

Estimación del riesgo por hundimientos en terrenos cársicos. Contexto universitario en función del desarrollo local

Risks Estimation of Sinks in Karst Terrains. The University Context in the Function of Local Development

Mirurgia Aguilar Velázquez^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-0323-7890>

¹Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de La Habana, Cuba

* Autor para la correspondencia mirurgia.aguilar@instec.uh.cu

RESUMEN:

El objetivo fundamental de este trabajo es evaluar el riesgo por hundimientos en terrenos cársicos mediante el potencial científico universitario en función del desarrollo local en el municipio Sierra de Cubitas, provincia Camagüey. Se realiza la fundamentación teórica en el área de estudio a partir de la propuesta de cálculo, se aporta el concepto de vulnerabilidad estructural ante hundimientos en terrenos cársicos y nuevas herramientas para su análisis y mejor enfrentamiento ante el peligro de origen natural geológico. Se establecen prioridades e incorporación de medidas integradoras para la etapa preventiva en las proyecciones y planes económicos futuros, la contribución para la toma de decisiones en las diferentes etapas del proceso constructivo. A partir de los resultados obtenidos; se actualizan los planes de las entidades y zonas de defensa, para establecer sistemas de alerta temprana ante las afectaciones que se pueden producir al patrimonio construido y la necesidad del conocimiento del fenómeno para obras a proyectar; la preservación de la calidad de los recursos acuíferos subterráneos; la capacitación, divulgación y sensibilización de la población para elevar la percepción del riesgo y de servir como referente para otras investigaciones. La propuesta se valora mediante el criterio de los expertos lo que indica su pertinencia en la evaluación de la vulnerabilidad estructural para una mejor gestión en la reducción de riesgos a nivel local.

Palabras clave: desarrollo local; estimación del riesgo; hábitat; universidad; vulnerabilidad estructural.

ABSTRACT:

The fundamental objective of this work is to carry out karstic risk studies through university scientific potential in function of the local development of the municipality of Sierra de Cubitas, province of Camagüey. The theoretical foundation and assessment in the study area based on the proposed calculation; the concept of structural vulnerability contributed to soil subsidence due to cavern collapses and new tools for analysis and better confrontation with the hazard of natural origin geological. It establishes priorities and incorporates integrative measures for the preventive stage in the future economic plans and plans, the contribution to decision making in the different stages of the construction process. From the results obtained; the plans of the entities and defense zones are updated so as to establish early warning systems in view of the damage that can be caused to the built heritage and the need to know the phenomenon for works to be projected; preservation of the quality of groundwater resources; the training, dissemination and sensitization of the population to raise the perception of risk and serve as a reference for other research. The proposal is assessed based on expert judgment, indicating its relevance in the assessment of structural vulnerability and the prevention or mitigation of natural events to management for risk reduction at the local level.

Keywords: *local development; risk estimation; habitat; university; structural vulnerability.*

Enviado: 4/12/2021

Aprobado: 20/6/2022

INTRODUCCIÓN

El desarrollo local como solución a las problemáticas locales potencian los recursos que se disponen a nivel de cada territorio para mejorar el bienestar de la sociedad. En este proceso es esencial la participación de los habitantes y del potencial universitario como actores fundamentales del cambio y transformación con la finalidad de dinamizar el sistema para el bien colectivo.

Las universidades cubanas, desde cada territorio, de conjunto con los gobiernos locales, y como parte de sus proyectos y extensión con la comunidad donde interactúan, incentivan y apoyan las investigaciones para el desarrollo de las localidades de cada territorio.

La Universidad de La Habana trabaja en estrategias dirigidas al desarrollo de investigaciones para mejorar la calidad de vida y el bienestar de las comunidades con la implementación de resultados en estudios realizados que tienen un impacto en el orden social, económico y ambiental.

El estudio del riesgo por hundimientos en terrenos cárnicos es una temática de gran actualidad, porque aproximadamente en un 66 % del territorio cubano existen rocas más o menos carsificadas en las que generalmente se desarrollan cavernas correspondientes a formaciones persistentes desde el periodo Jurásico; en este predominan las formaciones Miocénicas-Cuaternarias. Con estos macizos rocosos carsificados se relacionan los principales acuíferos, construcciones residenciales y fabriles, obras militares, viales, puertos, edificaciones turísticas, aeropuertos, presas, zonas de desarrollo agropecuario y forestal, entre otras. A pesar de que aproximadamente 66 500 km² del territorio nacional está ocupado por suelos carsificados y si se contara además la plataforma insular, ese porcentaje puede ascender al 80 %, en Cuba no se han realizados estudios necesarios referidos al hundimiento de estructuras en este tipo de suelo atendiendo a la vulnerabilidad, para el logro de una debida conservación del patrimonio cubano.

Se puede plantear que el estudio del carso reviste de gran importancia, porque en zonas con desarrollo del mismo pueden ocurrir hundimientos del terreno producidos por el desplome de techos de cavernas próximas a la superficie o de los sedimentos acumulados sobre paleodolinas, polijas, surcos, entre otras de origen cárnicos. Los principales daños que pueden causar los hundimientos afectan sobre todo a las infraestructuras y edificaciones, dígame: asentamiento diferencial en edificios lo que puede provocar agrietamientos en la estructura y hasta su colapso, rotura de tuberías, red de alcantarillado o conducciones eléctricas; si el hundimiento se produce en zonas próximas a un río, a un lago o al océano, dichas zonas pueden sufrir inundaciones más o menos importantes, vaciado de embalses, presas, lagos y lagunas, contaminación de recursos hídricos como consecuencia de roturas en el alcantarillado, pozos negros, o balsas de decantación, deformación de pavimentos, entre muchos otros problemas que trae consigo el proceso de carsificación.

Tanto estas pérdidas económicas como de vidas humanas, hay que tenerlas en cuenta para la ejecución de obras o para la protección de obras ya construidas al no existir evidencias de estudios que evalúen la vulnerabilidad estructural en terrenos cárnicos.

La Sierra de Cubitas constituye el grupo orográfico más importante de la provincia Camagüey con un predominio de topografía cársica. En este trabajo se abordará detalladamente la situación constructiva de obras afectadas estructuralmente en este municipio.

Los estudios de vulnerabilidad realizados a infraestructuras constituyen herramientas para su rehabilitación, pues permiten conocer su comportamiento ante eventos naturales y la adopción de medidas para incrementar, de ser necesario, su seguridad estructural.

Lo anteriormente expuesto conduce a plantear como objetivo de este trabajo: Evaluar el riesgo por hundimientos en terrenos cárnicos mediante el potencial científico universitario en función del desarrollo local en el municipio Sierra de Cubitas, provincia Camagüey. De esta forma se permite el fortalecimiento de las capacidades locales de prevención y preparación de la respuesta ante los desastres naturales y sus potenciales efectos secundarios e inducidos en las comunidades y el medio ambiente del territorio para preservar el hábitat.

MÉTODOS

La investigación contribuye a elevar el nivel de percepción de riesgo de los miembros de los consejos de la administración municipal, así como la formación por la vía curricular y extracurricular a estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Camagüey.

La participación para el resultado incluye 60 estudiantes correspondientes a 3er y 4to año de la Carrera de Ingeniería Civil, miembros de la Defensa Civil, Gobierno Municipal, Centro de Gestión para la Reducción de Riesgo de Desastres (CGRRD), el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), Dirección de Planificación Física (DPPF), Vivienda, Educación, Agricultura, Ministerio del Turismo (MINTUR), Ministerio de la Construcción (MICONS), entre otros.

El resultado ha sido socializado mediante cinco trabajos de diploma, un tema de maestría, un tema de doctorado, dos asignaturas optativas “Gestión de riesgo de Desastres y Adaptación Cambio Climático” y “Medio ambiente y desarrollo sostenible” y la asignatura de “Geotecnia” del plan de estudio de la carrera de Ingeniería Civil, 14 informes municipales y tres informes de carácter provincial y nacional, asequibles a los diferentes actores para lograr una mejor gestión de riesgo en el territorio. Se alcanzan impactos significativos en el orden científico, tecnológico, económico, social y medio ambiental, avalados por las máximas autoridades del gobierno en el territorio, el Grupo Nacional de Evaluación de Riesgo del CITMA, el Ministerio de Educación Superior, entre otros. Los resultados fueron presentados en siete eventos de carácter provincial, cuatro nacionales, cinco internacionales.

DESARROLLO

Fundamentos teóricos y metodológicos para determinar en detalle los hundimientos en terrenos cárnicos para preservar el hábitat.

Según el Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, el hábitat constituye el referente simbólico, histórico y social en el que se localiza el ser humano de manera multi-dimensional, política, económico-social y estético-ambiental, actuando complejamente en una cultura determinada. «El hábitat significa así algo más que el techo bajo el cual protegerse, siendo el espacio físico e imaginario en el que tiene lugar la vida humana» (ONU-HÁBITAT, 2009). De lo anterior se afirma que en los procesos de hundimientos del suelo ante el desplome de cavernas, intervienen factores de índole natural que inciden en la superficie terrestre, estos pueden ser inducidos por un movimiento en el que predomina el sentido vertical descendente, tienen lugar en áreas de distintas características y pendientes y responden a las características del medio y en especial al tipo de terreno donde se desarrolle.

Los terrenos cárnicos son vulnerables a los hundimientos, pues uno de los factores que lo propician es la existencia de cavernas y oquedades en el interior de la superficie terrestre, formadas por la disolución de las rocas. Con el paso del tiempo las cuevas en ocasiones sufren una ruptura o desplome de la parte superior (techo), y por consiguiente ocasionan una absorción hacia su interior de todo material o elemento que esté por encima causando disímiles daños. Otro factor que puede ocasionar un hundimiento en los techos de cavernas son las oquedades de la corteza terrestre por donde circula la escorrentía de las aguas provenientes de los ríos, arroyos, lagunas, o la propia lluvia, que quedan cubiertas por los suelos redepositados producto a la erosión en la superficie terrestre, lo que favorece el asentamiento o hundimiento.

Siempre que se hable de estructuras es de gran importancia el conocimiento de los factores externos que puedan interferir ante la misma, así como todo aquello que pueda atentar con su durabilidad o vida útil (Díaz & Pérez, 2013). Es por ello que más allá de la gran labor que representa el diseño de una obra arquitectónica desde su etapa de concepción de proyecto hasta la etapa de ejecución sería en vano si no se desarrollan investigaciones acerca de la probabilidad que tengan para resistir los distintos fenómenos a los que pueden ser expuestas ya sean de índole natural o provocado por negligencia del hombre (en toda su proyección). Aunque en su probabilidad no se evidencie siempre, estos estarían en dependencia del tipo de obra y la envergadura que requiera, siendo este un aspecto de gran importancia no solo para las futuras construcciones, sino también para las que ya están creadas.

Muchas obras en nuestro país, fueron ejecutadas sin tener en cuenta la aplicación de normas de construcción, por el hecho de que no habían sido estudiadas; además que existe la posibilidad de que otras fueron ejecutadas por el hombre bajo sus necesidades inmediatas, lo mismo en zonas de bajo como de alto riesgo constructivo. Por consiguiente, estamos hablando de la relación hombre-estructura-vulnerabilidad-hábitat, lo que se traduce como vulnerabilidad estructural.

Existen varias definiciones de vulnerabilidad estructural en correspondencia al tipo de fenómeno que se evidencie en el entorno constructivo, el cual puede interferir de manera relevante o no en la propia obra, ya sea de tipo estructural o vial. La vulnerabilidad (V) se define como la probabilidad de que un sistema social se vea afectado (Serrano, 2014). También se define como la probabilidad de que lo expuesto para ser dañado por la acción de un peligro con determinada severidad.

La vulnerabilidad estructural es la susceptibilidad que la estructura presenta frente a posibles daños en aquellas partes del establecimiento que lo mantienen en pie. Esto incluye cimientos, columnas, muros, vigas y losas. La autora de esta investigación define la vulnerabilidad estructural como el grado de peligro a la que pueden ser expuestas las edificaciones (estructural o vial) si no se tienen en cuenta las normas adecuadas en la construcción de la misma para mitigar riesgos de hundimiento o asentamiento (Aguilar, 2016).

Por su parte, otros estudios evalúan la vulnerabilidad estructural ante un fenómeno natural (por sismos), pero no existen registros de una investigación realizada referente a la vulnerabilidad estructural ante hundimientos en terrenos cárnicos. Con este trabajo se pretende dar respuesta a esta problemática, por lo que a modo de apropiación de la autora y consenso para el mejor entendimiento de esta investigación se toma como concepción viable la definición de la vulnerabilidad estructural ante hundimiento del suelo para fundamentar las bases teóricas de la investigación. Para ello, la autora de esta investigación define la vulnerabilidad estructural ante hundimientos en terrenos cárnicos como la susceptibilidad que manifiesta la estructura ante posibles daños en algunos de sus componentes producto al grado de impacto que pueda propiciar la acción de un hundimiento o asentamiento en el suelo sustentado por cavernas cubiertas de suelo que constituya su soporte o que este próximo a ella (Aguilar, 2016).

El análisis y diseño de estructuras en la actualidad requiere de una alta precisión, rapidez y profesionalización del material humano que labora en este empeño, de lograr estructuras seguras al menor costo posible. El análisis se realiza con el propósito de evaluar la seguridad de edificaciones existentes o por construir; la evaluación se hace en estructuras que hayan sido o no dañadas, e indican si es necesario el refuerzo estructural o la invalidación de ejecución de la misma; con la finalidad de asegurar el

funcionamiento ininterrumpido de un establecimiento con posterioridad a un fenómeno que puede darse, lo mismo de forma natural como producido por la acción del hombre, siendo este un factor de especial atención por su estrecha relación con el medio constructivo.

El análisis de la vulnerabilidad estructural debe indicar entre otras cosas, las deficiencias de la estructuración, configuración física, resistencia y rigidez de sus elementos, así como su grado de operación y mantenimiento, partiendo de su comportamiento que rige la seguridad y funcionalidad de la estructura lo que la hace vulnerable. Por ello, es de suma importancia la atención a cada uno de estos aspectos en dependencia de cómo pueden verse afectados, y cómo podrían responder ante un evento inesperado que se produzca sin predicción (fenómenos naturales o inducidos por el hombre) los que constituyen un peligro para las estructuras y viales. Esto se debe a que siempre que exista una estructura en su medio de desarrollo, esta se hará vulnerable y podría verse afectada, incluso, podría dejar de existir o desaparecer sin dejar rastro, todo en dependencia de la magnitud que tenga este fenómeno cársico y de la capacidad de resistir la estructura.

Es importante destacar que el hecho de diseñar de acuerdo con un código o informe preventivo no siempre salvaguarda a la estructura contra el daño que pueda producir un fenómeno cársico. Según estudios realizados sobre el riesgo por hundimientos en zonas urbanas y conurbadas varios autores definen el peligro (P) como la probabilidad de ocurrencia de un evento o fenómeno de cierta intensidad que puede causar daño en un lugar determinado (CEPREDENAC, 2005). También se define como el proceso o fenómeno de carácter natural o antropogénico (tecnológico) que puede originar daños a la población, los bienes, servicios o el medio ambiente natural (Olcina & Ayala, 2002).

El hundimiento del suelo producto al desplome de cavernas es uno de los peligros más grandes que atenta contra la vida funcional y de servicio de una estructura, que, a pesar de ser geológico, puede verse inducido o influenciado por fenómenos hidrometeorológicos, ya que estos hacen vulnerable el suelo propiciando daños en dependencia del nivel de exposición que tengan.

El peligro por hundimiento es la probabilidad de movimiento vertical, por acción y efecto de la gravedad, que afecta y desplaza el suelo, el terreno o algún otro elemento de la superficie terrestre (Olcina & Ayala, 2002). Este movimiento vertical del suelo propicia que el efecto que se evidencie en la estructura no siempre tenga el mismo grado de afectación sea hundimiento, asentamiento, desestabilizaciones estructurales en algunos de sus componentes como cimientos, vigas, columnas, cubiertas o uniones, sino que los daños sean directamente proporcionales a raíz del nivel de exposición y demás factores que

intervengan. Esto muestra cuán vulnerables han sido y pueden ser las estructuras ante tal fenómeno, lo que quiere decir que a mayor peligro (P) mayor vulnerabilidad estructural (Ve).

Las tipologías constructivas dependen de la disponibilidad de recursos, medios y del carácter constructivo que tenga la obra, por lo que no en todos los casos contará con los mismos materiales y sistemas a emplear, lo que propicia que en dependencia de lo aplicable a ella sean las afectaciones que se puedan presentar en la misma. Aunque existen deficiencias estructurales, es importante recalcar que hay muchos daños que se pueden presentar sin importar estos elementos expuestos (materiales y sistemas constructivos) ante un hundimiento o movimiento del suelo resistente de dicha estructura. Estos daños producidos específicamente por hundimientos pueden ser de menos a más en dependencia del grado de vulnerabilidad que presente la zona donde radique la estructura, tal es el caso de posibles grietas o fisuras, pandeo en elementos constructivos, asentamientos del suelo, y en caso desfavorable el derrumbe total producto al colapso cavernoso que da lugar al hundimiento cárstico. De ser producido un colapso en el techo cavernoso del suelo donde se sustente una estructura y a su vez abarque toda su extensión y altura, estaríamos en presencia de la máxima afectación estructural posible. Ante tal situación solo podríamos proceder a la invalidación de la reestructuración o construcción en esta zona de peligro, riesgo y vulnerabilidad.

Este colapso puede verse catalizado por eventos meteorológicos como lluvias, ciclones, huracanes, así como la posibilidad de excesiva humedad o inundaciones en ese terreno, lo que no dependería solamente de un fenómeno natural sino de las condiciones hidrológicas del lugar o la existencia de desvíos acuíferos o sistemas de drenajes inadecuados al propio suelo, que responderá de un modo tan agresivo ante tales condiciones o provocaciones.

Los terrenos cársticos son el núcleo de formación de los hundimientos y son vulnerables a las aguas como se puede constatar, ya que en estas recae la mayor responsabilidad para que se produzcan las oquedades que dan pie a los sumideros, y las reacciones de disolución de la roca, lo que hace que estos suelos sean aún más sensibles al colapso. El estudio del riesgo por hundimientos en terrenos cársticos se desarrolla no solo teniendo como referente la posibilidad de un colapso sino para daños de menor grado que afecten directa o indirectamente a las estructuras, viales del territorio.

Estudio del riesgo por carso mediante el potencial científico universitario en función del desarrollo local

Con el estudio del riesgo por carso mediante el potencial científico universitario se fomentan las investigaciones en el municipio de Sierra de Cubitas para lograr el desarrollo de la economía y el

cumplimiento de los Lineamientos de la Política Económica y Social del país, se contribuye al uso de la tecnología e innovación en función del territorio, la formación ambiental de la población y de los profesionales del municipio.

Las contribuciones de esta investigación revelan el papel de la Universidad de Camagüey, en la incorporación de 60 estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil correspondientes a 3er y 4to año para la ejecución de investigaciones que conducen al avance del desarrollo territorial y una mejor gestión de riesgo a nivel local.

En la porción sur y suroeste del municipio Sierra de Cubitas se sitúan calizas carsificadas en las que se evidencia el desarrollo de importantes sistemas cavernosos específicamente hacia su borde sur. En la llanura norte continua este complejo de rocas carbonatadas que se encuentra cubierto de sedimentos lateríticos redepositados (llamados Formación Villaroja).

Los hundimientos y subsidencias del terreno son movimientos verticales que pueden producirse en tres tipos de fenómenos, que son:

- hundimientos de cavidades subterráneas en rocas con reflejo o sin reflejo en la superficie, ejemplo hoyo de Bonet y dolinas de la Sierra de Cubitas (posibles hundimientos en Sola 6).
- hundimientos superficiales en rocas y suelos (hundimientos del terreno observados en Sola 2, Vilató y El Colorado y otras localidades del municipio Sierra de Cubitas).
- la subsidencia o descensos lentos de la superficie del terreno y procesos muy lentos relacionados con descensos del nivel de las aguas subterráneas, con la minería subterránea y túneles, con la extracción de petróleo y gas, explotación intensiva de acuíferos, disolución y lavado de materiales en el subsuelo y otros.

Los hundimientos de cavidades cársticas y del suelo se producen por movimientos repentinos. En las cavidades cársticas están presentes materiales rocosos solubles, lo que permite el desarrollo de cavidades subterráneas que provocan estados de desequilibrio e inestabilidad lo que bien puede dar lugar a la rotura de bóvedas subterráneas y hundimientos del terreno.

Los procesos de erosión de los materiales de relleno de cavidades cársticas pueden dar lugar a hundimientos del terreno con posibles afectaciones a obras civiles cercanas: carreteras, puentes, edificios, entre otras, (Quintas & Cordovés, 2007). Según la autora de la investigación, en Sierra de Cubitas el proceso de erosión es uno de los factores principales que originan los desplomes verticales de techos cavernosos

existentes debido a la gran extensión de suelos rojizos y áreas de vegetación que constantemente son arrastrados y redepositados por aires proveniente de cualquier dirección y fuertes lluvias que los trasladan hacia sus cavidades cársticas haciendo que estas sean más vulnerables al hundimiento. Por lo que la autora considera que estos suelos redepositados constituyen un aumento de fuerzas poco resistibles a estas cavernas generadas por la erosión y que eventualmente podría llevar el techo de las mismas al colapso total al ejercer una presión vertical ascendente no siempre considerable.

Entre los factores geológicos condicionantes de los hundimientos del terreno en el municipio Sierra de Cubitas los más importantes son: la presencia de un complejo de rocas carbonatadas altamente carsificadas (Grupo Remedios, Formación Embarcadero y Lesca) en superficie o cercanos a la superficie, que en ocasiones aflora en pequeñas áreas en las zonas del plan citrícola, la cobertura del mismo en las zonas con carso cubierto relacionadas con la Formación Villarroja, que está propagada en la llanura algo ondulada al norte de Sierra Cubitas y que rellena las dolinas del complejo carbonatado (Quintas & Cordovés, 2007). En la zona el drenaje es subterráneo y el nivel de las aguas freáticas se encuentra como máximo a unos 20 metros de profundidad. Las aguas de escorrentía se infiltran en mayor volumen en las zonas donde se localizan las antiguas dolinas, en el fondo de estas existen normalmente ponores por donde penetra el agua hacia sistemas espeleanos.

Al ocurrir la infiltración de las aguas superficiales, estas se mueven y convergen hacia los ponores del fondo de las dolinas, aumentando su caudal y su capacidad de erosión, la que se produce al irse removiendo las partículas más finas, quedando en las zonas de infiltración el material que da lugar a un embudo o sumidero. En la etapa de desarrollo, donde se originan los sumideros, el volumen de agua que se infiltra por esas zonas aumenta al igual que su turbulencia lo que da lugar a excavaciones laterales en las zonas profundas del sumidero que avanzan lateral y paulatinamente creando oquedades dentro de la masa detrítica infrayacente. Este proceso se desarrolla hasta alcanzar un momento crítico en que se produce el desplome o colapsamiento del terreno.

El levantamiento se realizó en las cinco zonas del municipio específicamente en todas las viviendas e instituciones afectadas, tal es el caso de Sola 6, Sola 2 y las próximas a un hundimiento como es el caso de Vilató, Imias, Yagunal así como en Sola, teniendo en cuenta que a pesar de ser muchas las viviendas afectadas y las extensas áreas vulnerables al hundimiento, se tomaron muestras de las mismas debido al método estadístico que se aplica para la determinación del grado de vulnerabilidad estructural y no estructural para cada una de las localidades implicadas y viales en el municipio de Sierra de Cubitas (Isalguez, & Yoandis, 2016).

A partir del análisis y discusión desde el grupo de investigación y las experiencias registradas, se ha logrado desarrollar una metodología de trabajo que puede ser aplicada a cualquier estructura que requiera un estudio de vulnerabilidad basándose en métodos analíticos y matemáticos que posibilitan la deducción de resultados validos como respuesta al problema existente. La propuesta de los elementos metodológicos para la apreciación del peligro por hundimientos en terrenos cársicos están sobre la base del procesamiento y análisis espacial mediante el empleo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como una herramienta necesaria para llevar toda la información disponible a formato digital, con una base de datos geoespacial asignada para cada capa temática tratada, garantizando con esto una mayor precisión cartográfica a la hora de realizar los análisis. Se clasificará en alta de color rojo, media de color amarillo y baja de color verde. La escala de trabajo 1:25 000 aunque pueden existir otras y depende del grado de detalle e importancia de la investigación. Se establecen los siguientes elementos metodológicos:

1. Mapa geológico y el mapa litológico: Se identifican los conjuntos litológicos susceptibles a sufrir hundimientos o colapsos por procesos naturales: rocas carbonatadas, cobertura sedimentaria acumulada sobre diferentes formas negativas del paleorelieve cársico.
2. Mapa de la Densidad del Drenaje (DD). Disponibilidad hidrológica e hidrogeológica: Se evalúa la disponibilidad de agua y grado de desarrollo del proceso en las litologías carsificables. Análisis a partir de la acumulación del agua en la superficie, o procedimientos afines que evalúen el comportamiento superficial del agua y la pendiente.
3. Mapa tectónico: Medición de las fracturas (sistema de falla o agrietamientos) y elementos de yacencia de las formaciones cársicas.
4. Mapa de densidad de agrietamiento: Describir las características geométricas o morfológicas de las grietas presentes, tales como su longitud, profundidad, inclinación, abertura, patrón de agrietamiento observado en planta y en profundidad. También se trata de identificar la evolución de tales características morfológicas.
5. Mapa de las formas depresiones del relieve: Las formas de depresiones del relieve si se encuentran sobre rocas carbonatadas son indicadores directos de formas y procesos cársicos superficiales.
6. Detección de las fracturas, por procedimientos combinados de exploración direccional en frecuencia de las imágenes y los modelos digitales del relieve (medición de las fracturas y elementos de yacencia de las formaciones cársicas durante el levantamiento ingeniero geológico).

7. Generación de parámetros derivados de la fracturación: densidad de fracturas modificada, general y por direcciones, cantidad de familias de fracturas evaluada y coeficiente de percolación.
8. Introducción de la influencia de los cambios del proceso de carsificación en el tiempo analizando y procesando las polibasitas: Se deben tener en cuenta las características estratigráficas estructurales para la interpretación de la evolución del carso en el tiempo.
9. Estudio de la neotectónica a partir de los datos morfométricos y su influencia en la carsificación. - Se debe tener en cuenta las características estratigráficas estructurales para la interpretación de la neotectónica de la zona cársica en el tiempo en el tiempo.

En el municipio Sierra de Cubitas, los asentamientos Yagunal y Sola se evalúan con alta vulnerabilidad estructural ante hundimientos del suelo por desplome de cavernas. Inciden en Yagunal 5 viviendas que son expuestas y en Sola 32 viviendas, así como 12 instalaciones de importancia. La vulnerabilidad estructural media en los asentamientos de Vilató e Imías, corresponde a 15 viviendas y 5 instalaciones de importancia afectadas en Vilató y para el asentamiento Imías, 6 viviendas afectadas y 2 instalaciones de importancia. Y se verán afectadas 6 viviendas aisladas evaluadas de baja.

Por la importancia que presentan como las vías de acceso y la conexión entre comunidades cercanas, Isalguez y Yoandis (2016) realizaron el levantamiento en 6 puntos de los viales y 4 puntos en la vía férrea, y de esta forma destacar que existen otras vulnerabilidades como la no estructural que presenta una alta predisposición a sufrir pérdidas o daños.

Teniendo en consideración los resultados antes mencionados los indicadores que más inciden en los asentamientos para la evaluación de la vulnerabilidad estructural son los referidos a la tipología constructiva y el estado general de mantenimiento. La autora considera que las investigaciones de vulnerabilidad estructural ante hundimientos del suelo por desplome de cavernas requieren de un aumento de desarrollo local en cada zona del municipio y territorio que lo requiera, al representar este un peligro para las edificaciones existentes y las nuevas proyecciones y una directa relación con los viales.

El desarrollo de este nuevo método de cálculo es aplicable a metodologías de vulnerabilidad a estructuras dañadas y no afectadas por este peligro de origen geológico. Es solo un comienzo de respuestas lógicas y exactas, que respondan a la necesidad de contrarrestar dicho problema investigativo, el cual deberá valorarse por las instituciones a cargo de obras ingenieriles, la Defensa Civil y el propio hombre.

En materia de apoyo la autora desarrolla un plan de 31 medidas integradoras a tener en cuenta para enfrentar los procesos de hundimientos en terrenos cársicos en el municipio Sierra de Cubitas en función

del desarrollo local. Las medidas están dirigidas a la etapa de proyecto de las investigaciones ingeniero-geológicas y medidas para las construcciones que se encuentran sobre terrenos cársicos, dirigidas al Centro de Gestión para la Reducción de Riesgo de Desastres (CGRRD), Ministerio de la Construcción (MICONS), Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), Vivienda, Educación y Agricultura.

CONCLUSIONES

El estudio permite fundamentar las bases teóricas y metodológicas sobre la vulnerabilidad estructural ante los hundimientos en terrenos cársicos. Se brindan nuevas herramientas para su análisis, lo que permite reconocer el papel que le corresponde a la universidad para impulsar en los territorios el cumplimiento de las estrategias de desarrollo local.

Los lineamientos metodológicos para la apreciación del peligro por hundimientos en terrenos cársicos propuestos, combinan las características litológicas susceptibles y los factores desencadenantes, los cuales permiten definir los modelos de pronósticos de carsificación que integrados al procesamiento y análisis espacial mediante el empleo de los Sistemas de Información Geográfica determinan las áreas potencialmente peligrosas.

Se obtiene vulnerabilidad alta para los asentamientos Yagunal y Sola, vulnerabilidad media para Imias y Vilato y baja vulnerabilidad en edificaciones aisladas, aunque puede existir probabilidad de que se produzcan en un tiempo y en un lugar determinados eventos potencialmente destructivos, con un grado de severidad capaz de crear una situación de desastre debido al grado de los daños a la población, la economía, la infraestructura y al medio ambiente.

Se identifica una alta predisposición a sufrir pérdidas o daños en 64 viviendas del fondo habitacional, 19 instalaciones de importancia de los elementos expuestos al impacto de este peligro en el municipio Sierra de Cubitas, y otras vulnerabilidades en consideración que repercuten como son la no estructural (afectación a vías y redes), social (asentamientos poblacionales afectados) y la económica.

Se propone un plan de 31 medidas integradoras para la etapa preventiva según el ciclo de reducción de desastres con el objetivo de disminuir o minimizar los riesgos asociados a los hundimientos en terrenos cársicos en las obras a proyectar y construidas en función del desarrollo local.

La investigación permite mostrar la vinculación entre el desarrollo local-hábitat y el proceso de articular las potencialidades de trabajo de la universidad con los requerimientos de la sociedad en términos de aportar soluciones a sus problemáticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, M. (2016). Estimación del riesgo por carso en Cuba.

CEPREDENAC. (2005). La gestión local del riesgo. Concepto y Prácticas.

Díaz, Y. & Pérez, Y. (2013). *Evaluación del peligro por hundimientos en terrenos cárnicos. Caso de estudio: Municipio Sierra de Cubitas*. Trabajo de diploma. Universidad de Camagüey, Cuba.

Isalguez, S. & Yoandis. E. (2016). *Evaluación de la vulnerabilidad estructural ante hundimientos del suelo por desplome de cavernas. Caso de estudio: Municipio Sierra de Cubitas*. Trabajo de Diploma. Universidad de Camagüey, Cuba.

Olcina, J. & Ayala-Carcedo, F. (2002). Riesgos naturales, conceptos fundamentos y clasificación.

Quintas, F. & Cordovés, J. M. (2007). Informe sobre hundimientos de suelo en Sola-Camagüey. Camagüey, Cuba: ENIA.

Serrano Méndez H. y colectivo de autores. (2014). Metodologías para la determinación de riesgos de desastres a nivel territorial.

Conflicto de intereses

La autora declara que no existe conflicto de intereses.