de 1812	17:00	8,37°N 71,07°W	IX	Altez, 2005
28 de abril de 1894	22:15	8,7°N 71,70°W	IX	Kingland, Torres y Inglessis, 2008
14 de marzo de 1932	18:00	8,15°N 72,03°W	VIII	Escoba y Rengifo, 2001
03 de agosto de 1950	17:50	9,74°N 69,83°W	IX	INGEO-MIN

En el desarrollo de ese trabajo, se ha empleado con el fin de estimar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno (25, 50, 100, 200 y 500 años) considerando como puntos de cierre de la cuenca el sector Brisas del Alba de la Ciudad. (Rojas, 2017). Los resultados se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Síntesis de la estimación de caudales generados por HEC- HMS 4.2 para el río Albarregas y algunos de sus afluentes (Rojas, 2017).

Punto de Generación	Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s) para los diferentes periodos de retorno				
	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
Qda. Milla	102,4	116,9	132,5	147,5	167,6
Qda. La Pedregosa	247,8	308,7	367,6	419,5	501,0
Qda. Carvajal	97,7	112,4	128,2	143,1	161,9
Qda. Montalbán	107,4	133,3	158,5	182,6	217,2
Río Albarregas en el sector Brisas del Alba	519,3	600,6	688,4	765,7	873,3
Río Albarregas en el sector La Mata baja	1180,9	1383,6	1593,0	1787,4	2056,5
Río Albarregas metros arriba de su confluencia con el río Chama	1404,1	1651,3	1904,8	2141,9	2468,4

En la etapa de simulación y zonificación está enfocada en la aplicación de las de las herramientas computacionales para la estimación y simulación del riesgo ante eventos sísmicos y de inundación del área de estudio.

Con el programa HAZUS MH-MR3, se tiende a generar los modelos que identifican el riesgo sísmico, identificando particularmente las zonas que estarían más vulnerables a deslizamientos de suelos por efectos de sismos de magnitud considerable, específicamente donde se encuentran los elementos urbanos y antrópicos del Parque Metropolitano Albarregas. Por su parte con la metodología de simulación hidráulica HEC-RAS 5.0.3 se pretende modelar bidimensionalmente el flujo inestable del río Albarregas y

simular las huellas de inundación asociadas al mismo en escenarios sísmicos e hidrogeomorfológicos asociados.

### El Modelo Hazus

Es un programa desarrollado en los años 90 por la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA), junto con el National Institute of Buildings Sciences (NIBS), para evaluar las pérdidas potenciales por amenazas naturales en las ciudades de los Estados Unidos. Involucra un diseño de metodologías y software para estimar pérdidas por amenazas múltiples (MH), análisis de las Amenazas por inundaciones (MR-2), pérdidas por deslizamiento de terrenos por incidencia sísmica (MR-3).

En síntesis, permite estimar las potenciales pérdidas en edificaciones e infraestructura debido a terremotos, a las inundaciones fluviales y costeras, y a los vientos huracanados (Fema, 2017).

### El Modelo HEC-RAS

Es un programa desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE. UU (liberado en 1995), que modeliza la hidráulica de flujo de aguas de ríos naturales y de otros canales, de cambios de forma de sección de cruce, curvas, y otros aspectos bidimensionales y tridimensionales del flujo, así como transferencia de sedimentos. Incluye numerosas capacidades de almacenamiento y gestión de datos y capacidades gráficas y de informes.

Está compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelización de flujo en régimen permanente.
- Modelización de flujo en régimen no permanente.
- Modelización del transporte de sedimentos.
- Análisis de calidad de aguas.

## 3 Resultados y Discusión

El lugar se caracteriza principalmente por la presencia del río Albarregas, este divide la terraza de Mérida que a su vez están conectadas por medio de viaductos y enlaces, presenta un relieve empinado, con pendientes abruptas y crestas bien definidas, los cuales son típicos de materiales resistentes, esto se muestra en la Figura 4

### Elaboración de la cartografía base

Los perfiles topográficos proporcionaron la información más general de la zona de estudio, como la toponimia, vialidad, hidrografía y topografía a través de las curvas de nivel, esto se muestra en la Figura 5.

El mapa de pendientes de la Figura 6, forma parte de la información preliminar, su confección, se realizó a





ocurran desplazamientos de terreno.

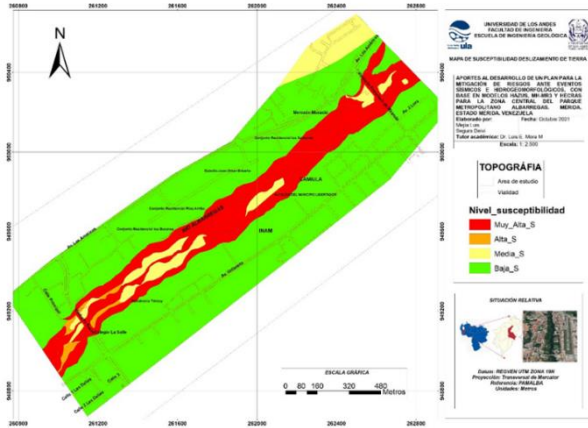


Fig. 8. Mapa de susceptibilidad.

**Mapa de efectos locales del suelo**

El subsuelo de la meseta de Mérida se caracteriza por poseer dos tipos de suelos, dependiendo de su posición geográfica con respecto al río Albarregas: arcillo-arenosos con poca grava, al Norte y areno-limosos con grava, al Sur, ubicaciones cercanas a cañones profundos, crestas o en cuencas aluviales con geometría compleja específica, pueden generar efectos significativos inesperados en el movimiento del suelo.

Con base en lo anterior, es importante considerar los efectos locales del suelo, ya que pueden generar una amplificación en cuanto a la intensidad del sismo, en la Figura 9 se puede apreciar en el lado Sur de coloración naranja, presenta un incremento de media unidad de intensidad, con respecto al lado Norte.

**Mapas de Desplazamiento de tierra por deslizamiento de tierra**

Por medio de la metodología de Hazus, se exponen los resultados de la aplicación del modelo de simulación de Desplazamiento de tierra Permanente (DTP), los resultados del análisis de estabilidad de taludes para las características particulares en el área de estudio

Se obtiene que para el escenario de I = IX los terrenos con susceptibilidad de deslizamiento de VIII a X pueden sufrir deslizamiento, cabe destacar que los deslizamientos de tierra ocurren o no dentro de los depósitos susceptibles dependiendo de si la aceleración máxima inducida del suelo  $a_{is}$  excede o no la aceleración crítica  $a_c$ , en un cierto porcentaje de la superficie total del sitio evaluado, como resultado de estudio para el escenario I = IX la  $a_c$ : 0.10 es menor que la  $a_{is}$ : 0.1646 y para el escenario de I = VI la  $a_c$ : 0.10 es casi

similar a la  $a_{is}$ : 0.0899.

Lo expuesto anteriormente indica que el porcentaje de desplazamiento es relativamente alto. La Figura 10, muestra para el escenario I = VI el valor de DTP fue de 0,2402 cm entrando en el rango establecido en la metodología de Hazus. si bien se producen desplazamiento de tierra, los efectos pueden ser muy locales, quedando expuesto algunos sitios del talud.

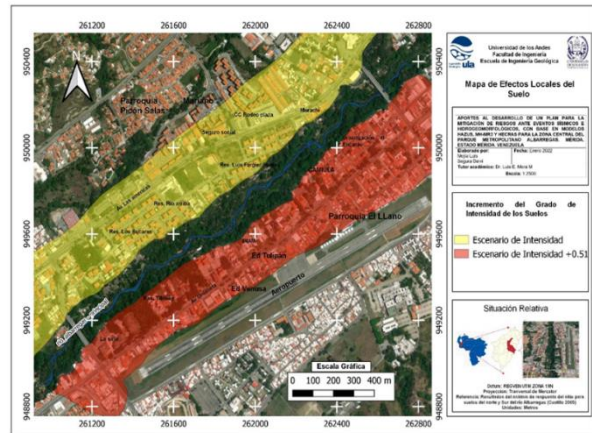


Fig. 9. Mapa de efectos locales del suelo.



Fig. 10. Mapa de desplazamiento de tierra permanente para I=VI.

De igual manera para el escenario I = IX el cálculo DTP fue de 1,1899 cm, para este evento el valor obtenido es mucho más amplio que el evento anterior.

Se muestra en la Figura 11, que la totalidad del talud en ambos márgenes se encuentran ampliamente expuestos a desplazamiento. Tal como se mencionó anteriormente, este valor queda dentro del rango establecido por la metodología de Hazus, el cual indica que el máximo desplazamiento de tierra es de 14,8292 cm.



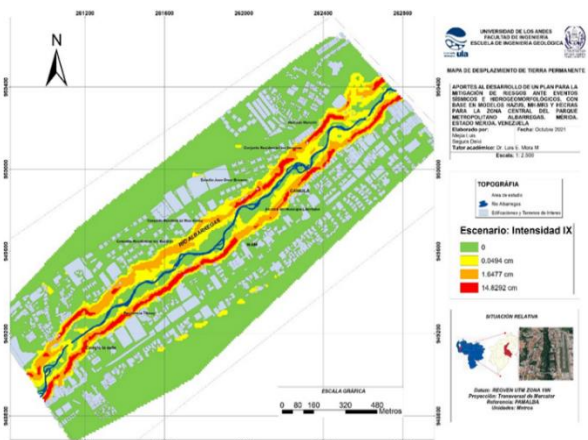


Fig. 11. Mapa de desplazamiento de tierra permanente para I=IX.

Con base en los resultados obtenidos, se planteó crear un mapa de normativa para la construcción de edificaciones en los márgenes de los ríos y taludes, como se muestra en la Figura 12, partiendo de las leyes (Ley de Gestión Integral de Riesgos Socio naturales y Tecnológicos (Gaceta Oficial N° 39.095 del 9 de enero de 2009) y Ley de aguas 2018)

Las franjas identificadas con color azul y gris corresponden a las áreas que no cumplen con el distanciamiento reglamentario respecto al talud y los bordes del río Albarregas, presentando un alto porcentaje de exposición.

Posterior a la evaluación de las normativas, se genera el mapa de exposición a desplazamiento de tierra.

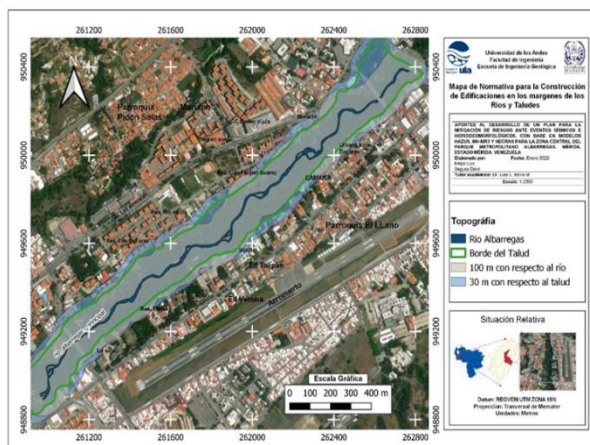


Fig. 12. Mapa de normativa para la construcción de edificaciones en los márgenes de los ríos y taludes

Se desarrolla la Figura 13. Que relaciona un evento de intensidad IX y los efectos locales del suelo. Se destaca que gran parte de estas edificaciones no cuentan con un plan de mitigación para dar respuesta a los eventos sísmicos planteados.

La clasificación muy Alta dada en la Figura 13, corresponde a toda la zona Sur del talud, en la misma, se han tomado en cuenta los efectos locales del suelo y pendiente que superan los 35°.

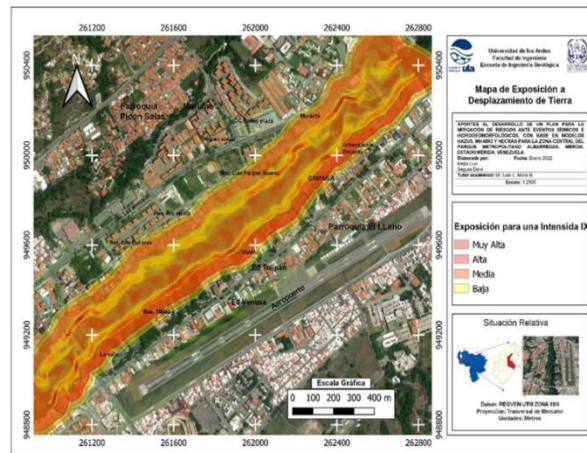


Fig. 13. Mapa de exposición a desplazamiento de tierra.

Evaluación del riesgo geológico en edificaciones, debido a peligros sísmicos.

Los Desplazamientos Permanentes de Suelo producidos por fenómenos como los deslizamientos de tierra, pueden generar daños considerables al entorno edificado y consecuentemente distribuir pérdidas de diferente naturaleza (humana, económica y social).

La altura de los taludes en el área de estudio varía entre los 15 a 30 metros de altura con respecto a la horizontal.

En la Figura 14. se identifican las zonas que no cumplen con un margen de retiro, otro factor importante evaluado fue el de los periodos fundamentales del suelo y los periodos predominantes en algunas edificaciones no mayores a 4 plantas correspondiente al área analizada.

Se estima que los periodos fundamentales de vibración del suelo para la terraza de Mérida, varían en un rango de 0,09 y 1 segundo, en el área de estudio, los valores se encuentran entre 0,2 y 0,3 y en cuanto a los periodos de las edificaciones (edificio Tulipán y Venusa) son 0,177 y 0,208.

Cabe destacar que, las edificaciones tienen un período natural, que es la cantidad de segundos que le toma al edificio vibrar naturalmente de un lado a otro, si el período de movimiento del terreno coincide con el periodo natural de un edificio, entonces tendrá las mayores oscilaciones

posibles y sufrirá el mayor daño.

Con base en lo expuesto anteriormente y tomando en cuenta los efectos locales del suelo (amplificación), desplazamiento de tierra y que los periodos del suelo comparados con aquellos de las edificaciones sean coincidentes, el riesgo de daño sísmico en las edificaciones evaluadas es muy alto, por ende pudieran sufrir daños considerables.

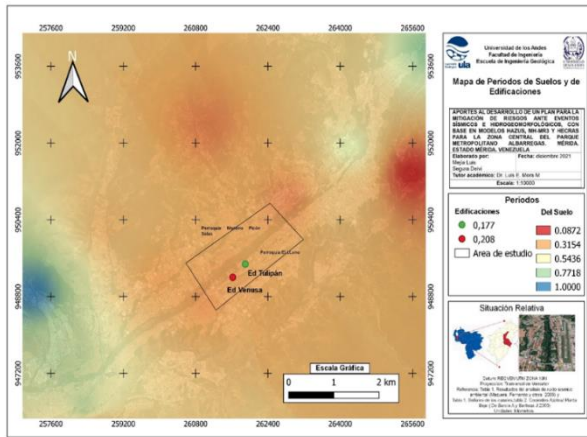


Fig. 14. Mapa de periodos de suelos y de edificaciones.

Es importante resaltar, que muchas de las edificaciones en Mérida no cumplen con la Norma Venezolana COVENIN 1756:2001 Edificaciones Sismorresistentes.

**Modelización Hidráulica, mediante el programa HEC – RAS 5.0.3.**

Se realiza la modelización hidráulica con el software HEC-RAS para el analisis de sitios susceptible a crecidas e inundaciones.

**Análisis de sitios susceptibles**

Las simulaciones hidrológicas e hidráulicas fueron realizadas para un tramo del cauce principal del río Albarregas, los mapas de Manchas de Desborde en el municipio del Libertador, ubicado entre las parroquias El Llano y Mariano Picón Salas del estado Mérida, fueron generados utilizando el software QGIS 3.16.7 y por medio del complemento RiverGIS ,con base en los resultados de la modelación hidrodinámica de las crecientes simuladas a través del modelo HEC-RAS 5.0.3 para los diferentes periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años, comprendida entre el viaducto Miranda al viaducto Sucre.

La zona de estudio presenta taludes con alturas entre 10-30 m. aproximadamente, pendientes inclinadas en su mayoría por debajo de 35 grados y en algunas partes superan los 45 grados, como puede observarse en las Figuras 15 a la 19. correspondientes a los mapas de mancha de desborde para

cada periodo de retorno simulado

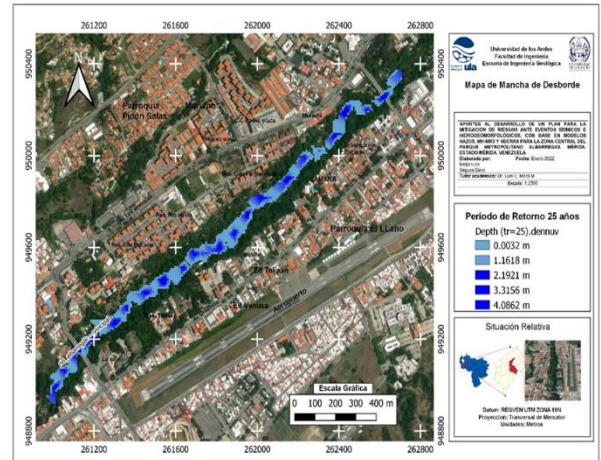


Fig. 15. Mancha de desborde, Tr = 25 años y Q= 519,3 m3/s.

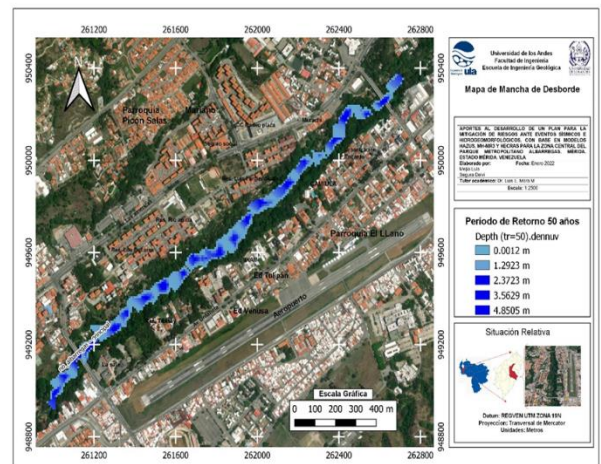


Fig. 16. Mancha de desborde, Tr = 50 años y Q=600,6 m3/s.

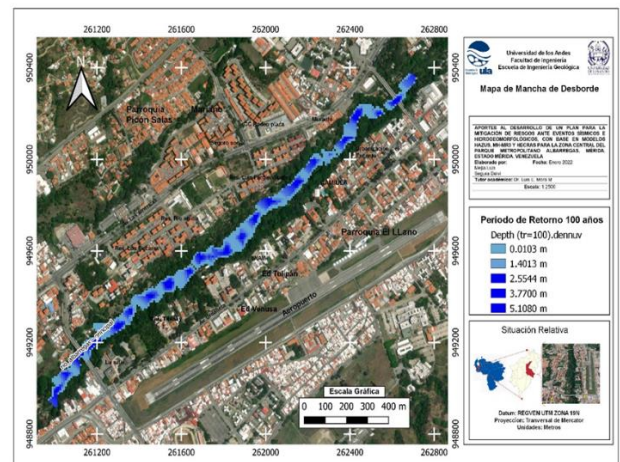
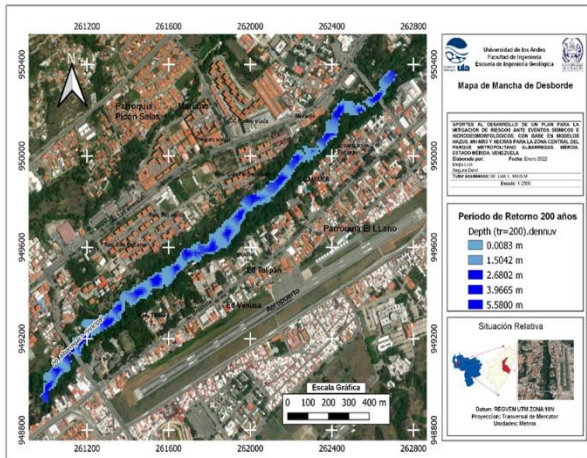


Fig. 17. Mancha de desborde, Tr = 100 años y Q=688,4 m3/s





s. Fig. 18. Mancha de desborde, Tr = 200 años y Q= 765,7 m<sup>3</sup>/s

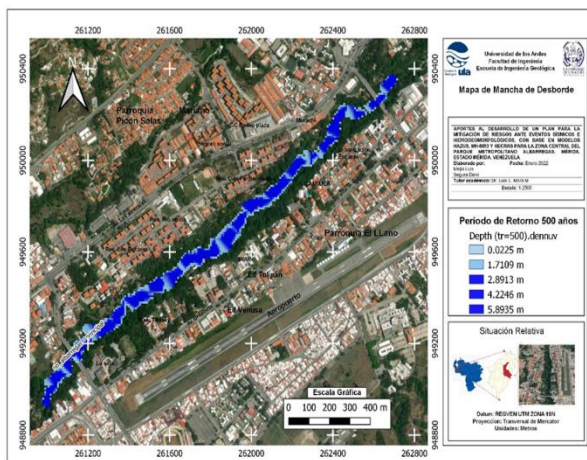


Fig. 19. Mancha de desborde, Tr = 500 años y Q= 873,3 m<sup>3</sup>/s.

De acuerdo a los resultados de la simulación, dichas zonas no se verán comprometidos ante eventos de desborde ya que los taludes presentan grandes alturas. Sin embargo, se debe considerar el aporte de sedimentos y la socavación del talud, lo cual pudiese maximizar las zonas afectadas, de los resultados estudiados, se desprende que el río Albarregas presenta alta propensión a crecidas, esto quiere decir, que al momento de presentarse una precipitación excepcional se incrementaría el flujo de agua

**Zonificación de amenaza por desborde y socavación del talud**

Se procedió a implementar la metodología para zonificación de amenaza, que permitió establecer niveles de amenaza bajo, medio y alto, con sus respectivos colores: amarillo, naranja y rojo, el nivel de la amenaza se define, entonces, como una función discreta que combina la intensidad (magnitud del evento) y el periodo de retorno (frecuencia) considerando la magnitud, que viene dada por la profundidad y la velocidad Figura 20.

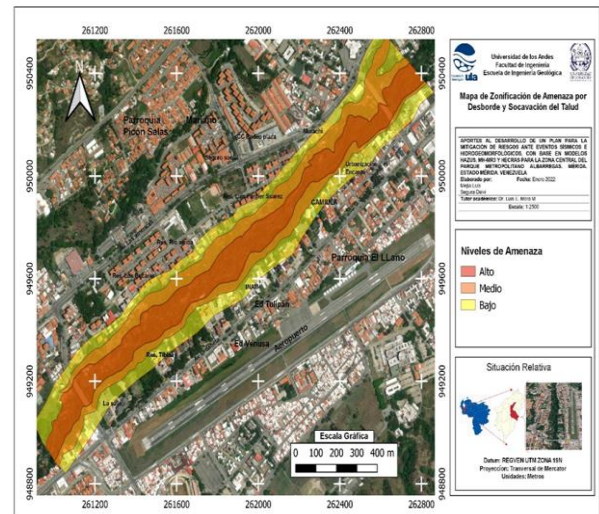


Fig. 20. Mapa de Zonificación de amenaza por desborde y socavación del talud.

El escenario realizado para este tipo de amenaza, (Figura 20) contempla el periodo de retorno máximo que es el de 500 años, a lo largo del cauce principal del río Albarregas, se refleja como los taludes especialmente el talud derecho (aguas abajo) ha sido gravemente expuestos, cabe destacar que en nuestra área de estudio no se han tomado medidas estructurales como muros longitudinales; a esto se suma los acelerados procesos de desarrollo y expansión urbana que se han llevado a que allí se siga construyendo y que se busquen otras áreas que se ubican dentro de la planicie de desborde del río.

**4. Conclusiones y Recomendaciones**

La Metodología para pérdidas por deslizamiento de terrenos por incidencia sísmica HAZUS, MH-MR3 y la simulación que modeliza la hidráulica de flujo de aguas de ríos naturales y de otros canales HEC-RAS, se aplicaron en la ciudad de Mérida-Venezuela, específicamente entre los viaductos Miranda y Sucre del municipio Libertador obteniéndose resultados altamente significativos.

Las metodologías propuestas, permiten evaluar los riesgos sísmicos e hidrogeomorfológicos con el fin de generar aportes para un plan de mitigación de riesgos.

- ✓ A pesar de que la metodología HAZUS MH-MR3 fue diseñada para las condiciones de amenaza sísmica en los Estados Unidos, se pudo adaptar y aplicar dicha metodología para ser utilizada en el parque metropolitano Albarregas.
- ✓ A partir del trabajo de campo se logró visualizar y recabar información sobre los asentamientos poblacionales establecidos en los márgenes del río, que presentan un alto grado de exposición si ocurriera un movimiento de

masa.

Se creó el mapa de normativa para la construcción de edificaciones en los márgenes de los ríos y taludes, porque durante el recorrido a lo largo del área de estudio.

Se denota claramente que la mayoría de las edificaciones presentes no cumplen con normativas sismo-resistentes consideradas al momento de ocurrir un sismo, allí se aprecian las edificaciones que están asentadas dentro de los límites no aptos para su construcción más útil permitiendo evaluar su vulnerabilidad a eventos sísmicos

- ✓ El análisis de riesgo sísmico probabilístico permite evaluar dos eventos de escenario con intensidades de  $I = VI$  y  $I = IX$  y magnitudes de  $M_s = 5.1$  y  $M_s = 6.8$  respectivamente, al ser aplicados a las ecuaciones para conocer el desplazamiento de terrero (DTP) se obtiene que para el escenario  $I = VI$  el valor de DTP es de 0,2402 cm mientras que para el  $I = IX$  el cálculo DTP es de 1,1899 cm.

Con los resultados anteriores se logra generar los mapas de desplazamiento de tierra permanente para ambos escenarios apreciándose los sectores y las áreas más propensas a sufrir daños por deslizamientos y en consecuencia generar pérdidas de distinta naturaleza.

- ✓ Observando las zonas donde se presenta mayor porcentaje de daño en edificaciones para la ocurrencia de un sismo de intensidad de  $I = VI$  y  $I = IX$  en la escala de Mercalli, por medio de los mapas Figura 9. y Figura 14, se puede deducir, que la zona Sur correspondiente a la parroquia el Llano, presenta un incremento de media unidad de intensidad, respecto al lado Norte perteneciente a la parroquia Mariano Picón Salas, este incremento se manifiesta por los efectos locales del suelo antes mencionados.

Al comparar lo dicho anteriormente con los períodos del suelo y el periodo natural de la estructura, se deduce que el grado de daño en estructuras por riesgo sísmico es mayor hacia el lado Sur que en el lado Norte del río en ese sector.

- ✓ Históricamente la cuenca del río Albarregas ha sido propensa a sufrir crecidas y desbordamientos, esto como consecuencia de las altas precipitaciones, para el tramo de la zona de estudio comprendido entre los viaductos Miranda y Sucre la amenaza por desborde se limita por las grandes alturas que presentan los taludes, debido a que los cambios se producen en profundidad y magnitud, sin embargo, la socavación que experimentan los mismos

puede convertirse en el principal inconveniente, desencadenando gran cantidad de problemas a los habitantes que residen en las adyacencias del río.

- ✓ La utilización del software QGIS 3.16.7 fue de gran utilidad, además posee un gran desarrollo de complementos realizado por diferentes universidades e institutos de investigación, en esta ocasión se utilizó RiverGIS, el cual permitió la modelación hidrodinámica de las crecientes simuladas a través del modelo HEC-RAS 5.0.3 para los diferentes períodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años.

- ✓ La utilización de estudios hidrológicos previos referentes a la generación de caudales máximos, fue de gran utilidad para la determinación de tirantes máximos en eventos de crecidas.

Así pues, se obtiene para un  $Q_{25} = 519,3$  m<sup>3</sup>/s la  $P = 4.0862$ m,  $Q_{50} = 600,6$  m<sup>3</sup>/s la  $P = 4.8505$ m,  $Q_{100} = 688,4$  m<sup>3</sup>/s la  $P = 5.1080$ m,  $Q_{200} = 765,7$  m<sup>3</sup>/s la  $P = 5.5800$ m y  $Q_{500} = 873,3$  m<sup>3</sup>/s la  $P = 5.8935$ m.

- ✓ Tomando en cuenta los resultados antes señalados, se realizó la zonificación de amenaza por desborde y socavación del talud en niveles de bajo, medio y alto, para los sitios de interés, en función de la frecuencia del evento y la magnitud de la crecida.

- ✓ Los análisis anteriores permiten aportar nuevos elementos al desarrollo de un plan para la mitigación de riesgos ante eventos sísmicos e hidrogeomorfológicos en la zona de estudio.

#### En cuanto a las recomendaciones: í

- ✓ Es importante que el Municipio Libertador y las diferentes instituciones relacionadas a la gestión de desastres, utilicen este proyecto de investigación para dar solución a las tres etapas de gestión del riesgo, las cuales son: el conocimiento, la reducción y el manejo, con el fin que puedan tomar decisiones frente a los planes de prevención, mitigación y atención, frente a desborde de los ríos y eventos sísmicos.

- ✓ Es conveniente sistematizar y extraer información útil en los diversos sectores ubicados a orillas del río Albarregas, con base en las distintas investigaciones que se han realizado, para el análisis de crecidas; de manera que esta sea compilada y esté disponible para que la población en general tenga conocimiento y pueda utilizarla en la toma de decisiones.

- ✓ Hacer una revisión minuciosa en materia de cumplimiento urbanos, retiros, construcción y otros aspectos referidos a la ocupación del territorio y la edificación en los espacios de estudio.
- ✓ Realizar estudios que consideren el Cambio Climático (CC) y la influencia que puede tener el aumento o disminución de los caudales en la zona de investigación.
- ✓ Por último, se recomienda a las autoridades, que en las zonas más críticas, las cuales han sido detectadas en este estudio, se implementen intervenciones estructurales de defensa, como muros y/o canalizaciones para evitar el socavamiento del río a los taludes.  
En igual orden de ideas, se recomienda realizar estudios geotécnicos que logren caracterizar las propiedades mecánicas presentes en el área, todo esto con la finalidad de determinar los métodos para la estabilización de las zonas más propensas a deslizamientos y derrumbes, así como también medidas no estructurales, tales como un adecuado ordenamiento territorial o una reubicación de la población expuesta al riesgo por inundación y por sismo.
- ✓ De forma general se recomienda profundizar más en la línea de investigación o inclusive crear nuevos proyectos en los cuales se desarrolle cada aspecto importante inmerso en el trabajo como refuerzos sismorresistentes, planes para estabilizar zonas bajo amenaza, aplicación de las metodologías para otras áreas de la ciudad o inclusive fuera de ella.

## 5 Referencias

- Ackerman, C. (2009). HEC-GeoRAS. Manual de Usuario. Version 4.2. US Army Corps of Engineers. 246. p.3.
- Aguirre, P. (1980). Hidráulica de canales. CIDIAT-ULA: Mérida-Venezuela
- Arias, F. (2012). El proyecto de investigación. Editorial Episteme, 6ta edición. Caracas Venezuela.
- Arteaga, M. (2017). Evaluación del modelo Hidrológico HEC-HMS para la predicción hidrológica y de crecidas en la cuenca baja del río Cañar. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.
- Ayala, R. (2016). La gestión urbana y la ocupación del territorio: Comprensión de las implicaciones que tiene para el desarrollo del país los riesgos ambientales de las ciudades. Instituto de Geografía y CRN. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela.
- Blaikie, P. (1996). Vulnerabilidad: El entorno social, político y económico de los desastres. Red de estudios sociales en Prevención de desastres en América Latina. Ciudad de Panamá. Panamá.
- Bendito A. (2000). Análisis de sismicidad y curvas de isoaceleración para estados de desempeño estructural en el occidente venezolano. Tesis de Maestría, Postgrado de Ingeniería Estructural, Universidad de Los Andes-Mérida.
- Camarasa, A. (2002). Crecidas e Inundaciones. Riesgos naturales. Barcelona: Ariel.
- Camargo, M. y Guerrero, O. (1997). Repercusiones ambientales significativas en la ciudad de Mérida. Mérida: Universidad de Los Andes.
- Cardona, O. (2003). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo en "Los riesgos no son naturales". Colecciones de la Red latinoamericana de Desastres: Bogotá.
- Castillo, A., y Pérez, A. (2017). Escenarios de riesgo sísmico para edificaciones y líneas vitales y su impacto en espacios públicos de la ciudad de Mérida, Venezuela. Mérida: CIDIAT- Universidad de Los Andes.
- Castillo, A. (2005). *Seismic risk scenarios for buildings in Mérida, Venezuela. Detailed vulnerability assessment for non-engineered housing*. Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- Cerrada, M., Klarica, S., Choy, J., Guada, C., Aranguren, R., Laffaille, J., Mazuera, F., Reinoza, C., Schmitz, M., Rocabado, V., Morales, C., y Yegres, L. (2015). Determinación de microzonas sísmicas preliminares del área metropolitana de Mérida. Boletín de Geología, 37 (1): 67-74.
- Chacón, G. y Uzcátegui, A. (2004) Caracterización Geomorfológica de la Terraza de Mérida y sus Alrededores, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología. Mérida-Venezuela.
- Chow, V., Maidment, D., y Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. Bogotá: McGraw Hill
- Córdova, J. y López, J. (2015). Eventos extremos: inundaciones, deslaves y sequías. Agua en Venezuela: una riqueza escasa. Caracas: Fundación Empresas Polar.
- Dara, L. (2011). La debilidad de la gestión del riesgo en los centros urbanos. Revista de Geografía Norte Grande, 47, 5-26.
- Dávila, M. y Requena, M. (2004). Zonificación de la amenaza hidrológica en un cono de deyección usando modelos de Simulación Hidrológica e Hidráulica. Aplicación a la quebrada La Pedregosa, sector La Pedregosa, estado Mérida. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida.
- Delgadillo, A. (2014). Evaluación de las amenazas por crecidas del río Mocotíes en Tovar y Santa Cruz de Mora, con especial énfasis en el evento hidrometeorológico de febrero de 2005. Revista Forestal Venezolana. 58, 97-104. Tomado de: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/43524>.
- Duran, M. y Silva, G. (2017). Análisis de los controles



- geomorfológicos en la microcuenca del río Aracay, para generar una zonificación preliminar de amenaza hidrogeomorfológica, municipio Cardenal Quintero, estado Mérida, Venezuela. Trabajo Final de Grado. Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida.
- Escobar A, Rengifo M. (2003). Los sismos de Aricagua 1956 y 1959. *Geogr. Venez*, 44, 77- 96.
- Fema. (2017). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS@MH MR4 Technical Manual*. Tomado de National Institute of Building Sciences: <https://www.fema.gov/es/flood-maps/productstools/hazus>
- Ferrer, C. (1991). Geomorfología de una secuencia de flujos de detritos en los Andes venezolanos. *Acta Científica Venezolana*. 42. Sup.1: p 110. (Resumen).
- Ferrer, C. Y Laffaille, J. (2005). Un estudio de amenazas múltiples en la cuenca media del río Chama (Andes centrales venezolanos): caso zanjón El Paraíso. *Revista Geográfica Venezolana*, Número especial 2005, 93-117.
- Garciacono E. (1997). Microsismicidad, tectónica y potencial sísmico en el sistema de fallas de Boconó, Caracas: Universidad Simón Bolívar.
- González De Vallejo, Ferrer, M.; Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Prentice Hall.
- Grases, J. (1994). Amenazas Naturales, terremotos, maremotos y huracanes. Caracas: Academia de ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela y la cámara de Aseguradores de Venezuela.
- Laffaille J. (1996). Escenario sísmico de la ciudad de Mérida. [Tesis de Maestría, Instituto de Estadística Aplicada y Computación, Universidad de Los Andes., Mérida Venezuela].
- La Marca, E. (1997). Origen y evolución geológica de la Cordillera de Mérida. Cuadernos de la Escuela de Geografía. Mérida: Universidad de Los Andes.
- Linsley, R., Kohler, M. y Paulhus, J. (1997). *Hidrología para ingenieros*. New York: Mc Graw - Hill.
- Moreno, C. (2015). Bases de datos relacionados con la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, líneas vitales e instalaciones críticas, que se encuentran cercanas o dentro de la poligonal del Parque Metropolitano Albarregas, ante la amenaza potencial de desastre sísmico. Mérida: ULA - CIDIAT.
- Ministerio de Obras Públicas. (1976). *Microzonificación sísmica de la Meseta de Mérida*. Tomos I Y II. Caracas.
- MOP (Ministerio de Obras Públicas). (1976). *Microzonificación sísmica de la meseta de Mérida*. Publicaciones Técnicas, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Desarrollo Urbanístico. Caracas: Secretaría Técnica.
- Oliveros, O. (1997). Estudio geotectónico de la ciudad de Mérida y sus alrededores. Congreso Geológico Venezolano V, ministerio de Energía y minas,- Sociedad Venezolana de Geólogos TIV . P. 1779-1798.
- PAMALBA CIDIAT, ULA. (2008). Parque Metropolitano Albarregas. Obtenido de <http://www.parquealbarregas.ula.ve>
- Pérez O. J., Jaimes M. A. and Garciacono E. (1997). “*Micro-seismicity evidence for the subduction of the Caribbean plate beneath the South American plate in northwestern Venezuela*”. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, No B8, Pp. 17,875-17,882, August 10, 1997.
- Quiñones, E. y Dal Pozzo, F. 2012. Visualización de zonas de desborde usando HEC-GeoRAS. Microcuenca del río La Pedregosa, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, Vol. 53(1) 2012, 77-91.
- Reinoza C, Klarica S y Sánchez J, 2006, Modelado geofísico del basamento del Área Metropolitana de la ciudad de Mérida, Estado Mérida, Trabajo Final de Grado, Universidad de Los Andes.
- Rengifo M. (1982). *Sismicidad en los alrededores de Mérida*, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Rojas, Y. (2017). Simulación de crecidas del río Albarregas empleando el modelo HEC – HMS, Mérida – Venezuela. Mérida-Venezuela: Universidad de Los Andes.
- Silva, G., Abarca, O. y Picón, G. 1991. Análisis de la problemática de las crecidas en el área metropolitana de Mérida. Ministerio del Ambiente. Mérida – Venezuela. 34 p.
- Varnes, D (1984). Zonificación del peligro de desplazamientos de tierra: una revisión de los principios y la práctica. *Revista de Serie de peligros naturales*. Int. Assoc. Eng. Geol., Unesco. N.º .3, p.10. Paris.
- Villet, J. 2012. Viviendas afectadas y estado de alerta generó crecida del Albarregas. *Diario Frontera*. (febrero 24; p.6).
- Vivas, L. (1992). *El Cuaternario*. Universidad de los Andes, Consejo de Publicaciones, Mérida- Venezuela
- Wilches-Chaux, G. (1993). Anotaciones sueltas para la Filosofía de los Desastres Conferencia presentada en el Primer Seminario sobre el Manejo Participativo de Calamidades Publicas, Fundación Participar. Bogotá-Colombia.
- Zamora, R. (2002). Glosario de términos relacionados con riesgos y desastres. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). *Riesgos naturales*. Barcelona: Ediciones Ariel Ciencia.


**Recibido:** 01 de diciembre de 2023

**Aceptado:** 20 de marzo de 2024

**Mejía, Luis:** Ingeniero Geólogo, Universidad de los Andes..

 <https://orcid.org/0009-0003-8569-4215>

**Segura, Deivi:** Ingeniero Geólogo, Universidad de los Andes. Correo electrónico: [danielparedes2596@gmail.com](mailto:danielparedes2596@gmail.com).


 <https://orcid.org/0009-0003-3952-6421>

**Mora, Luis:** Dr Ciencias Aplicadas ULA. MSc. Recursos Hidráulicos ULA-UCLA. Especialista en Gestión des Eaux ENTPE-France. Profesor Titular en CIDIAT-ULA. Coordinador del Postgrado en Gestión ARTA. Coordinador de Enseñanza CIDIAT-ULA. Correo electrónico: [luis-mora.aps@gmail.com](mailto:luis-mora.aps@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-3499-4520>

**Pérez, Alberto:** Geógrafo egresado de la Universidad de los Andes, Magister en desarrollo Regional y Rural (1993) ULA. Especialista en Ordenamiento Territorial ULA. Profesor titular en CIDIAT-ULA.

Correo electrónico: [lagumila@gmail.com](mailto:lagumila@gmail.com)

 <https://orcid.org/0009-0009-9218-2000>

