



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Caracterización de la peligrosidad y percepción de
las dolinas en el término municipal de Utebo.

Autor

Sergio Moral Lechuga

Director

Jesús Guerrero Iturbe

Escuela Politécnica Superior

2015

Resumen

Las dolinas son un riesgo natural producido por la disolución de carbonatos o yesos, produciendo flexiones y colapsos en los niveles detríticos situados por encima de las capas en disolución. El presente Trabajo Fin de Grado se centra en el análisis y caracterización de la peligrosidad y susceptibilidad de las dolinas en el término municipal de Utebo. Para este trabajo se ha utilizado una metodología basada en la fotografía aérea, trabajo de campo y utilización de Sistema de Información Geográfica (SIG) con el objetivo de elaborar un mapa de susceptibilidad. Para ello, se realiza la cartografía base sobre las series de fotografía aérea de los años 1946, 1956, 1984 y 1996, las cuales permiten la visión estereoscópica. Además, se utilizan otros mapas y series fotográficas para completar la información. Una vez realizada una cartografía previa de dolinas con las fotografías aéreas, se realiza una campaña de campo para localizar las aún activas, observando posibles afecciones. Con estas fuentes de información se cartografían finalmente un total de 27 dolinas que ocupan una extensión de 283949,28 m² con tasas de subsidencia de 4,8 a 0,5 cm/año. Por último, a través de un SIG se elabora un mapa de susceptibilidad con toda la información recogida para su posterior análisis. De él, se desprende que un 48% de la superficie del municipio y núcleo urbano de Utebo se encuentra en riesgo alto de experimentar subsidencia en un futuro próximo. Por último, en el presente trabajo se analiza la percepción local de los habitantes del municipio al riesgo de dolinas. Para conocer dicha percepción, se ha elaborado una encuesta, en la cual se elabora un análisis descriptivo de los datos recogidos. La encuesta revela que la población tiene conocimientos medios sobre el riesgo de dolinas aunque solo el 32% de la población conoce con exactitud las dolinas. Los resultados obtenidos se exponen en el ayuntamiento de Utebo, con el propósito de que se tenga conocimiento sobre la situación actual de este riesgo natural en el municipio.

Palabras clave: dolinas, SIG, Utebo, peligrosidad, susceptibilidad, percepción.

Abstract

Sinkholes are a natural hazard caused by the carbonate rocks or gypsum dissolution, producing bends and collapses in detrital layers above the layers in solution. This report is focused on the danger and susceptibility analysis and characterization of sinkholes in the township of Utebo. Aerial photographs, field work and Geographic Information System (GIS) have been used for this report, so as to develop a susceptibility map. In order to do this, sinkhole survey has been made from stereoscopic vision aerial photographs series of 1946, 1956, 1984 and 1996, which allow stereoscopic vision. Furthermore, other maps and photographic series are used to complete the information. After a field campaign becomes to locate the sinkholes that are still active, observing possible alterations. With these information sources, a total of 27 sinkholes which cover an area of 283949.28 m² with subsidence rates from 4.8 to 0.5 cm/year is finally mapped. Eventually, a GIS susceptibility map is made, collecting all the information for their later analysis. From the map is obtained that 48% of the area of the town of Utebo is at high risk of experiencing subsidence in the near future. Moreover, in this report the local perception of the population in the township is analyzed. So as to get to know this perception, it is used a survey, in which it is made a descriptive analysis of the data collected. The survey shows that the population has average knowledge about the risk of sinkholes although only 32% of the population know exactly sinkholes. The results that have been obtained are displayed in the city council, with the purpose of having the knowledge about the actual situation oh this hazard in the township.

Key words: sinkhole, GIS, Utebo, hazard, susceptibility, perception.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Definición de Dolina	1
1.2. Tipos de dolinas	1
1.3. Afecciones habituales de las dolinas	4
1.4. Métodos de estudio de dolinas	4
1.4.1 Métodos topográficos	4
1.4.2. <i>Trenching</i>	5
1.4.3. Métodos geofísicos	5
2. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO	6
2.1. Contexto geográfico.	6
2.2. Contexto geológico.....	9
3. OBJETIVOS	10
4. METODOLOGÍA.....	11
5. RESULTADOS.....	20
5.1. Cartografía Previa	20
5.2. Mapa definitivo de dolinas de Utebo	22
5.3. Dolinas.....	24
Dolina 1	25
Dolina 2	26
Dolina 3	27
Dolina 4	28
Dolina 5	28
Dolina 6	29
Dolina 7	30
Dolina 8	31
Dolina 9	32
Dolina 10	33

Dolina 11	34
Dolina 12	34
Dolina 13	34
Dolina 14	35
Dolina 15	36
Dolina 16	37
Dolina 16	38
Dolina 17	39
Dolina 18	40
Dolina 19	41
Dolina 20	42
Dolina 21	43
Dolina 22	44
Dolina 23	45
Dolina 24	46
Dolina 25	47
Dolina 26	47
Dolina 27	48
5.4. Mapa de susceptibilidad de dolinas en el Término Municipal de Utebo	49
5.5. Resultados de las encuestas	51
6. DISCUSIÓN	53
7. PROPUESTA AL AYUNTAMIENTO DE UTEBO.....	56
8. CONCLUSIONES	58
9. BIBLIOGRAFÍA	59
10. ANEXO: ENCUESTA SOBRE LA PERCEPCIÓN LOCAL	62

Índice de figuras

Figura 1. Los principales tipos de dolinas.....	2
Figura 2. Clasificación de dolinas donde el material afectado es la cobertera.....	3
Figura 3. Clasificación de dolinas de roca madre y roca consolidada según los procesos.....	3
Figura 4. Localización de la zona de estudio	6
Figura 5. Mapa de Utebo.....	8
Figura 6. Estereoscopio utilizado.	13
Figura 7. Sección de la cartografía previa	14
Figura 8. Mapa de los barrios de Utebo.....	18
Figura 9. Cartografía previa de dolinas en Utebo.	20
Figura 10. Cartografía definitiva de dolinas en Utebo.	22
Figura 11. Dolina 1.....	25
Figura 12. Dolina 2.....	26
Figura 13. Dolina 3.....	27
Figura 14. Dolina 5.....	28
Figura 15. Dolina 7.....	30
Figura 16. Dolina 8.....	31
Figura 17. Dolina 9.....	32
Figura 18. Dolina 10.	33
Figura 19. Dolina 14.	35
Figura 20. Dolina 15.	36
Figura 21. Dolina 16.	37
Figura 22. Dolina 17.	39
Figura 23. Dolina 18.	40
Figura 24. Dolina 19.	41
Figura 25. Dolina 20.	42
Figura 26. Dolina 21.	43
Figura 27. Dolina 22.	44
Figura 28. Dolina 24.	46
Figura 29. Dolina 26.	47
Figura 30. Dolina 27.....	48
Figura 31. Mapa de Susceptibilidad de dolinas en el Término Municipal de Utebo.....	49
Figura 32. Mapa del PGOU de Utebo.	56

Índice de tablas

Tabla 1. Valores de las capas para la elaboración del mapa de vulnerabilidad.....	17
Tabla 2. Valores de las capas para la elaboración del mapa de susceptibilidad.....	17
Tabla 3. Tabla de números aleatorios.....	19
Tabla 4. Tabla resumen de la cartografía previa.....	21
Tabla 5. Tabla resumen de la cartografía de dolinas definitiva	23
Tabla 6. Resultados de la encuesta.....	51

1. INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Fin de Grado se centra en analizar y caracterizar la peligrosidad de las dolinas en el término municipal de Utebo y conocer la percepción local de la población de este fenómeno natural.

1.1. Definición de Dolina

El término *karst* (Durán, 2002) recoge un tipo de paisaje generado sobre rocas solubles por medio de los procesos de disolución en rocas carbonatadas y evaporíticas. Los terrenos kársticos conforman una gran cantidad de interacciones, dando morfologías únicas.

Una de las morfologías superficiales más importantes del karst son las dolinas o *sinkholes*. Las dolinas son depresiones cerradas con un drenaje interno siendo características esenciales del paisaje exokárstico (Williams, 2003). Gutiérrez F., Guerrero j. y Lucha P. (2008) indican que el término *dolina* procede de las lenguas eslavas, mientras que *sinkhole* es el nombre común utilizado en Norte América y en la literatura científica.

Las dolinas son un riesgo natural producido por la disolución de carbonatos o yesos, produciendo flexiones y colapsos en los niveles detríticos situados por encima de las capas susceptibles de disolución. Para que se produzca este proceso son necesarios varios factores. En primer lugar una capa de sustrato la cual está compuesta mayoritariamente por un compuesto altamente soluble. Segundo circulación de agua por dicha capa. Y tercero la presencia antrópica puede alterar la dinámica natural de las dolinas.

El continuo cambio del paisaje kárstico, y la gran demanda de los recursos que se puede sacar de él, como el agua subterránea, provoca que los procesos kársticos, los cuales tienen una velocidad natural, se activen y crezcan exponencialmente. Esto hace que los peligros asociados aumenten, pudiendo afectar a intereses socioeconómicos del ser humano (Durán, 2002).

1.2. Tipos de dolinas

En este apartado se podrá observar un análisis de los procesos existentes en la generación de los distintos tipos de dolinas, lo cual permitirá clasificarlas genéticamente. El sistema de clasificación utilizado es el empleado por Beck's (2004) y Gutiérrez et al. (2008). Ambas clasificaciones se basan en la utilización de dos términos para definir los tipos de las

dolinas. Un término sería una descripción del material afectado por los movimientos gravitacionales; y el otro término sería el principal proceso de creación de la dolina.

En cuanto al material afectado por los movimientos gravitacionales, existen tres grupos, material de cobertera (*cover*), capas de roca dura (*caprock*), o la roca madre (*bedrock*). Los principales procesos de creación de dolinas son la flexión (*sagging* o *bending*), sufusión (*suffosion*) y colapso (*collapse*).

En la figura 1 se puede observar un esquema de los principales tipos de dolinas según estos dos parámetros.

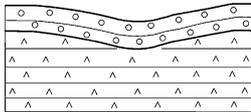
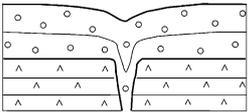
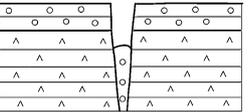
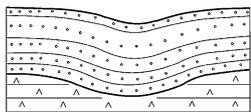
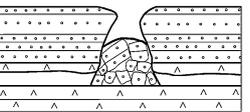
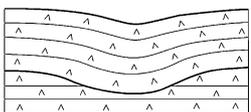
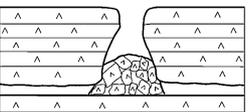
MAIN SINKHOLE TYPES			
MATERIAL	PROCESS		
	Sagging	Suffosion	Collapse
Cover	<p>Cover sagging sinkhole</p> 	<p>Cover suffosion sinkhole</p> 	<p>Cover collapse sinkhole</p> 
Caprock	<p>Caprock sagging sinkhole</p> 		<p>Caprock collapse sinkhole</p> 
Bedrock	<p>Bedrock sagging sinkhole</p> 		<p>Bedrock collapse sinkhole</p> 

Figura 1. Los principales tipos de dolinas. Fuente: Gutiérrez et al., 2008.

Como se puede observar en la figura 1, no se clasifican dolinas de sufusión en materiales de tipo roca madre o capas de roca dura. Esto se debe a que la naturaleza de este proceso no se puede llevar a cabo con ese tipo de rocas.

Gutiérrez et al. (2008) también tienen en cuenta la conjunción de distintos procesos en la generación de una dolina. A continuación, en la figura 2 se expone una clasificación de las dolinas de cobertera incluyendo la conjunción de uno o más procesos como los puntos D (flexión más sufusión) y E (flexión más colapso).

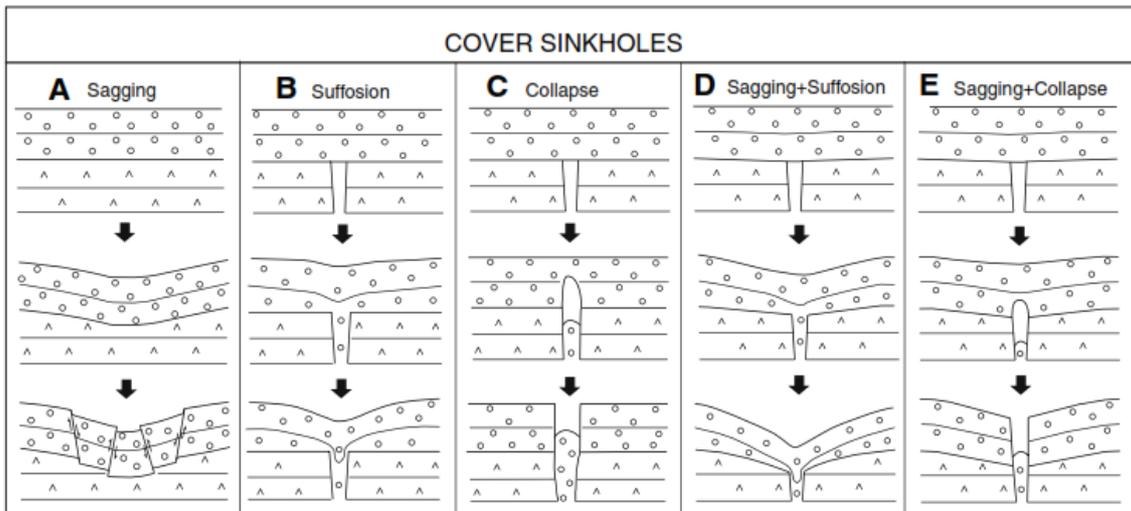


Figura 2. Clasificación de dolinas donde el material afectado es la cobertera. Fuente: Gutiérrez et al., 2008.

Por otro lado, aun teniendo la diferencia de materiales entre la roca madre y las capas de roca consolidada o dura, los procesos entre ambos tipos de material tienen las mismas etapas, siendo muy similares. En la figura 3 se puede observar una clasificación de las dolinas de roca madre y capas de roca consolidada según los procesos dados.

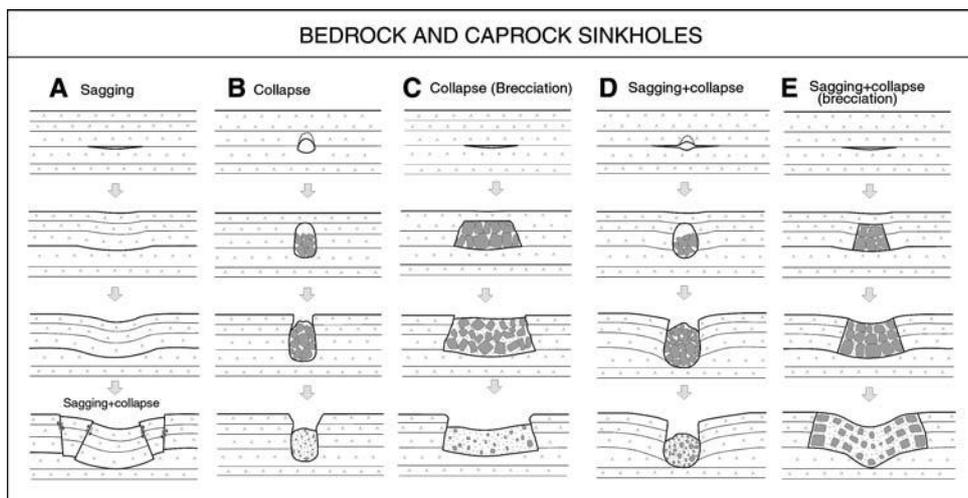


Figura 3. Clasificación de dolinas de roca madre y roca consolidada según los procesos. Fuente: Gutiérrez et al., 2008.

En la figura tres se exponen las etapas llevadas por cada proceso, existiendo como en la figura 2 la conjunción de varios procesos. La mayor diferencia entre ambas es la formación de brechas en las dolinas de roca madre y roca consolidada. Este proceso no se da en las dolinas de cobertera, ya que los materiales de cobertera suelen ser finos, ocupando el espacio generado por la dolina.

1.3. Afecciones habituales de las dolinas

La ocupación del hombre de los terrenos afectados por subsidencia, conllevan importantes daños socioeconómicos. Estos daños se han acrecentado debido a la expansión urbana dada en la década de 1970 (Simón et al., 2009). Los agricultores siempre han convivido con las dolinas. Si las dolinas presentan una tasa de hundimiento suficientemente lenta, los agricultores las rellenan periódicamente. Mientras que si la tasa de hundimiento es rápida, el campo se abandona.

Durante la expansión urbana, numerosas dolinas del valle del Río Ebro fueron colonizadas. Las dolinas eran rellenadas y aplanadas para luego construir edificaciones e infraestructuras encima de ellas. Con esto se creía que la dolina se había extinguido, pero el proceso de hundimiento es constante en el tiempo y pronto, aparecieron las primeras grietas en las construcciones. Si la dolina es de grandes dimensiones puede provocar el hundimiento parcial o total de las edificaciones (Gutiérrez, 2009). Esto provoca grandes daños económicos, dañando redes de abastecimiento y los edificios; pero a su vez puede provocar pérdidas humanas.

Gutiérrez (2009) describe otros peligros asociados a las dolinas. Por ejemplo, si el nivel freático está cercano a la superficie, el hundimiento de una dolina puede provocar la inundación del terreno. Las inundaciones además están asociadas a un incremento de la explotación del agua subterránea, cambiando el régimen hídrico. Esto provoca que el nivel freático cambie y las dolinas a su vez se activen rápidamente (Milanovic, 2000, 2002).

Hay que destacar, que incluso algunas estructuras de alto valor económico del valle del río Ebro también están afectadas. Un ejemplo claro es el estudiado por Guerrero, Gutiérrez, Bonachea y Lucha (2008), la línea de tren de alta velocidad Madrid-Barcelona está afectada por dolinas. Los daños económicos de este ejemplo sería muy altos, además de poner en peligro los millones de pasajeros que utilizan dicha vía.

1.4. Métodos de estudio de dolinas

Existen distintos métodos para el estudio de las dolinas. Cada método tiene sus ventajas e inconvenientes. A continuación se exponen los principales métodos.

1.4.1 Métodos topográficos

Consiste en la utilización de material topográfico para la localización de dolinas. Este material puede ser fotos aéreas, modelos digitales de elevaciones, mapas topográficos, etc.

Las ventajas de estos métodos son su bajo coste económico y el conseguir un contexto a lo largo del tiempo.

1.4.2. *Trenching*

Este método consiste en el estudio de la estructura y las capas de la dolina a través de una zanja o trinchera excavada en ella. Este método se suele combinar con otros métodos para obtener más datos, como otras técnicas de datación. Este método da datos muy fiables además de delimitar las dimensiones de las dolinas. La desventaja es el coste que conlleva realizar las zanjas y estudiarlas; además que aquellas dolinas en las que el nivel freático se encuentra próximo a la superficie no pueden ser estudiadas con este método (Gutiérrez et al., 2009; Gutiérrez, 2009).

1.4.3. Métodos geofísicos

Estos métodos se utilizan para detectar cambios en los parámetros físico-químicos de la cobertera y sustrato. Las dolinas dan una respuesta negativa o zona de menor densidad que se recoge como una anomalía. Hay varios métodos geofísicos, como los métodos sísmicos y gravimétricos, los cuales están en desuso. Los más utilizados en la actualidad son el GPR (Ground Penetrating Radar) y la ERT (Electrical Resistivity Tomography).

El GPR se basa en la transmisión de ondas electromagnéticas al suelo. Estas ondas se reflejan al alcanzar un cambio en material, debido a que cada material tiene unas características eléctricas diferentes. La ventaja es que es un método no invasivo. Las desventajas, se necesitan conocimientos sobre el georadar y que la onda no puede atravesar el nivel freático limitando la profundidad de penetración (Gutiérrez et al., 2009).

La ERT se basa en la inyección de electricidad en corriente continua entre dos electrodos y medir el voltaje para calcular la resistividad de la zona entre los dos electrodos. Las ventajas son que es un método que se amolda mejor a topografías difíciles o con cobertura y alcanza una mayor profundidad (Gutiérrez et al., 2009).

2. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

2.1. Contexto geográfico.

Utebo es un municipio español perteneciente a la comarca de D.C. Zaragoza, de la comunidad autónoma de Aragón. Se localiza en la depresión del valle del Ebro teniendo el núcleo urbano en la margen derecha del río Ebro. En la figura 4 se puede ver en rojo la zona de estudio, viendo que se localiza a tan sólo 12 km al Noroeste de la ciudad de Zaragoza.

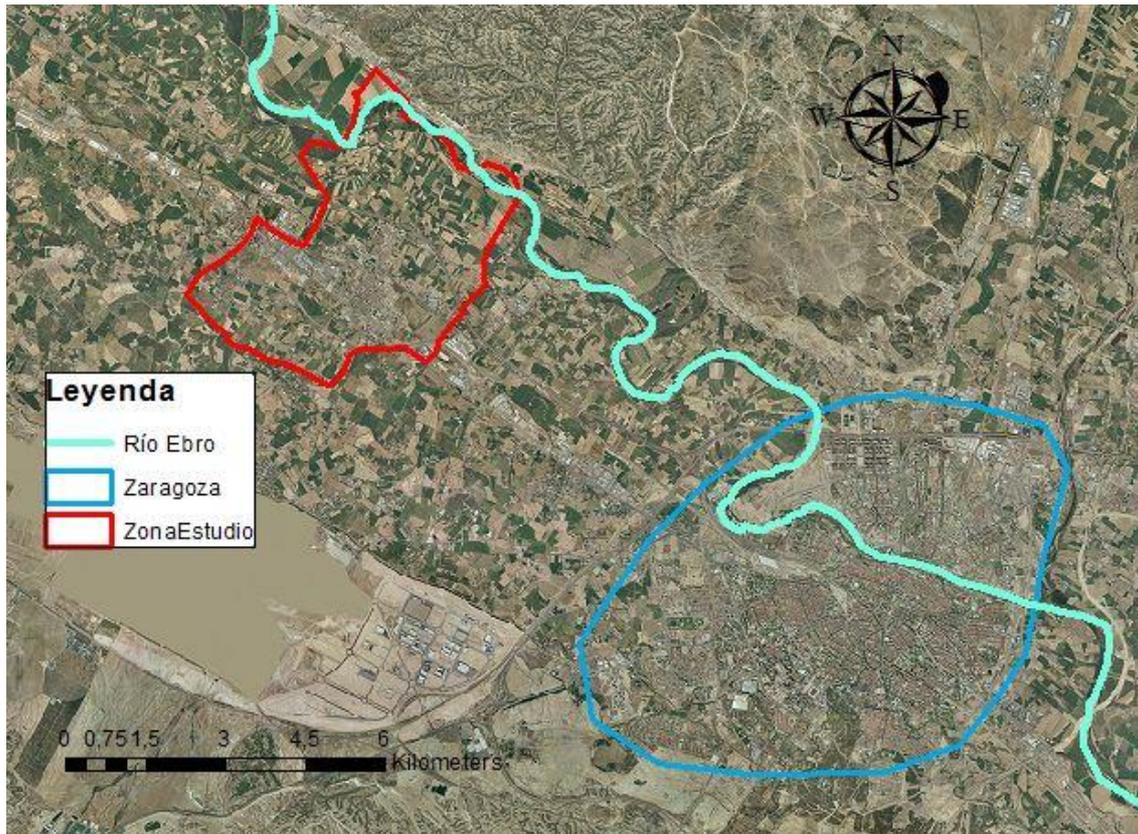


Figura 4. Localización de la zona de estudio en rojo.

Históricamente el municipio de Utebo existe desde la época romana. El topónimo Utebo proviene del latín *Octavus*, dicho nombre hace referencia a que se localiza en la octava milla entre Caesar Augusta y Cascantum, en la calzada que unía Narbona y León. Utebo se declara independiente de Zaragoza en el año 1906. Actualmente el municipio cuenta con 17,9 km² de superficie y una población de 18.429 habitantes (Ayuntamiento de Utebo, 2015).

En cuanto a la superficie, el 75% es superficie agrícola, de la cual el 92,5% son campos de cultivo en regadío, este dato es importante debido a que anteriormente se ha mencionado que el factor agua es importante en la formación de dolinas. Utebo tiene el 18,5% de superficie urbana (IAEST, 2015). A su vez, el municipio de Utebo está atravesado por varias vías

de comunicación importantes (autovía A-68, la autopista AP-68, carretera nacional N-232, línea ferroviaria Logroño-Zaragoza). Estas infraestructuras son especialmente vulnerables al riesgo por subsidencia.

A continuación en la figura 5 se muestra de manera esquemática Utebo. Este mapa señala las distintas infraestructuras anteriormente mencionadas, además de señalar la zona urbana y el centro comercial Alcampo Utebo.

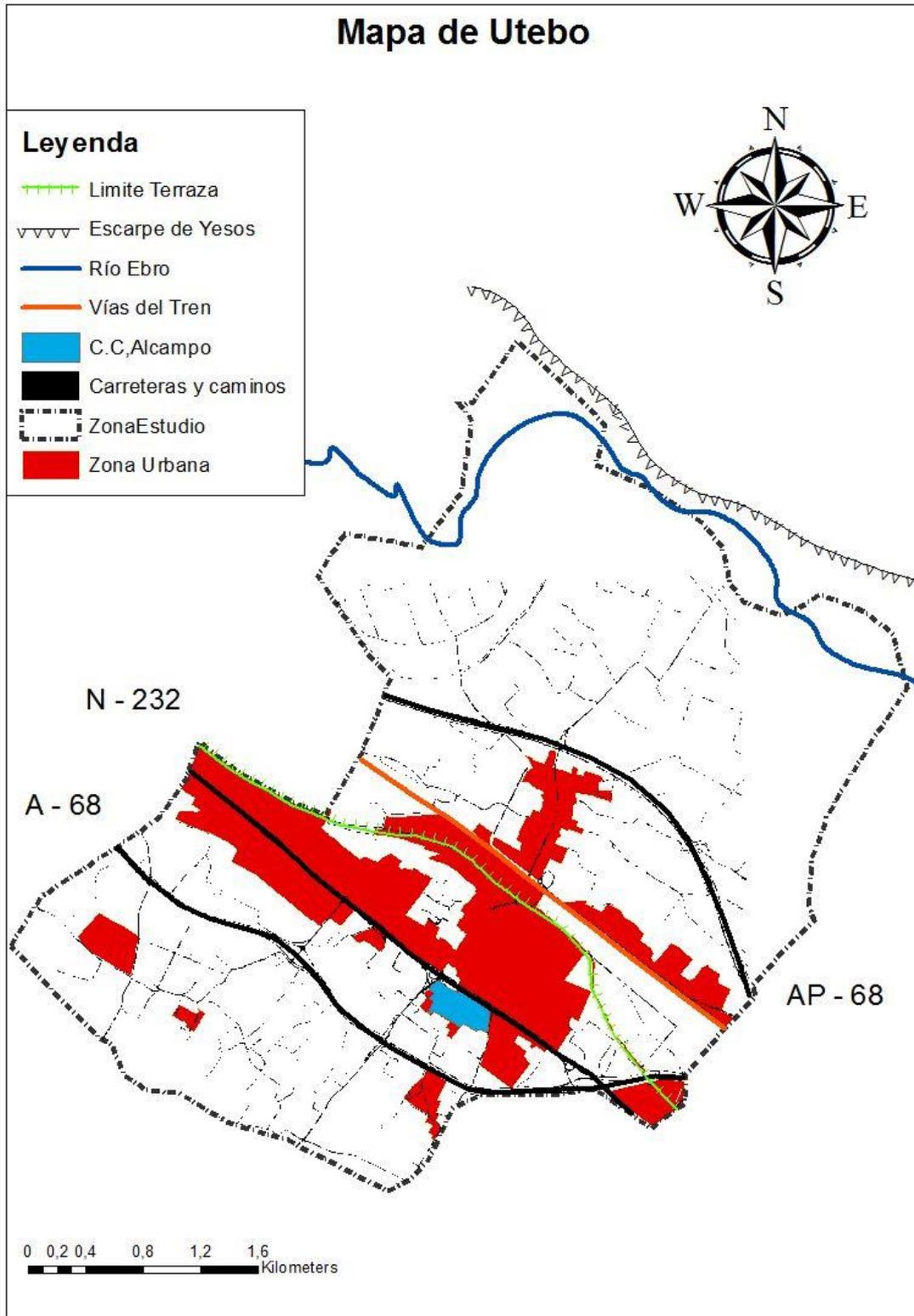


Figura 5. Mapa de Utebo

2.2. Contexto geológico.

Utebo se localiza en las terrazas fluviales T1, T2 y T3 del río Ebro. Estas terrazas son las más modernas que el río ha creado. Por esta razón los materiales superficiales proceden del cuaternario y son en su mayoría conglomerados poligénicos, arenas, limos y arcillas (Simón et al., 2009; Barnolas y Robador, 1991).

Según datos de sondeo, debajo de esta capa de depósitos fluviales se encuentran yesos blancos nodulares alabastrinos y niveles de glauberita ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$) y halita (NaCl) del terciario. La existencia de halita y glauberita con solubilidades de hasta 150 veces superiores a la del yeso es esencial para explicar por qué el riesgo por subsidencia asociado a la generación de dolinas es tan elevado en la zona de estudio y en general en gran parte del valle del Ebro (Gutiérrez et al., 2008)

Por otro lado, los depósitos de terraza constituyen el acuífero aluvial del Ebro cuyo nivel freático oscila a lo largo del año, situándose más próximo a la superficie durante la primavera y verano coincidiendo con la época de riego (CHE, 2008). La presencia de este acuífero junto con la oscilación de su nivel freático favorecen los procesos de disolución del sustrato evaporítico y hundimiento de la cobertera (Simón et al., 2009).

3. OBJETIVOS

El objetivo general de este Trabajo Fin de Grado es la de analizar y caracterizar la peligrosidad de las dolinas en el término municipal de Utebo y conocer la percepción local de este fenómeno natural.

Los objetivos específicos serían los siguientes:

- Estudio fotográfico de la zona para la obtención de una cartografía previa sobre las dolinas.
- Estudio de mapas antiguos para la localización de dolinas.
- Elaboración de una cartografía de dolinas de detalle de la zona de estudio.
- Elaboración de un estudio de la actividad de las dolinas de la zona de estudio.
- Conocer las tasas de hundimiento de las dolinas localizadas a través del trabajo de campo y de la cartografía de detalle
- Elaboración de un mapa de susceptibilidad por dolinas mediante el estudio seriado de fotografías aéreas, trabajo de campo y el uso de un SIG.
- Conocer la percepción local sobre las dolinas a través de la realización de una encuesta a la población.
- Dar a conocer al Ayuntamiento la información relativa y propuestas de mejoras.

4. METODOLOGÍA

La metodología de este Trabajo Fin de Grado recoge dos escalas, una escala espacial y otra temporal. En cuanto a la escala espacial se estudió el término municipal de Utebo y sus zonas limítrofes debido a que el crecimiento de una dolina en el margen del término municipal puede finalmente terminar afectando al territorio del propio municipio. Además se estudió las variaciones temporales que experimentaron las dolinas mediante el estudio de series fotográficas de diferentes años dado que la subsidencia es un fenómeno dinámico que se ve en parte alterado por la actividad humana.

El trabajo se ha llevado a cabo en varias fases. En primer lugar, se elaboró una cartografía preliminar de dolinas a partir de la fotografía aérea. Las fotos más antiguas que permitieron una fotointerpretación a través de visión estereoscópica fueron las fotos aéreas del año 1946 y 1957. Además de estas series de fotos se usaron las series de 1984 y 1996, las cuales también permitieron el visionado estereoscópico. Las ortofotos de 1927 fueron las más antiguas que se dispusieron. A pesar de no tener visión estereoscópica resultaron ser una información valiosa para detectar las depresiones más grandes ya existentes hace más de 100 años. De todas las series disponibles, la cartografía base se hizo sobre las series de los años 1956 y 1984, debido a que su mayor escala y mejor calidad facilitan una mayor exactitud. El mapa resultante del estudio fotográfico se recoge en el subapartado 5.1 en la figura 9.

Para una mayor concreción, Utebo se localiza en las hoja 354 “Alagón” del Mapa Topográfico Nacional 1:50000 (MTN50), y en la 354-4 “Utebo” del Mapa Topográfico Nacional 1:25000 (MTN25) (Instituto Geográfico Nacional (IGN), 2015). Las fotos aéreas de 1927 se han obtenido de la página web de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), localizándose la zona de estudio en los fotoplanos H-354-h-13, H-354-h-14, H-354-h-18, H-354-h-19, H-354-h-23, H-354-h-24.

Las fotografías aéreas de 1946 fueron las primeras en realizar una cobertura nacional. Las fotografías aéreas donde se localiza la zona de estudio son los negativos 86, 87 y 88 del rollo 29 de la Hoja 354. La escala aproximada de estas fotografías aéreas es de 1:48.800, impidiendo observar detalles en la zona de estudio. Estas fotografías se obtuvieron en formato físico a través Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire (CECAF).

Las fotografías aéreas de 1956 corresponden al “vuelo americano”, el cual fue un trabajo de cooperación entre el Ejército del Aire de España y la Fuerza Aérea de los Estados Unidos de América. Dentro de toda la serie de fotos, las fotografías aéreas donde se localiza la

zona de estudio son las fotografías 37711, 37712, 37713 y 37714 del rollo 372 y las fotografías 48335, 48336, 48337 y 48338 del rollo 475. Estas fotografías aéreas tienen una escala aproximada de 1:33.000, dando a una fotografía aérea con posibilidad de detalle. Además son las primeras fotografías de calidad de las que se dispone antes del crecimiento urbanístico. Por su calidad, escala y antigüedad se utilizarán estas fotografías como base para la cartografía. Estas fotografías se obtuvieron en formato físico a través Centro Geográfico del Ejército.

Las fotografías aéreas de 1984 corresponden al Vuelo General de España del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en colaboración con el Servicio Geográfico del Ejército (SGE). Las fotografías aéreas donde se localiza la zona de estudio son las fotografías número 05, 06, 07 y 09 de la pasada M de la Hoja 354 y las fotografías 06, 07 y 08 de la pasada L de la Hoja 354. La escala de estas fotografías aéreas es de 1:30.000, permitiendo una observación con detalle de la zona de estudio, y al igual que las fotografías de 1956, se utilizarán como base para la elaboración de la cartografía. Estas fotografías se obtuvieron del CECAF.

Las fotografías aéreas de 1994 corresponden al Vuelo General de España de 1994. Las fotografías aéreas donde se localiza la zona de estudio son los negativos 4, 5 y 6 de la P 6 del rollo 7, de la serie D, de la Hoja 354. La escala de estas fotografías aéreas es de 1:40.000, la cual no permite observar detalles de la zona. Estas fotografías se obtuvieron del CECAF.

Es importante destacar que el uso de series fotográficas desde el 1927 al 1994, permiten observar el proceso de la subsidencia temporalmente, viendo los cambios que han experimentado las diferentes dolinas reconocidas y en qué medida ha influido la actividades antrópicas en su morfología actual.

Para la elaboración de la cartografía previa se ha utilizado técnicas de visión estereoscópica a través de un estereoscopio de mesa TOPCON 3000 con varios aumentos de lente, pudiendo observar y realizar una cartografía con mayor detalle. En la figura 6 se puede observar el equipo utilizado.

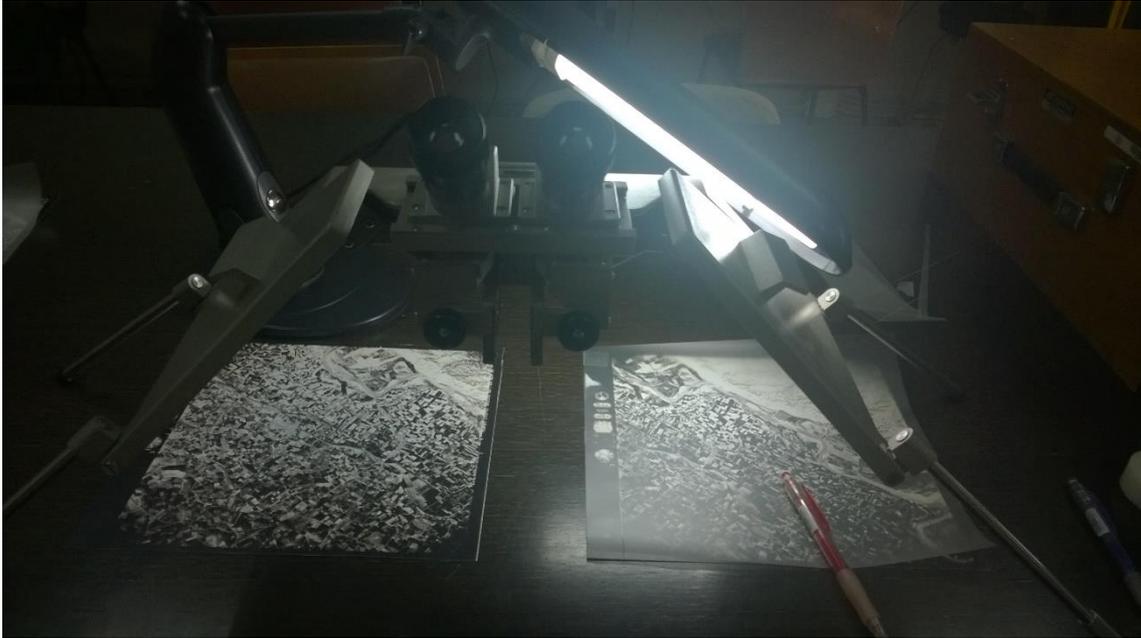


Figura 6. Estereoscopio utilizado.

En una segunda fase, La cartografía previa fue posteriormente integrada en un SIG. Se empleó el programa ArcGis en su versión 10.1., para así trasponer la cartografía previa en una ortofoto. La ortofoto escogida fue la del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea del 2006 (PNOA 2006) cedido por el Instituto Geográfico Nacional de España, siendo la ortofoto con más antigüedad disponible. Además, la utilización de esta ortofoto permitió tener una visión actual de la zona siendo fácilmente reconocibles aquellas dolinas que fueron alteradas y/o ocupadas por actividades humanas posteriormente. La ortofoto fue obtenida a través de la web del IGN.

La figura 7 es un ejemplo de la cartografía previa en la cual se observan en rojo las dolinas visibles en el año 1956 y en azul las del año 1984.

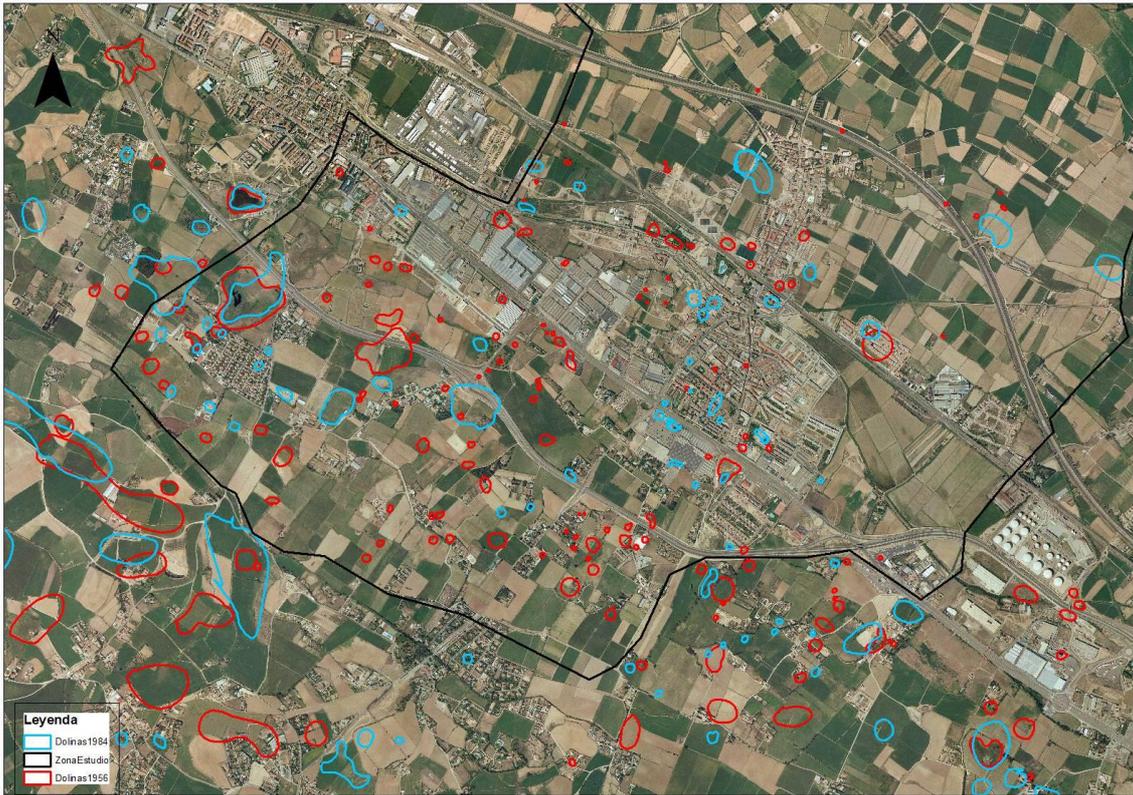


Figura 7. Sección de la cartografía previa sobre la ortofoto del 2006 del IGN en la que se reconocen en rojo y azul las dolinas reconocidas en la fotos aéreas de 1956 y 1984 respectivamente.

En una tercera fase, una vez elaborada la cartografía previa, se procedió a su comprobación mediante una campaña de campo, en la cual se comprobó la existencia visual de cada una de las dolinas cartografiadas, posibles afecciones a las infraestructuras de alrededor, la aparición de nuevas dolinas no localizadas mediante la fotografía aérea y se llevó a cabo entrevistas con habitantes de la zona que pudieran contribuir a la descripción temporal de la dolina y su evolución.

La campaña se dividió en tres jornadas. En la primera jornada se recorrió la zona sur del área de estudio. En la segunda jornada se recorrió el casco urbano de Utebo y la zona norte del área de estudio. En la tercera jornada se recorrió las dolinas situadas en los límites del término municipal, y se volvió a visitar aquellas dudosas.

Las dolinas que son reconocidas en las fotos aéreas del 1956 y 1984 y que no son reconocidas en campo fueron catalogadas como probables. A su vez se incluyó como dolinas probables otras zonas deprimidas reconocidas en la campaña de campo pero no identificadas en las fotos aéreas. Estas dolinas probables fueron comprobadas de nuevo tanto en campo

como en visión estereoscópica con el fin de descartarlas o incluirlas en el análisis final de susceptibilidad. A su vez se recurrió a mapas topográficos antiguos en los cuales se puede observar la aparición de balsas o leves hundimientos, los cuales pueden señalar la existencia de la dolina. Los mapas topográficos utilizados para esta labor fueron:

- Trabajo topográfico del término municipal de Utebo, con fecha del 17 de Abril de 1918, cuyo autor fue Roman Gautier. Fuente: IGN.
- Mapa topográfico de 1935, del plano director de la Cartografía Militar de España.
- Mapas topográficos escala 1:2000 de los años 1963 a 1969. Fuente: IGN

En una cuarta fase, tras el reconocimiento de campo y estudio de mapas topográficos antiguos, se obtuvo una cartografía definitiva de dolinas. Una vez finalizada la comprobación se procedió a la elaboración de un mapa de susceptibilidad de dolinas a través del SIG, para así saber la peligrosidad de dicho riesgo natural.

Para ello se utilizó el programa ArcGis 10.1. Con las dolinas finales, expuestas en el apartado de resultados, se elaboró una capa vectorial de áreas. Como base se utilizó la imagen PNOA 2006 y de sistema de referencia el Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989 (en inglés *European Terrestrial Reference System 1989*, ETRS89).

A su vez se elaboró una capa vectorial en formato de áreas para los edificios del municipio de Utebo. Para ello se acudió a la Base Topográfica Armonizada 1:5000 (BTA5) proporcionada por la Infraestructura de datos Espaciales de Aragón (IDEAragón). Debido a su escala Utebo se queda dividida en cuatro hojas, las cuales son las hojas número 35444, 35445, 35452 y 34553. De los archivos que contienen, se extrajeron las capas de los edificios y se juntaron en una sola capa a través de la herramienta “*unión*”.

De manera similar se elaboró una capa de las infraestructuras del municipio. Para ello en la capa se juntaron la autovía A-8, la autopista AP-68, Carretera Nacional N-232, las vías ferroviarias y las carreteras menores del municipio. Para esto se acudió a las capas correspondientes del BTA5, las cuales mediante la herramienta “*unión*” se juntaron en una sola capa. Las partes de carreteras que estaban en formato líneas se pasaron a polígonos de forma manual.

Los cultivos también se ven afectados por los hundimientos de las dolinas. Para crear una capa de cultivos se recurrió a los datos proporcionados por el Sistema de Información

Geográfica de parcelas agrícolas (SIGPAC) proporcionado por IDE Aragón. A través de estos datos obtuvimos todos los campos, cultivos, y otras zonas no urbanizadas. Estos datos dividen el terreno en muchas parcelas que luego fueron unidas a través de la herramienta “*Dissolve*”.

Se decidió realizar una capa independiente denominada “calles” que engloba las vías de circulación dentro del núcleo urbano. Esta discriminación se hace debido a que el tránsito de vehículos sobre dichas calles es mucho menor que autovías y carreteras, por consiguiente su vulnerabilidad es menor, y por consiguiente su valor de peligrosidad también. Para crear la capa de las calles se resta a la capa de polígonos de suelo urbanizado obtenida del SigPAC la capa de edificios creada anteriormente a través de la herramienta “*Erase*”.

Por otro lado se creó otra capa con las terrazas fluviales del río Ebro mediante el uso de fotografía aérea, diferenciándose las terrazas T2 y T1. Se le dio un mayor peso a la terraza T2 en el análisis multivariable dado que la mayor parte de las dolinas se han desarrollado sobre este nivel de terraza.

Una vez se obtienen todas las capas se utilizó la herramienta “*Euclidean Distance*”. Con esta herramienta se calculó la distancia euclidiana, la cual proporciona la distancia desde cada celda en el ráster hasta el origen más cercano y permite crear capas ráster a través de las capas vectoriales, obtener las distancias de afección de cada una de las dolinas y determinar la vulnerabilidad de los edificios (*ArcGis Resource Center*, 2015). A la hora de elegir tamaño de la celda de salida, se propuso 5 metros debido a que algunas dolinas son de un tamaño muy reducido. A su vez se tiene que señalar que la extensión del proceso ocupa el tamaño de la zona de estudio, con esto se logra una mayor simplicidad de las capas ráster de salida.

Una vez creadas las capas ráster a partir de las vectoriales, se procede a la elaboración de un mapa previo de vulnerabilidad con la conjunción de las capas ráster de las distancias euclidianas. Para ello se utilizara la herramienta “*Raster Calculator*”. A través de esta herramienta se juntan las capas ráster de las edificaciones, infraestructuras, calles y cultivos. Cada capa se multiplica por unos valores los cuales dan más importancia a lo más vulnerable. Para la elección de los valores se ha revisado distinta bibliografía, destacando los trabajos de Pepe, P., 2013, y Al-Kouri, O., 2013. Después de revisar la bibliografía se opta por utilizar los valores de la tabla 1.

Tabla 1. Valores de las capas para la elaboración del mapa de vulnerabilidad. Fuente: elaboración propia.

Capa	Valor
Infraestructuras	4
Edificios	2
Calles	1
Cultivos	0.5

En la herramienta “*Raster Calculator*” se suman las capas multiplicadas por su valor, obteniendo un mapa de vulnerabilidad donde las infraestructuras son las más vulnerables seguidas de los edificios.

Una vez se obtiene la capa de vulnerabilidad volviendo a usar la herramienta “*Raster Calculator*” se podrá hacer el mapa de susceptibilidad de dolinas del término municipal de Utebo. Para ello se vuelve a sumar las capas dando valores a cada capa basándose en la bibliografía consultada (Pepe, P., 2013; Al-Kouri, O., 2013.). En la tabla 2 se pueden observar los valores dados.

Tabla 2. Valores de las capas para la elaboración del mapa de susceptibilidad. Fuente: elaboración propia.

Capas	Valores
Dolinas	8
Terrazas	4
Vulnerabilidad	1

La vulnerabilidad se le ha dado un valor de 1 debido a que va a ser la capa base para las otras dos. Las terrazas tendrán importancia para realzar que hay una mayor susceptibilidad de dolinas en la T2 que en la T1. Por último, a las dolinas se les proporciona un valor 8 por ser las zonas más peligrosas. Las capas se sumaran siendo multiplicadas por sus valores.

Para este mapa no sea usado ningún Modelo Digital de Elevaciones debido a que estos tienen una resolución la cual no permite detectar las dolinas de pequeño tamaño observadas en la campaña de campo.

Hay que destacar que aquellas dolinas con un alto valor ecológico se eliminaron del análisis para conservar dicho valor. Esto se reflejara en el mapa de susceptibilidad final de manera que la zona donde se localicen presentará una trama distinta.

Finalmente, con el fin de determinar la percepción local sobre el riesgo a la subsidencia por la formación de dolinas, se elaboró una encuesta a la población. Se opta por un muestreo por rutas aleatorias para dar una mayor sencillez (Gobierno de Cantabria, 2009), en el cual se visitarán 40 edificios de viviendas en las cuales se harán 100 encuestas a los habitantes. De este modo se evita un error mayor al 15% dentro del 95% de intervalo de confianza.

Debido a la división del núcleo urbano de Utebo en cuatro barrios se opta por dividir los edificios según la importancia en la población que tiene cada barrio. Estos barrios se localizan según la figura 8, localizándose el Casco Antiguo al norte de las vías del tren, al sur de este barrio se localiza la Zona Nueva. Por otro lado Malpica se localiza al noreste del municipio, y Setabia es un barrio residencial al Sur de Malpica. Los barrios más poblados son la Zona Nueva y el Casco Antiguo. Por consiguiente en la Zona Nueva y Casco Antiguo se visitaran quince edificios y en los barrio de Malpica y Setabia cinco edificios en cada uno.

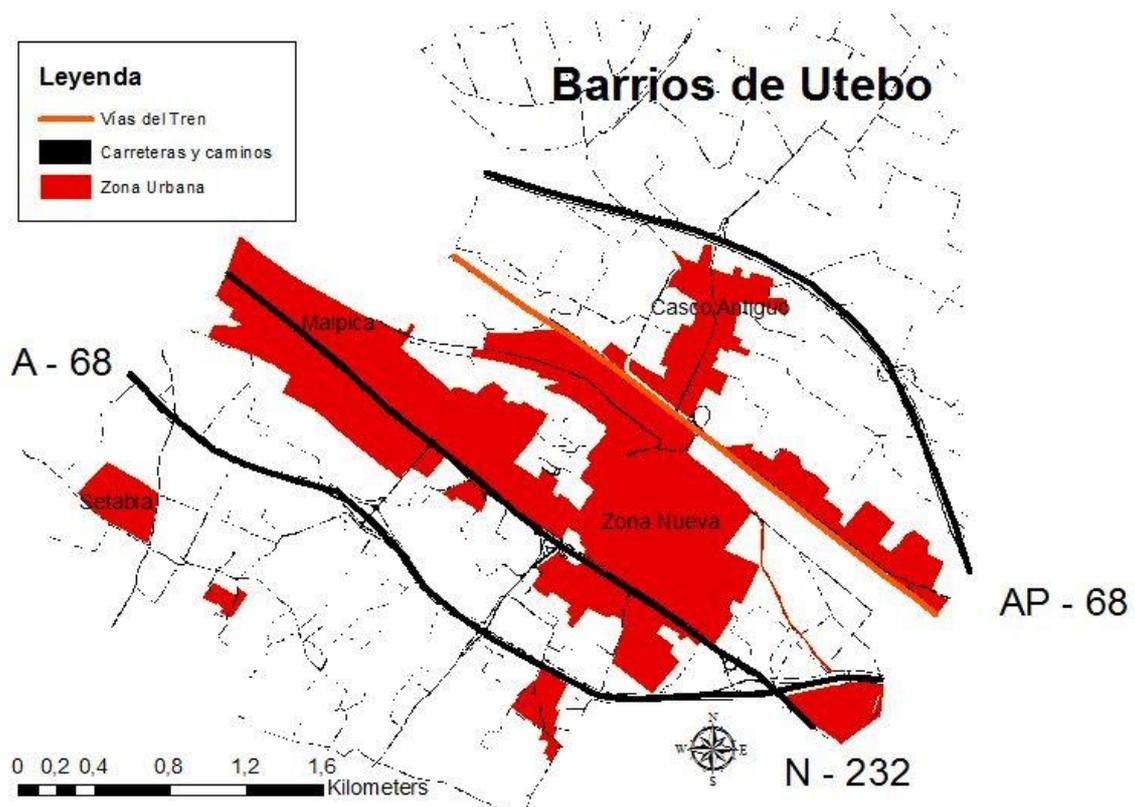


Figura 8. Mapa de los barrios de Utebo.

La ruta se ha seleccionado según expone Díaz (2005) en uno de sus manuales. Se establece un itinerario aleatorio en el cual, si se obtiene acceso al edificio, se procede al uso de una tabla de números aleatorios (tabla 3) para mantener la aleatoriedad de la muestra.

Tabla 3. Tabla de números aleatorios. Fuente: Díaz de Rada, Vidal (2005): Manual de trabajo de campo en la encuesta. Madrid, Centro de Investigaciones Sociológicas, pp. 80.

Número de entrevista	Número de alternativas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	2	4	5	3	4	5	9	7
2	1	1	1	2	2	2	2	4	5	3
3	1	2	2	4	3	5	2	5	9	7
4	1	2	3	4	2	5	2	7	8	9
5	1	2	3	3	4	2	5	7	8	10
6	1	2	1	3	1	4	6	5	8	7
7	1	1	1	1	4	4	5	5	6	3
8	1	1	2	3	4	6	3	3	8	10
9	1	1	3	3	1	3	6	7	7	8
10	1	2	3	1	2	6	2	8	3	7
11	1	2	1	2	3	2	3	6	1	7
12	1	1	1	3	2	5	1	1	7	1
13	1	1	3	3	5	1	7	4	9	2
14	1	2	3	1	4	5	4	1	1	2
15	1	1	3	2	5	1	1	1	3	9
16	1	2	1	3	5	2	1	5	9	2
17	1	1	3	3	1	2	4	7	4	7
18	1	2	2	1	2	5	6	7	7	8
19	1	1	3	1	5	3	1	6	2	6

La encuesta está compuesta de 10 preguntas de respuesta cerrada con múltiple opción, a responder una sola opción. En la última pregunta se expone un ejemplo, el cual sirve para ver si se conoce bien el riesgo natural de las dolinas. Por otro lado, la primera pregunta se centra en los distintos términos utilizados, esta pregunta se introdujo después de entrevistar a agricultores, con los cuales se pudo observar que utilizan distintos términos para referirse al mismo concepto.

En el anexo se expone el formato de la encuesta. Con este formato se pretende conseguir la proporción de las respuestas dadas por la población. Con los datos obtenidos se hace un análisis descriptivo de la percepción local sobre las dolinas de manera superficial. Los datos se exponen en la tabla 6 del apartado de resultados.

5. RESULTADOS

5.1. Cartografía Previa

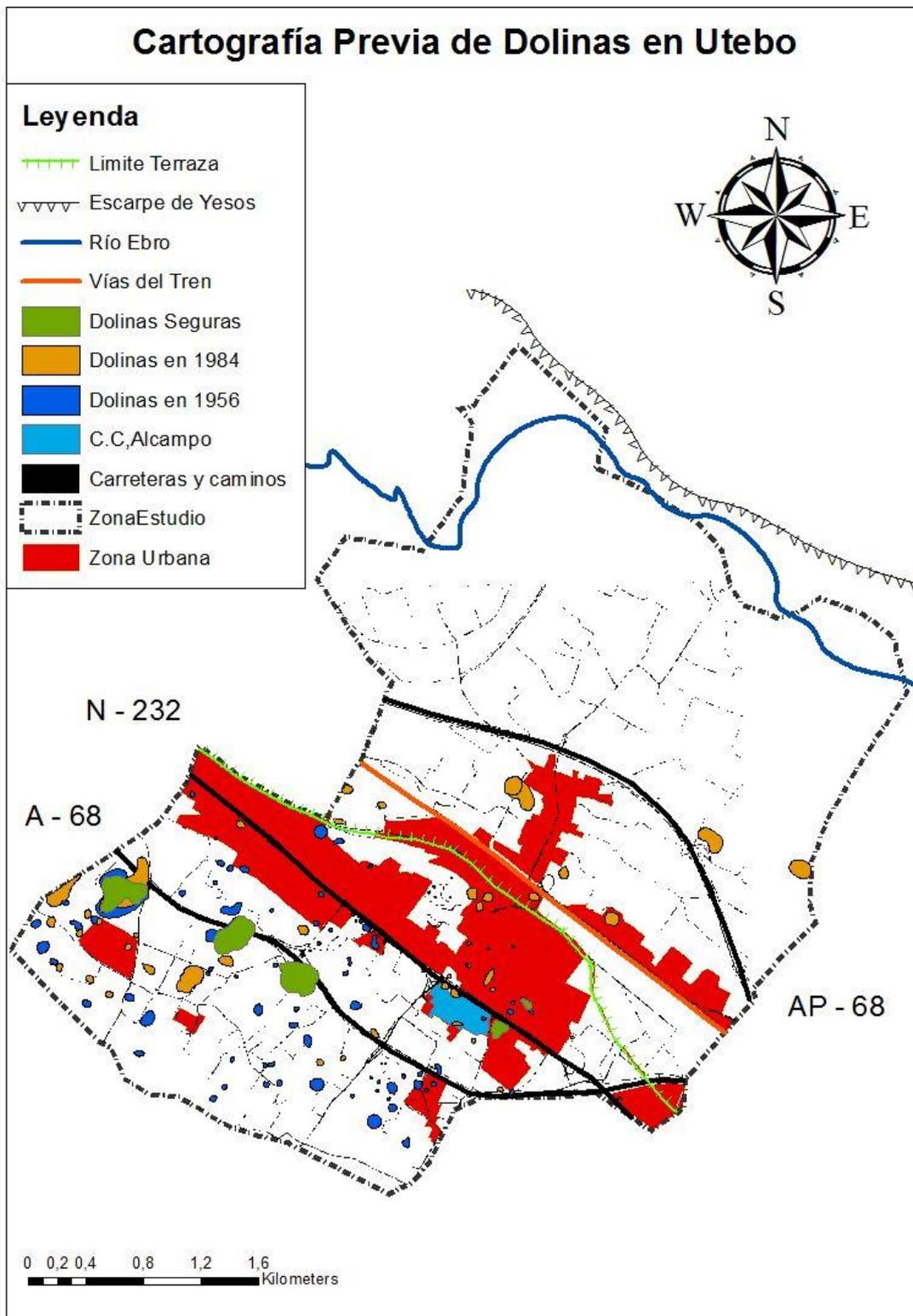


Figura 9. Cartografía previa de dolinas en Utebo.

El estudio de la fotografía aérea de 1956 permitió reconocer un total de 90 dolinas que sumaban una superficie total de 282403 m² que equivale al 1,57% de la superficie total de Utebo (Tabla 4). De las 90 dolinas casi la mitad se encuentran en zonas urbanizadas actualmente con el consiguiente riesgo de hundimiento. Como era de esperar, en el vuelo de 1984 el número de dolinas cartografiadas se redujo en un 45% reconociéndose un total de 49 dolinas. Como veremos más adelante, esto se debe a que gran parte de las dolinas del vuelo 1956 fueron rellenadas para la urbanización. No obstante, cabe destacar que la superficie afectada por subsidencia aumento un 15% con respecto a 1956. Este dato informa que las grandes dolinas reconocidas en 1956 habían aumentado considerablemente sus dimensiones y evidencian que el proceso continúa activo. De las 49 dolinas, 12 coinciden con depresiones ya cartografiadas en el vuelo de 1956 y 37 se habrían formado con posterioridad al 1956. De este modo el número total de dolinas cartografiadas entre ambos vuelos es de 127 abarcando una superficie total de 603028 m², que equivale al 3,36% de la superficie total de Utebo.

Tabla 4. Tabla resumen de la cartografía previa en la que se indica el número de dolinas localizadas en ambos años, la superficie que ocupan y cuantas de las dolinas se encuentran en la actual zona urbana.

Año	1956	1984	Total
Nº de dolinas	90	49	127
Superficie ocupada (m²)	282403	326620	603028
Nº de dolinas en zona urbana	27	22	45
Superficie ocupada (m²) de la zona urbana	37020	37198	71264

5.2. Mapa definitivo de dolinas de Utebo

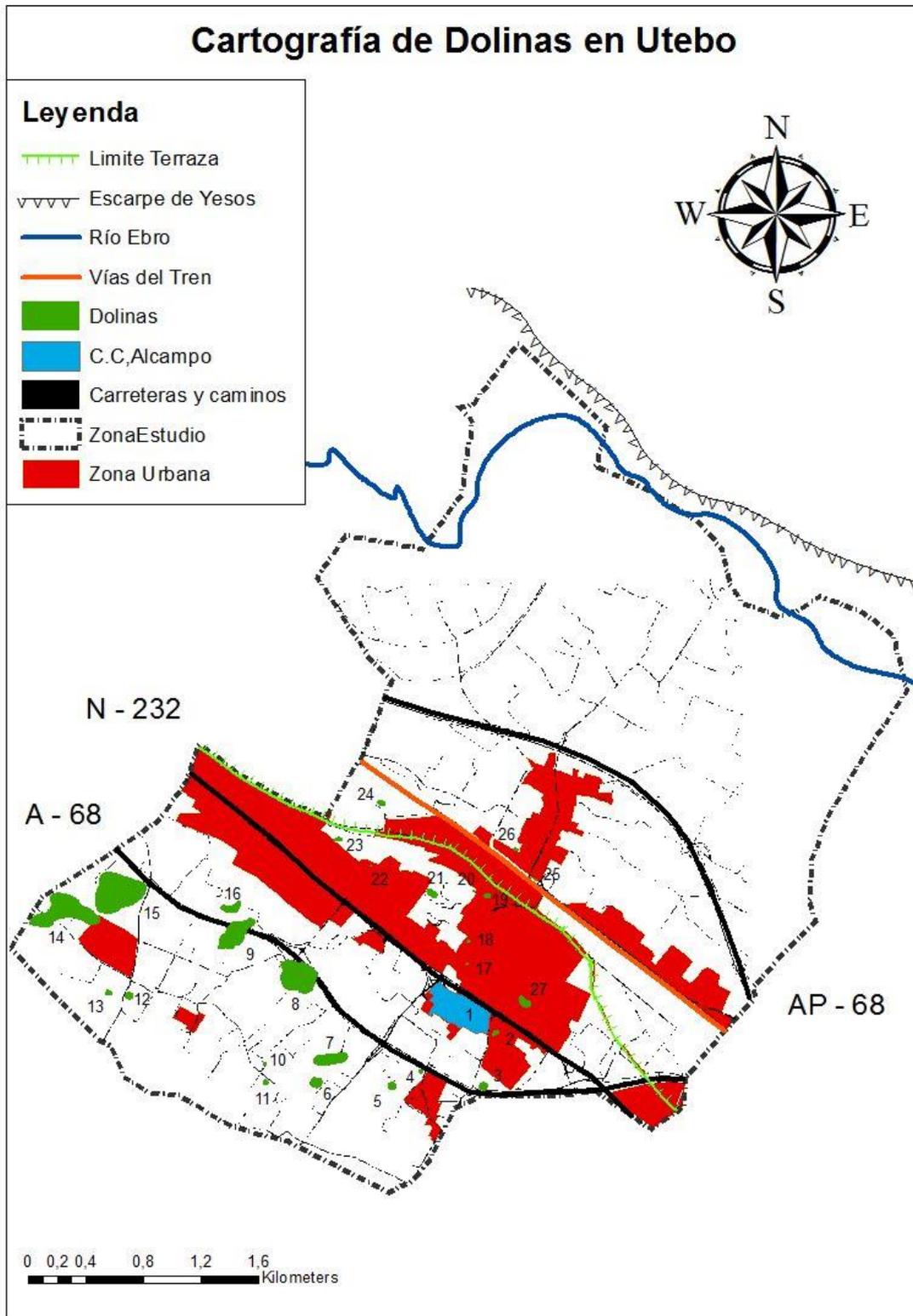


Figura 10. Cartografía definitiva de dolinas en Utebo.

La campaña de campo permitió reconocer como dolinas seguras y definitivas un total de 27 dolinas que sumaban una superficie total de 283949 m², que equivale al 1.58% de la superficie total de Utebo (Tabla 5). A su vez, 12 de las 27 dolinas se localizan en la zona urbana. Del total de 127 dolinas se han eliminado 100 dolinas debido a que en la campaña de campo no fueron localizadas o se determinaron como probables y en su posterior análisis con documentación y mapas no fueron determinadas como seguras.

Tabla 5. Tabla resumen de la cartografía de dolinas definitiva en la que se indica el número de dolinas definitivo, la superficie que ocupan y cuantas de las dolinas se encuentran en la actual zona urbana.

Dolinas definitivas	
Nº de dolinas	27
Superficie ocupada (m²)	283949
Nº de dolinas en zona urbana	12
Superficie ocupada (m²) de la zona urbana	13531

5.3. Dolinas

A continuación se exponen los detalles morfológicos de las dolinas definitivas reconocidas en el campo, fotos aéreas y mapas topográficos e incluidas en el mapa de dolinas definitivo (figura 10). Todas las dolinas aparecen numeradas siguiendo el orden de descripción de este apartado. Cada dolina será descrita a través de cinco puntos, los cuales son:

- Situación: descripción de la localización de la dolina.
- Dimensiones: tamaño de la dolina.
- Morfología: forma que presenta la dolina.
- Afecciones: daños causados por la dolina.
- Cronología: aparición de la dolina en las fotografías aéreas de 1956 y 1984 con la que se ha elaborado la cartografía previa.

A su vez, en caso de que la dolina sea marcada como probable, se intentará determinar su existencia consultando otros sistemas de información tales como ortofotos antiguas y modernas, mapas topográficos y entrevistas personales con agricultores de la zona.

Para mayor claridad se expondrá cada dolina por página para poder visionar bien las figuras.

Dolina 1

Situación: Aparcamiento Centro Comercial Alcampo.

Dimensiones: 3 x 2 m con una profundidad de tan sólo 30 cm

Morfología: Flexión pequeña con márgenes difusos.

Afecciones: Afección a la calzada. Grietas en el asfalto, algunas grietas llegan a 1cm (fig. 11).

Cronología: Solo es visible en la fotografía de 1956 previamente a la construcción del centro comercial. Suponiendo que no haya existido reasfaltado de la zona por las deformaciones, la tasa de hundimiento de la dolina es de tan solo 0.5 cm/año.



Figura 11. Dolina 1. Forma semicircular y márgenes difusos junto al centro comercial Alcampo.

Dolina 2

Situación: 80 m al sur de la N-232, y 350 m al Este del centro comercial en el margen del término municipal (Fig. 10). Conocida como dolina de Torreblanca.

Dimensiones: 80 x 50 m y 1,5 m de profundidad.

Morfología: Dolina de grandes dimensiones, con márgenes suavizados. Cubierta de carrizos, indicando que el nivel freático está cercano. Parcialmente rellenada. Pequeños colapsos de 50cm de largo alrededor de la depresión principal (Fig. 12).

Afecciones: El parque cercano está inclinado hacia la dolina.

Cronología: Reconocible ya en la ortofoto de 1927 como una depresión de grandes dimensiones. A partir de la foto 1956, se ha calculado un diámetro de 410 metros. En la foto de 1984 su diámetro es muy inferior a los 147 metros, lo que indica que la dolina fue rellenada artificialmente entre 1956 y 1984. Desde el 1984, apenas ha experimentado variaciones significativas. La tasa de hundimiento de esta dolina es de 4,8 cm/año desde 1984.



Figura 12. Dolina 2. Partes: a. Visión general de la dolina. b. Flexión del parque. c. Pequeño colapso en el parque.

Dolina 3

Situación: Dolina colindante a la autovía en la margen norte. Al sur de la dolina 2.

Dimensiones: 80 m de diámetro, circular. Profundidad de 80 cm.

Morfología: Dolina de gran tamaño, circular, con indicios de que ha sido rellenada con escombros. Presencia de cañas que indican que el nivel freático es cercano a la superficie. Presencia de un escarpe circular de unos 50cm de alto. Visible en la figura 13.

Afecciones: Calzada derecha de la Autovía A-68 visiblemente inclinada hacia la dolina.

Cronología: Solo visible en la foto de 1984. Tasa de hundimiento de 2,6 cm/año desde 1984.



Figura 13. Dolina 3. Fuente: elaboración propia.

Dolina 4

Situación: Dolina en campo de cultivo. Colindante a la autovía A-68 en la calzada izquierda. Al sur del C.C. Alcampo Utebo.

Dimensiones: 30 m, circular. Profundidad de 60 cm.

Morfología: Dolina de tamaño medio en un margen de un campo de cultivo. No hay presencia de colapsos alrededor. Posiblemente rellenada para poder cultivar.

Afecciones: Campo de cultivo ligeramente inclinado.

Cronología: Visible en la foto de 1956 pero no en la de 1984 ni posteriores, lo que indica que fue rellenada entre el 1956 y 1984. Tasa de hundimiento de 1,9 cm/año

Dolina 5

Situación: Dolina en campo de cultivo al suroeste de la dolina 4. Al sur de la A-68.

Dimensiones: 20 m, circular.

Morfología: Ligera depresión en el centro de un campo de cultivo. Posiblemente rellena para poder cultivar. Visible en la figura 14.

Afecciones: Campo de cultivo ligeramente inclinado.

Cronología: Solo visible en la foto de 1956.



Figura 14. Dolina 5.

Dolina 6

Situación: Antigua balsa de agua. Al sur de la A-68 y al este de la dolina 5.

Dimensiones: 25 x 25 m.

Morfología: Sin indicios de actividad, ligera depresión que antes albergaba agua.

Afecciones: Campos de cultivo ligeramente inclinados.

Cronología: Solo visible en la foto de 1956.

Dolina 7

Situación: Dolina situada entre varios campos de cultivo. Al norte de la dolina 6.

Dimensiones: 40 m de largo. Profundidad de 1 m.

Morfología: Flexión clara que indica una dolina extensa y amplia. Existencia de planta freatofitas que indican que el nivel freático está cercano a la superficie. La zona más deprimida tiene una anchura de 2,5 m y presenta una lámina de agua. Visible en la figura 15.

Afecciones: Campos de cultivo inclinados y flexionados. Vallas rotas.

Cronología: Solo visible en la foto de 1984, lo que indica que o bien fue rellenada para el cultivo y luego se ha reactivado o que es una dolina formada recientemente. Tasa de hundimiento de 3,2 cm/año.



Figura 15. Dolina 7.

Dolina 8

Situación: Dolina de grandes dimensiones cerca de la autovía A-68, en el cambio de dirección.

Dimensiones: 100 x 80 m. Profundidad de 70 cm.

Morfología: Dolina de grandes dimensiones con presencia de colapsos de 1,5 m de diámetro y 30 cm de profundidad que demuestran su actividad actual. Por el estado del terreno y las fotografías aéreas se puede deducir que fue rellenada en el pasado para cultivar. Actualmente abandonado.

Afecciones: Los muros de las viviendas situadas en la dolina presentan grietas desde milimétricas a centimétricas. Visible en la figura 16.

Cronología: En 1956 se reconoce como pequeña depresión de 114 metros de perímetro. Por el contrario, sus dimensiones aumentan considerablemente en la foto de 1984 hasta los 850 metros de perímetro. Tasa de hundimiento de 2,2 cm/año.



Figura 16. Dolina 8. Partes: a. Grietas milimétricas en la pared de un edificio situado dentro de la dolina en su margen Oeste. b. Colapso de 1.5 m de diámetro y 40 cm de profundidad en el margen de la dolina. c. Grietas centimétricas en un muro de una vivienda situada en la parte oriental de la depresión.

Dolina 9

Situación: Dolina en campo sin cultivar. Colindante a la autovía A-68, llegando a estar presente a ambos lados de la autovía, y por consiguiente, debajo de la calzada.

Dimensiones: 10 x 5 m. Profundidad de 1,2m

Morfología: Dolina de pequeñas dimensiones rellena de escombros. Ha ido creciendo hasta formar pequeños colapsos de entre 1 y 3 metros de diámetro y 30 cm de profundidad. La zona más deprimida se encuentra en el extremo de la autovía. La autovía se ve reparada, pero aun así está basculada hacia la dolina. Tras una entrevista con un agricultor se conoce la presencia de un antiguo manantial ocupado actualmente por plantas freatofitas y el cual ha sido tapado por la autovía. Se observa la flexión del campo y la autovía hacia el punto en el que se encontraba el manantial que coincide con el depocentro de la dolina (zona de mayor hundimiento) (Fig. 17).

Cronología: Solo visible en la foto de 1956 siendo posteriormente rellenada para la construcción de la autovía lo que permite obtener una tasa mínima de hundimiento de 2cm/año.



Figura 17. Dolina 9. Se observa la flexión de la autovía.

Dolina 10

Situación: Dolina situada al sur de la autovía A-68, cerca del límite municipal... Actualmente, se encuentra cubierta por edificaciones.

Dimensiones: Según la foto de 1956 presenta un radio de 15 m.

Morfología: Aparentemente no se detecta una dolina pero en las edificaciones de alrededor se detectan daños. Grietas desde milimétricas a centimétricas. Algunas grietas reparadas con yeso pero se han vuelto abrir. Esto es visible en la figura 18.

Afecciones: Grietas en las edificaciones próximas.

Cronología: Solo visible en la foto de 1956.



Figura 18. Dolina 10. Partes: a. Grietas milimétricas en la pared norte del edificio. b. Grietas centimétricas en un muro de otra vivienda al este de la vivienda anterior. c. Grieta reparada con yeso que se ha vuelto abrir de manera milimétrica. Fuente: elaboración propia.

Dolina 11

Situación: Dolina en campo de cultivo. Al sur de la autovía A-68 y al sur de la dolina

Dimensiones: 10 x 10 m.

Morfología: Ligera depresión circular en campo de cultivo.

Afecciones: Campo de cultivo inclinado.

Cronología: Solo visible en la foto de 1956.

En la comprobación posterior se corrobora que es una antigua balsa natural que ha podido ser rellenada. Luego se mantiene como dolina.

Dolina 12

Situación: Dolina en campo de cultivo. Al sur de la zona urbana residencial conocida como Setabia.

Dimensiones: 10 x 8 m.

Morfología: Ligera depresión en campo de cultivo.

Afecciones: Campo de cultivo inclinado.

Cronología: Solo visible en la foto de 1984.

En la comprobación posterior se corrobora que es una antigua depresión en un campo. Luego se mantiene como dolina.

Dolina 13

Situación: Dolina en campo de cultivo. Al sur de la zona urbana residencial conocida como Setabia. Al oeste de la dolina 12.

Dimensiones: 8 x 12 m. 30 cm de profundidad

Morfología: Ligera depresión circular en campo de cultivo.

Afecciones: Campo de cultivo inclinado. Tasa de hundimiento de 0.9 cm/año.

Cronología: Solo visible en la foto de 1984.

En la comprobación posterior se corrobora que es una antigua balsa natural que ha podido ser rellenada. Luego se mantiene como dolina.

Dolina 14

Situación: Dolina parcialmente edificada. Situada en el margen suroeste de la zona de estudio. Actualmente, la dolina se emplea para el cultivo, a excepción de su margen oriental en la que se ha edificado una granja.

Dimensiones: Desconocidas. Según las distintas fotografías aéreas presenta distintas dimensiones debido a su transformación del terreno. Alrededor de 200 metros de largo por 100 de ancho.

Morfología: Depresión cerrada de grandes dimensiones cubierta en su extremo norte de juncos. El nivel freático se encuentra próximo o incluso por encima de la superficie topográfica dando lugar a pequeñas charcas semicirculares de 7 m de diámetro. Los campos de cultivos muestran un leve basculamiento. Presencia de grietas en la infraestructura cercana. Las grietas son de milimétricas a centimétricas. En la figura 19 se puede observar las características descritas.

Afecciones: Grietas en edificaciones cercanas.

Cronología: Visible en la foto de 1956 y 1984.



Figura 19. Dolina 14. Partes: a. Grietas de milimétricas a centimétricas en un muro. b. Lámina de agua. c. Grietas centimétricas en el mismo muro.

Dolina 15

Situación: Pequeña laguna cercana al barrio de Setabia al norte de esta. Su topónimo es Balsa del Ojo del Fraile.

Dimensiones: superficie de 3,7 hectáreas.

Morfología: Dolina con lámina de agua con un cinturón de carrizo, teniendo alto valor ecológico. Este alto valor ecológico se debe a la gran cantidad de taxones que se localizan en esta balsa, existiendo prados juncales, carrizo y la presencia de *Cladium mariscus* (L.) Pohl. Los cultivos del alrededor están flexionados hacia la lámina de agua. Visible en la figura 20.

Afecciones: Campos de cultivos flexionados y la carretera presenta una leve inclinación.

Cronología: Visible en la foto de 1956 y 1984.



Figura 20. Dolina 15. Se observa la lámina de agua, la extensión de juncales y carrizo. Al fondo se observa la zona urbana de Setabia.

Dolina 16

Situación: Pequeña laguna cercana a la autovía A – 68. Su topónimo es la Charca de la Consejera. Se localiza junto a la Balsa del Ojo del Fraile.

Dimensiones: 10 x 10 m.

Morfología: Pequeña dolina con lámina de agua cubierta de vegetación freatofita. La charca está siendo recuperada para que vuelva a tener un valor ecológico. Posiblemente sea parte de la dolina 15. Visible en la figura 21.

Afecciones: Flexión de los campos de alrededor.

Cronología: Visible en la foto de 1956 y 1984.



Figura 21. Dolina 16. Se observa la vegetación freatofita.

Dolina 16

Situación: Dolina en campo de cultivo al norte de la autovía A-68 y de la dolina 9.

Dimensiones: 100 x 50 m. 30 cm de profundidad

Morfología: Pequeña dolina en campo de cultivo, mostrando una depresión en el centro del campo.

Afecciones: Campo de cultivo inclinado. Tasa de hundimiento de 0,9 cm/año.

Cronología: Visible en la foto de 1956.

Tras la comprobación con los otros documentos se ha observado una antigua depresión en la zona, luego se opta por dejar como dolina.

Dolina 17

Situación: Dolina edificada en parque municipal. Al norte del C.C. Alcampo Utebo.

Dimensiones: 10 x 10 m.

Morfología: Ligera depresión en la zona con césped. Presencia de socavones pequeños de unos 20 cm de diámetro. Grietas en edificaciones próximas de milímetros. Visible en la figura 22.

Afecciones: Grietas en edificaciones próximas, mal estado del césped.

Cronología: Visible en la foto de 1956 y 1984.



Figura 22. Dolina 17. Partes: a. Grietas de milimétricas en un muro. b. La grieta recorre todo el edificio. c. Visión general de la dolina. d. Socavón, de referencia se utiliza un cuaderno tamaño A4. Fuente: elaboración propia.

Dolina 18

Situación: Dolina edificada en el casco urbano de Utebo. Al norte del C.C. Alcampo Utebo y de la dolina 17.

Dimensiones: Desconocidas. Según la fotografía aérea presenta un radio de 11 metros siendo circular.

Morfología: Dolina edificada con indicios de actividad debido a la presencia de grietas. El edificio tiene una edad de 5 años. Visible en la figura 23.

Afecciones: Grietas en el edificio.

Cronología: Solo visible en la foto de 1984.



Figura 23. Dolina 18. Grieta de milimétrica a centimétrica. El cuaderno de referencia es tamaño A4. Fuente: elaboración propia.

Dolina 19

Situación: Dolina edificada en el casco urbano de Utebo. Al norte del C.C. Alcampo.

Dimensiones: Desconocidas. Según la fotografía aérea tiene un radio de 25 metros.

Morfología: Dolina edificada con indicios de actividad debido a la presencia de grietas en los muros. Algunas de las grietas han sido reparadas. Visible en la figura 24.

Afecciones: Grietas en los muros.

Cronología: Solo visible en la foto de 1984.



Figura 24. Dolina 19. Partes: a. Grietas reparadas. b. Grieta milimétrica que ha reaparecido sobre la reparación. Se usa como referencia un bolígrafo BIC Fuente: elaboración propia.

Dolina 20

Situación: Dolina rellena de escombros. Localizable en el recuadro un urbano de dentro de la zona urbana de Utebo, en el norte de este recuadro.

Dimensiones: 7 x 7 m.

Morfología: Dolina rellena de escombros, no hay signos de actividad pero los escombros son recientes. Visible en la figura 25.

Afecciones: No hay afecciones.

Cronología: Solo visible en la foto de 1984.

Tras la comprobación con los otros documentos se ha observado una antigua depresión en la zona, luego se opta por dejar como dolina.



Figura 25. Dolina 20. Fuente: elaboración propia.

Dolina 21

Situación: Dolina en campo de cultivo. Localizable en el recuadro un urbano de dentro de la zona urbana de Utebo, en el este del recuadro.

Dimensiones: 15 x 10 m. Profundidad de 25 cm.

Morfología: Dolina en campo de cultivo, mostrando una depresión en el centro del campo. Visible en la figura 26.

Afecciones: Campo de cultivo inclinado. Tasa de hundimiento de 0,96 cm/año.

Cronología: Solo visible en la foto de 1956.



Figura 26. Dolina 21. Fuente: elaboración propia.

Dolina 22

Situación: Dolina en polígono industrial. Al norte de la N – 232 y al sur del límites de terrazas.

Dimensiones: Desconocidas. Según las fotografías aéreas tiene unas dimensiones circulares de 7,5 metros de radio.

Morfología: Dolina edificada en el polígono industrial Presencia de una grieta que va desde milimétrica a centimétrica en una de las fachadas. Visible en la figura 27.

Afecciones: grieta en fachada de una nave.

Cronología: Solo visible en la foto de 1956.

Tras la comprobación con los otros documentos se ha observado una antigua depresión en la zona, luego se opta por dejar como dolina.



Figura 27. Dolina 22. Grieta milimétrica que recorre toda la fachada del edificio. Fuente: elaboración propia.

Dolina 23

Situación: Dolina posible rellena de escombros. Al sur de del límites de terrazas, cerca del límite municipal de Utebo al oeste.

Dimensiones: 12 x 12 m.

Morfología: dolina rellena de escombros, no hay signos de actividad debido a que los escombros son cementos.

Afecciones: posible afección a una acequia de riego.

Cronología: Solo visible en la foto de 1956.

Tras la comprobación con los otros documentos se ha observado una antigua depresión en la zona, luego se opta por dejar como dolina.

Dolina 24

Situación: Dolina en campo sin cultivar cerca de club de equitación. Al norte del límite entre terrazas y al oeste del límite municipal de Utebo.

Dimensiones: 8 m de diámetro, circular.

Morfología: Dolina en campo sin cultivar. Presencia de un socavón e unos 15 cm de profundidad y 50 cm de diámetro. El nivel freático es cercano. Visible en la figura 28.

Afecciones: Campo inclinado.

Cronología: Solo visible en la foto de 1984.



Figura 28. Dolina 24. Socavón y nivel freático cercano. Como referencia se usa un cuaderno tamaño A4.
Fuente: elaboración propia.

Dolina 25

Situación: dolina edificada en parque municipal. Al norte de las vías del tren.

Dimensiones: 5 x 5 m

Morfología: Ligera depresión en la zona con césped.

Afecciones: Mal estado del césped.

Cronología: Solo visible en la foto de 1956.

Dolina 26

Situación: Dolina en aparcamiento del campo de fútbol municipal. Al norte de las vías del tren y al oeste de a dolina 25.

Dimensiones: 15 x 15 m.

Morfología: Dolina rellena de gravas para crear un aparcamiento para el campo de fútbol municipal. Se detectan grietas en el muro del campo de fútbol que van desde milimétricas a centimétricas. Visible en la figura 29.

Afecciones: Grietas en el muro del campo de fútbol.

Cronología: Solo visible en la foto de 1956.



Figura 29. Dolina 26. Grieta centimétrica en el muro del estadio de futbol Santa Ana. Como referencia se usa un cuaderno tamaño A4. Fuente: elaboración propia.

Dolina 27

Situación: Dolina en el parque municipal “Parque Europa” de Utebo. Al norte de la N-232, al este del C.C. Alcampo Utebo.

Dimensiones: 20 m de diámetro, dolina circular.

Morfología: Dolina con lámina de agua utilizada como estanque del parque. Se ve una inclinación entera del parque hacia la dolina. Se detectan varias grietas de diversos tamaños en las infraestructuras del parque. También existen grietas en el hotel construido cerca. Se observan ondulaciones en el terreno cercano a la lámina de agua. Daños en las tuberías de la fuente del parque. Se observa que la dolina sigue hundiéndose, hundiéndose dentro del agua las estructuras cercanas. Visible en la figura 30.

Afecciones: Todas las infraestructuras y edificaciones cercanas están dañadas.

Cronología: Presente en ambas fotografías aéreas.



Figura 30. Dolina 27. Partes: a. Visión general de la dolina. b. Hundimiento de rocas decorativas de la dolina hacia el fondo. c. Grieta de gran tamaño en el suelo; de referencia se usa un bolígrafo BIC. d. Ondulaciones en el suelo debidas a la dolina. e. Reparaciones múltiples en los muros de las cercanías. Fuente: elaboración propia.

5.4. Mapa de susceptibilidad de dolinas en el Término Municipal de Utebo

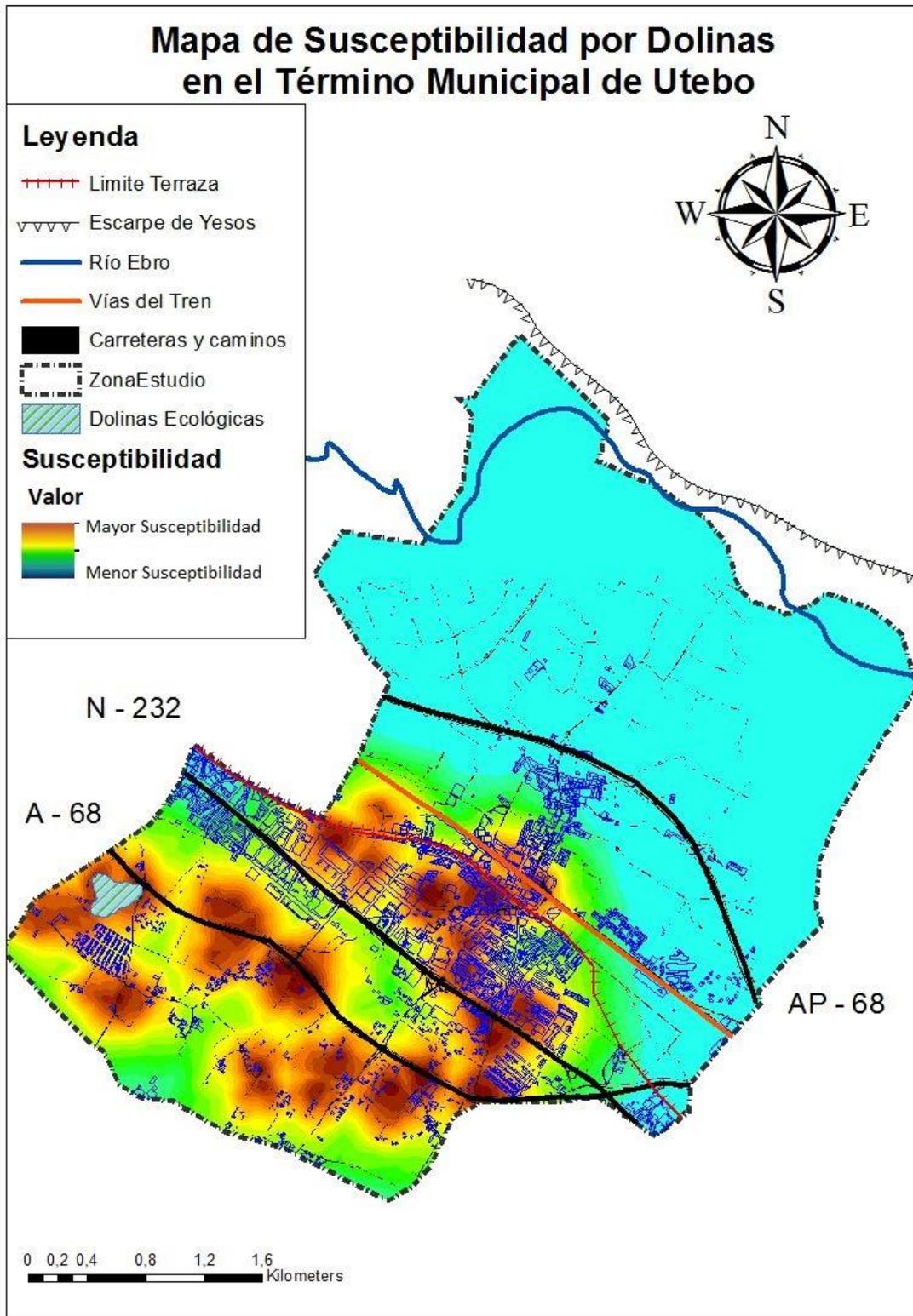


Figura 31. Mapa de Susceptibilidad de dolinas en el Término Municipal de Utebo.

El mapa de la figura 31 muestra la susceptibilidad del municipio de Utebo en base a una gradación de colores, siendo los tonos marrones u ocre los más susceptibles y los tonos azules los menos susceptibles. Las zonas más susceptibles se encuentran en la terraza T2 según se observa a través del límite de terraza en rojo. Concretamente en la zona del barrio de la Zona Nueva y en la zona de cultivos a sur del municipio.

Las infraestructuras como la autovía A-68, la carretera nacional N-232 y las vías del tren muestran valores altos de susceptibilidad. Estas tres infraestructuras se ven afectadas por las dolinas, lo que provoca varios daños como la flexión y el deterioro de la calzada en la autovía y carretera, aparición de socavones en las distintas infraestructuras, entre otros daños. Estos daños socioeconómicos, ya sea por la reparación de estas o por accidentes causados por los colapsos de las dolinas, llegan a ser muy graves (Guerrero et al, 2008).

Por otro lado, la zona con menor susceptibilidad es la zona localizada en la T1. En la cual solo se localizan 3 dolinas las cuales son muy cercanas al límite con la terraza T2. La superficie de las 27 dolinas es de 283949,28 m². De esas 27 dolinas 12 se localizan, enteras o parte de ellas, en la zona urbana; ocupando una superficie de 13531 m².

5.5. Resultados de las encuestas

Tabla 6. Resultados de la encuesta. Fuente: Elaboración propia

Pregunta	Si	No
1 - ¿Conoce alguno de los siguientes términos?	100	0
2 - ¿Conoce cómo se forman las dolinas?	83	27
3 - ¿Conoce distintos tipos de dolinas?	58	42
4 - ¿Las dolinas pueden producir daños socioeconómicos?	96	4
5 - ¿Se pueden prevenir estos daños?	87	13
6 - ¿Se pueden corregir o remediar los daños?	62	48
7 - ¿Conoce la existencia de dolinas en los alrededores de Utebo?	89	11
8 - ¿Conoce si su edificio está afectado o no?	41	59
9 - ¿Conoces alguna infraestructura afectada por las dolinas?	100	0
10 – Sobre el Parque Europa (Dolina 31); ¿Cómo la consideraría?	32	68

En cuanto a los resultados de las encuestas, se observa en la tabla 6 los resultados. En ellos se observa que la totalidad conoce alguno de los términos preguntados. En la pregunta sobre la formación de dolinas, gran parte de los encuestados conocen de manera simple como se forman. Respecto a la pregunta del conocimiento sobre distintos tipos de dolinas se han diferenciado en dos tipos, las que experimentan hundimientos lentos pero constantes (dolinas de flexión) y las que colapsan de manera súbita (dolinas de colapso). El resultado de la encuesta demuestra que 58 conocen la tipología de las dolinas mientras que 42 personas defienden que no hay diferentes dolinas.

En cuanto a si las dolinas pueden producir daños y si se puede prevenir, una amplia mayoría selecciona el sí Pero en si se puede corregir o remediar, esta mayoría baja. La forma de remediar más nombrada es la de relleno de las dolinas con cemento u hormigón, una práctica ineficaz, y que sólo aumenta la percepción de seguridad al pensar que el relleno es un remedio efectivo.

Las preguntas sobre si se conocen dolinas en los alrededores de Utebo y alguna infraestructura afectada responde una amplia mayoría sí; siendo el ejemplo de la Carretera de Logroño como infraestructura dañada por las dolinas.

Por otro lado, la mayoría no conoce con exactitud si su edificio ha sido construido en una dolina y consecuentemente, si éste está afectado o podría estarlo en un futuro próximo, sin saber cuáles son las fuentes de información a las acudir o en que se debe de fijar.

Por último, en la pregunta sobre la dolina del Parque Europa (dolina 27 en el apartado 5.3), 68 personas de los 100 encuestados han respondido que es un estanque artificial. Esto deja ver que se conoce las dolinas en la teoría, pero luego no se reconocen en la práctica, haciendo que la percepción sobre este riesgo natural sea meramente teórica y a nivel medio-bajo.

6. DISCUSIÓN

A partir de la fotografía aérea, estudio de mapas topográficos y campaña de campo se cartografiaron como dolinas seguras un total de 27 dolinas frente a las 127 cartografiadas en nuestro mapa previo. Esto se debe a que muchas de las dolinas se localizaban en campos de cultivo, y han sido rellenadas por los agricultores (Simón et al., 2009). Esta práctica no remedia el riesgo natural, debido a que el proceso de disolución es continuo y en consecuencia la dolina se sigue hundiendo de manera progresiva con el tiempo. Esto produce que el agricultor invierta mucho esfuerzo y dinero en rellenar la dolina periódicamente.

Otras dolinas han sido tapadas por suelo urbano, debido a la expansión del núcleo urbano de Utebo al sur de las vías (barrio Zona Nueva). Como consecuencia, el crecimiento de dichas dolinas produce daños a los edificios construidos encima de las dolinas. Como se observa en la figura 31, el único barrio con menos susceptibilidad de dolinas es el Casco Antiguo. Por consiguiente, toda la expansión poblacional de Utebo se ha establecido en zona susceptible de Dolinas.

La menor densidad de dolinas en la terraza T1 con respecto a la terraza T2 se debe a la dinámica fluvial del río Ebro, el cual periódicamente inunda la terraza T1 depositando los sedimentos en ella. Estos depósitos fluviales rellenan las dolinas, lo que hacen que sea difícil su visionado en caso de existencia.

Las 27 dolinas se tienen que considerar como un valor mínimo. Esto se debe a que como anteriormente se ha mencionado, muchas de las dolinas son rellenadas por agricultores o por el avance de la zona urbana. Otras son tan pequeñas que no se pueden reconocer a través de las fotografías aéreas o mapas topográficos, como se ha hecho en la metodología propuesta. Así, muchas de las dolinas probables cartografiadas en el mapa previo y descartadas posteriormente pueden ser realmente dolinas seguras.

En cuanto a las tasas de hundimiento, se han podido calcular las tasas de parte de las dolinas seguras, debido a que la otra parte presentaban grandes cambios antropogénicos. Las tasas varían desde los 4,8 cm/año hasta los 0,5 cm/año. Según Simón *et al.* (1998) en su trabajo clasificó las dolinas de mayor tasa de hundimiento en dos grandes grupos de dolinas (dolinas de muy alta peligrosidad y de alta peligrosidad) en el tramo desde corredor de la autovía de Logroño entre la autopista de circunvalación y el término municipal de Utebo. Las dolinas con muy alta peligrosidad presentaban tasas de hundimiento desde entre 2 a 10 cm/año mientras que las de peligrosidad alta variaban entre 1-2 cm/año. En base a

clasificación, las dolinas 2, 3, 7, 8 y 9 estarían incluidas en el grupo de dolinas con peligrosidad muy alta; mientras que las dolinas 1, 4, 13, 16 y 21 como dolinas con peligrosidad alta. Estos valores de hundimiento evidencian que las tasas de hundimiento calculadas en base a la salida de campo y las fotografías aéreas coinciden con las de otros trabajos y que el hundimiento de la superficie puede ser muy rápido.

Desafortunadamente, las dolinas que entrarían en la clasificación de peligrosidad muy alta son aquellas que afectan a las infraestructuras y especialmente a la autovía A-68 y la carretera Logroño. Las dolinas 3, 4, 8, 9 y 15 son las que afectan a la autovía A-68. Las tasas de hundimiento de estas dolinas van desde los 2,6 a los 1,9 cm/año. Estas tasas producen un gran deterioro de la autovía, llegándose a observar grietas en la calzada, y flexiones de los carriles. Estos daños pueden llegar a ser admisibles desde el punto de vista económico, debido a que se pueden ir arreglando los desperfectos. En cambio, estos daños pueden provocar daños humanos causando accidentes mortales.

Para minimizar estos daños se puede optar por usar medios de alarma y monitorización los cuales permiten prevenir los daños. Otro método para evitar accidentes por colapsos es la utilización de geotextiles, tal y como describe Galve *et al.* (2012). Un geotextil es una membrana flexible de plástico con una elevada resistencia la corte que impide el colapso súbito de la carretera a favor de una flexión continuada lo que permite repararla evitando accidentes mortales.

El mapa de susceptibilidad creado en la figura 31 se puede comparar con otros trabajos anteriores sobre el mismo tema. En el mapa de susceptibilidad por colapsos (dolinas) elaborado por el Gobierno de Aragón (Cobos *et al.*, 2011) describe el municipio de Utebo con una susceptibilidad alta en todo su superficie. El nivel alto significa que existen indicios de que la formación de dolina es muy probable. Su metodología se basa en la utilización de datos geológicos e indicios históricos a partir de artículos científicos. En nuestro mapa de susceptibilidad (figura 31) se observa que la mitad del municipio tiene una susceptibilidad alta, en cambio el terreno restante no presenta indicios ni en fotos aéreas ni en la campaña de campo. La mayor precisión de nuestro mapa de susceptibilidad se debe a la metodología seguida con una revisión temporal de fotografías, campaña de campo y entrevistas a agricultores con el fin de localizar el mayor número de dolinas.

Por otro lado, existe un mapa de hundimientos proporcionado por el Plan Territorial de Protección Civil de Aragón. Este mapa es de carácter general y fue elaborado en marzo de 2014 (Gobierno de Aragón, 2014). En él aparece la totalidad del municipio de Utebo con

peligrosidad alta e incluso muy alta. Ocurre lo mismo que en el anterior caso, este es un mapa general mientras que el realizado en este Trabajo Fin de Grado es un mapa de detalle, siendo más preciso y de mejor calidad.

7. PROPUESTA AL AYUNTAMIENTO DE UTEBO

En el Ayuntamiento de Utebo ha sido avisado de la elaboración de este trabajo por si lo necesitan consultar a la hora de realizar nuevas expansiones. El actual Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) fue aprobado en 1990 (Ayuntamiento de Utebo, 2015), y solo ha sufrido modificaciones puntuales a lo largo del tiempo. El problema actual es que el PGOU se encuentra en las últimas fases de él, estando las últimas secciones en construcción. La situación actual se expone a través de la figura 32, siendo esta figura un mapa general del PGOU de Utebo, cedido por el Ayuntamiento.



Figura 32. Mapa del PGOU de Utebo. Fuente: Ayuntamiento de Utebo.

En la figura 32 se exponen todas las parcelas urbanizables de Utebo donde los recuadros grises son Suelo Industrial; en azul el suelo industrial no ejecutado, el en cual se ha indicado que ya hay proyectos en ejecución e incluso algunas secciones ya acabadas.

En blanco, anaranjado y verde son los distintos tipos de suelo urbano y suelo urbanizable, pero en la entrevista en el ayuntamiento se ha señalado que todas las secciones están ya construidas o con proyectos de futuro próximo.

Esto hace que en un futuro se tenga que realizar un segundo PGOU con nuevas expansiones. Luego el presente trabajo contribuirá a la elaboración de dicho PGOU.

Como se puede observar, el PGOU no tenía en cuenta el riesgo natural que suponen las dolinas, ya que se ha urbanizado encima de algunas dolinas. Al ayuntamiento se le realiza una propuesta que va orientada sobre dos líneas: una línea de investigación y otra de educación.

En la línea de investigación se propone un estudio detallado del territorio del municipio de Utebo y alrededores para poder incorporar como seguras aquellas dolinas probables que fueron descartadas en el análisis final. En el caso de que se encontraran nuevas dolinas seguras el mapa de susceptibilidad aumentaría su precisión y algunas zonas consideradas en nuestro análisis como no susceptibles pasarían a tener un rango mayor de susceptibilidad.

El estudio permitiría obtener una base de datos completa sobre este riesgo natural para elaborar el siguiente PGOU evitando ocupar las zonas susceptibles por dolinas.

En la línea educativa se proponen la realización de talleres en las escuelas o espacios lúdicos para dar a conocer al mayor número de habitantes el fenómeno de la subsidencia y el desarrollo de dolinas y como convivir con ellas. Estas propuestas se han realizado debido a los datos desprendidos por la encuesta realizada, los cuales dicen que pocos habitantes conocen que son las dolinas, cómo se forman y evolucionan. A su vez se proponen poner paneles informativos en aquellas dolinas más importantes registradas.

8. CONCLUSIONES

Tras la realización del mapa y las encuestas para conocer la susceptibilidad y percepción de las dolinas en el municipio de Utebo, se obtienen las siguientes conclusiones.

1 - Utebo está en una localización susceptible a la aparición de dolinas, situándose en una zona de yesos, la existencia de un flujo de agua por parte del aluvial del Ebro, el regadío de los campos del cultivo, y una actividad antrópica que altera la dinámica natural de las dolinas.

2 – Se han localizado un total de 127 dolinas probables a partir de las fotos aéreas de 1956 y 1984. De ellas, el estudio de mapas antiguos, entrevistas y reconocimiento de campo permiten cartografiar 27 dolinas seguras en el término municipal de Utebo. No obstante, este valor debe ser considerado como un mínimo puesto que muchas de las dolinas descartadas han sido rellenadas por agricultores y ocupadas por la expansión urbana de Utebo.

3 – Aproximadamente 48 % del término es susceptible a las dolinas según el mapa elaborado en la figura 31.

4 – Toda la expansión de Utebo, incluyendo los barrios de Malpica y Setabia, se han situado en zonas de susceptibilidad alta o muy alta a la formación de dolinas. A su vez, las infraestructuras y especialmente la A-68 y N-232 presentan numerosos puntos de su trazado en zonas de muy alta susceptibilidad como demuestran los daños ocasionados por las dolinas y reconocidos en campo.

5 – La percepción local es teórica a un nivel medio-básico, debido a que no se reconocen algunas dolinas como la que está situada en el Parque Europa de Utebo.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Kouri, O., Al-Fugara, A., Al-Rawashdeh, S., Sadoun, B., Pradhan, B. (2013). Geospatial modeling for sinkholes hazard map based on GIS & RS data. *Journal of Geographic Information System*, 5, pp. 584-592.
- ArcGis Resource Center, 2015. [Fecha de consulta: 5 de agosto de 2015]. Disponible en: <http://resources.arcgis.com/>
- Ayuntamiento de Utebo, 2015 [en línea] [Fecha de consulta: 5 de agosto de 2015]. Disponible en: <http://utebo.es/>
- Barnolas, A. y Robador, A. 1991. Alagón. [mapa geológico]. Madrid: IGME. Instituto Geológico y Minero. Mapa Geológico de España, MAGNA, hoja 354 27-14. Escala 1:50.000. Proyección y Cuadrícula UTM. Elipsoide Internacional. Huso 30.
- Beck BF (2004) Soil piping and sinkhole failures. In: White WB (eds). *Encyclopedia of caves*. Elsevier, Nueva York, pp. 523–528
- Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire (CECAF), 2015.
- Centro Geográfico del Ejército, 2015
- Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), 2015 [Fecha de consulta: 5 de agosto de 2015]. Disponible en: <http://www.chebro.es/>
- Díaz de Rada, Vidal (2005): Manual de trabajo de campo en la encuesta. Madrid, Centro de Investigaciones Sociológicas.
- Durán Valseiro, J. J. (2002). Riesgos en terrenos kársticos. En F. J. Ayala-Carcedo y J. Olcina Cantos (coords.), *Riesgos Naturales* (pp. 365-378). España: Ariel Ciencia.
- Galve J., Gutiérrez F., Guerrero J., Alonso J., Diego I., 2012. Optimizing the application of geosynthetics to roads in sinkhole-prone areas on the basis of hazard models and cost-benefit analyses. *Geotextiles and Geomembranes*, 32, pp. 80-92.
- Gobierno de Aragón, 2014. *Mapa de hundimientos del Plan territorial de protección civil en Aragón*.
- Gobierno de Cantabria, 2009. *Manuales nº 6: Manual para la elaboración de encuestas: Diseño, ejecución y tratamiento de los datos*. Torrelavega: CIMA. Centro de Investigación del Medio Ambiente.
- Guerrero J., Gutiérrez F., Bonachea J. y Lucha P. (2008), A sinkhole susceptibility zonation based on paleokarst analysis along a stretch of the Madrid–Barcelona high-speed railway built over gypsum- and salt-bearing evaporites (NE Spain). *Engineering Geology*, 102, pp. 62-73.

- Gutiérrez F. (2009). Hazards associated with karst. *Geomorphological Hazards and Disaster Prevention*, pp. 161-175. Irasema Alcántara-Ayala and Andrew S. Goudie. Publicado por Cambridge University Press.
- Gutiérrez F., Guerrero j. y Lucha P. (2008). A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporite paleokarst exposures in Spain. *Environmental Geology*, 53, pp. 993–1006.
- Gutiérrez, F., Galve, J. P., Lucha, P. et al. (2009). Investigation of a large collapse sinkhole affecting a multi-storey building by means of geophysics and the trenching technique (Zaragoza city, NE Spain). *Environmental Geology*, in press.
- Infraestructura de datos Espaciales de Aragón (IDEAragón), 2015 [Fecha de consulta: 5 de agosto de 2015]. Disponible en: <http://idearagon.aragon.es/>
- Instituto Aragonés de Estadística, 2015 [en línea] [Fecha de consulta: 5 de agosto de 2015]. Disponible en: <http://www.aragon.es/iaest>
- Instituto Geográfico Nacional de España (IGN), 2015 [Fecha de consulta: 5 de agosto de 2015]. Disponible en: <http://www.ign.es/>
- Marinos, P. G. (2001). Tunnelling and mining in karstic terrain: an engineering challenge. In B. F. Beck and J. G. Herring (eds.), *Proceeding of the Eighth Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst*. Rotterdam: Balkema, pp.3–16.
- Milanovic, P. (2002). The environmental impacts of human activities and engineering constructions in karst regions. *Episodes*, 25,13–21.
- Milanovic, P. T. (2000). *Geological Engineering in Karst*. Belgrade: Zebra.
- Pepe, P., Pentimone, N., Garziano, G. (2013). Lessons learned from occurrence of sinkholes related to man-made cavities in a own of southern Italy. *13th Sinkhole Conference*, pp. 393-402.
- Simón, J.L.; Soriano, M.A.; Arlegui, L.; Caballero, J.; Gracia, J.; Salvador, T. Y Sicilia, E. (1998). *Estudio de riesgo de hundimientos kársticos en el corredor de la carretera de Logroño*. Informe inédito. Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza.
- Simón J. L., Soriano M^a A., Pocoví A., Arlegui L. E., Casas A. M., Liesa C. L., Luzón A., Pérez A., Pueyo O.; Pueyo E., Mochales T.; Gracia Fco. J., y Ansón D. (2009) Riesgo de subsidencia kárstica en áreas urbanas: el caso de Zaragoza. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 17 (3), pp. 303-315.
- Williams P (2003) Dolines. In: Gunn J (ed) *Encyclopedia of caves and karst science*. Taylor and Francis Group, NY, US, pp. 304–310.

10. ANEXO: ENCUESTA SOBRE LA PERCEPCIÓN LOCAL

1 - ¿Conoce alguno de los siguientes términos?

- Sima. Dolina. Ojo de Agua. Balsa Natural. Colapso.

2 - ¿Conoce cómo se forman las dolinas?

- Si. No.

3 - ¿Conoce distintos tipos de dolinas?

- Si. No.

4 - ¿Las dolinas pueden producir daños socioeconómicos?

- Si. No.

5 - ¿Se pueden prevenir estos daños?

- Si. No.

6 - ¿Se pueden corregir o remediar los daños?

- Si. No.

7 - ¿Conoce la existencia de dolinas en los alrededores de Utebo?

- Si. No.

8 - ¿Conoce si su edificio está afectado o no?

- Si. No.

9 - ¿Conoces alguna infraestructura afectada por las dolinas?

- Si. No.

10 – Sobre el Parque Europa; ¿Cómo la consideraría?

