



DIGITALAGRI

MASTER EN TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN
EL SECTOR AGROALIMENTARIO Y FORESTAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A
PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO**

*AUTOMATIC IDENTIFICATION OF GULLIES FROM
DIGITAL TERRAIN MODELS*

Alumno: José Javier Guerrero Criado

Directores:

Adolfo Peña Acevedo

Antonio Hayas López

Fecha: septiembre 2023

AGRADECIMIENTOS

Cuando tomé la decisión de realizar este trabajo, por mi cabeza solo rondaban las formas en las que podría acabar con aquella brecha que desde hace años parte el olivar familiar. La Finca de los Cantillos, ubicada en Montalbán de Córdoba es un olivar centenario de hojiblanca, en el cual se pueden ver como los olivos que llevan décadas engrosando sus troncos y extendiendo sus raíces en busca de agua y nutrientes, hoy se aferran con fuerza a unos taludes que año tras año se alejan más, dejando a muchos de ellos sin el abrigo y el alimento que el suelo les proporciona. Sin embargo, muchos agricultores olvidan su importancia, relegando a las cárcavas a actuar como simples lindes que pierden el interés de los que se sitúan a ambos lados.

Cuando terminé este trabajo la sensación fue muy diferente a la que me imaginé, pues además de haber concluido este máster que finaliza una etapa que ya se había mezclado con otra que da paso a mi siguiente formación universitaria, me ha permitido adentrarme en el profundo universo de la programación, en el que he podido comprobar como para cualquier problema real puede diseñarse una solución, tan solo sabiendo manejar un lenguaje de programación y conociendo las relaciones que existen entre las variables que definen dicho problema.

Gracias en primer lugar a mis directores de TFM, Adolfo y Antonio, que me brindaron la oportunidad de desarrollar este trabajo. A la Cátedra de Innovación Agraria y Alimentaria Caja Rural del Sur - Universidad de Córdoba, por la financiación del período de prácticas y aprendizaje en torno a este tema y por supuesto a su directora, mi querida Campi. Gracias a mi familia y en concreto a mis padres y a mis abuelos, que han sabido inculcar en mí la pasión por el campo, el mundo rural y el cultivo del olivar. Y por último gracias a mi pareja, que me ha transmitido todo su conocimiento informático con la misma pasión con la que me ha apoyado día a día para sacar este trabajo adelante. Gracias Fran.

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo del Proyecto de investigación orientado a los retos de la sociedad “ CARCAVA. Influencia Climática y Agronómica en la formación y evolución de la Red de CARCAVAS en la campiña Andaluza ”, financiado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Junta de Andalucía.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | 7 |
| ABSTRACT | 8 |
| 1 INTRODUCCIÓN | 10 |
| 1.1 IMPORTANCIA DE LA EROSIÓN EN EL SUELO | 10 |
| 1.2 EROSIÓN HÍDRICA POR FORMACIÓN DE CÁRCAVAS | 12 |
| 1.2.1 Modelización de la erosión por cárcavas..... | 13 |
| 1.2.2 Extracción de los atributos de una cuenca a partir de Modelos Digitales del Terreno | 16 |
| 1.2.3 Determinación de cárcavas mediante algoritmos de clasificación | 17 |
| 1.2.4 Necesidad de implementar una nueva herramienta para la identificación automática de cárcavas..... | 18 |
| 2 OBJETIVOS | 20 |
| 3 MATERIALES Y MÉTODOS | 21 |
| 3.1 DATOS DE PARTIDA..... | 21 |
| 3.1.1 Descarga y descripción de los productos MDT utilizados. | 21 |
| 3.2 CORRECCIÓN DEL MDT | 22 |
| 3.3 PROGRAMA PARA LA IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS. LENGUAJE PYTHON Y LIBRERÍAS UTILIZADAS..... | 22 |
| 3.3.1 NumPy..... | 23 |
| 3.3.2 Rasterio | 24 |
| 3.3.3 Fiona | 24 |
| 3.3.4 Matplotlib.pyplot | 24 |
| 3.3.5 PIL | 24 |
| 3.4 PROGRAMA PARA LA IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS. FUNDAMENTO Y DESCRIPCIÓN. | 25 |
| 3.5 PROGRAMA PARA LA IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS. DESARROLLO DEL PROGRAMA. | 31 |
| 3.5.1 Determinación del MDT de la parcela | 32 |
| 3.5.2 Subrutina DIRECCIONES..... | 32 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5.3 Subrutina CUENCA..... | 34 |
| 3.5.4 Subrutina REDDESA | 38 |
| 3.5.5 Subrutina NUDRED | 41 |
| 3.5.6 Subrutina ANRED..... | 44 |
| 3.5.7 Subrutina LATRED..... | 45 |
| 3.5.8 Subrutina CUENCANAL | 46 |
| 3.5.9 Filtrado de la Tabla Canales..... | 47 |
| 3.5.10 Subrutina INDCANAL..... | 48 |
| 3.5.11 Subrutina CARCAVAS..... | 49 |
| 3.6 MÉTODO DE FOTOINTERPRETACIÓN DE CÁRCAVAS..... | 52 |
| 3.6.1 Datos de partida..... | 53 |
| 3.6.2 Metodología | 53 |
| 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 55 |
| 4.1 IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE LA RED DE CÁRCAVAS DE UNA FINCA..... | 55 |
| 4.1.1 Selección de la finca de estudio..... | 55 |
| 4.1.2 Obtención y corrección de los MDT..... | 58 |
| 4.1.3 Obtención del MDT de la parcela..... | 59 |
| 4.1.4 Determinación de las direcciones de vertido (matriz idf)..... | 59 |
| 4.1.5 Determinación de las cuencas que vierten a través de la parcela en estudio | 62 |
| 4.1.6 Determinación de la red de canales | 64 |
| 4.1.7 Caracterización de la red de cárcavas obtenida mediante identificación automática | 69 |
| 4.1.8 Comparación entre la red de cárcavas obtenida mediante identificación automática y mediante fotointerpretación directa..... | 72 |
| 5 CONCLUSIONES..... | 78 |
| 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 79 |
| 7 ANEXOS..... | 88 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| FIGURA 3.1 ASIGNACIÓN NUMÉRICA DE LAS DIRECCIONES DE VERTIDO DESDE LA CELDA CENTRAL "C" MEDIANTE EL ALGORITMO D8. | 26 |
| FIGURA 3.2 PROCEDIMIENTO DE RECORRIDO DE UN PATRÓN DE FLUJO (PEÑA, 1997)..... | 27 |
| FIGURA 3.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS | 31 |
| FIGURA 4.1 SITUACIÓN Y DETALLE DE LA PARCELA SOBRE EL T.M. DE JAÉN..... | 55 |
| FIGURA 4.2 LOCALIZACIÓN DE LA PARCELA RESPECTO A LA RED DE CARRETERAS Y A LA RED HIDROGRÁFICA | 56 |
| FIGURA 4.3 LÍMITES DE LA PARCELA SOBRE EL MAGNA 50. LEYENDA: AMARILLO: MARGAS BLANCAS Y ARENOSAS (ALBARIZAS). OCRE: ALTERNANCIA DE ARENAS, ARENISCAS CALCÁREAS, ARCILLAS Y MARGAS | 57 |
| FIGURA 4.4 LÍMITES DE LA PARCELA SOBRE EL MAPA DE GOOGLE SATELLITE HYBRID..... | 57 |
| FIGURA 4.5 LÍMITES DE LA PARCELA SOBRE EL MDT DE LA HOJA 0926 CON PASO DE MALLA DE 5 X 5 M | 58 |
| FIGURA 4.6 LÍMITES DE LA PARCELA SOBRE EL MDT DE LA HOJA 0926-3 Y 0926-4 CON PASO DE MALLA DE 2 X 2 M | 59 |
| FIGURA 4.7 MATRIZ "IDF" OBTENIDA A PARTIR DEL MDT CON CELDAS DE 5 X 5 M. DETALLE DE LA PARCELA DE ESTUDIO | 60 |
| FIGURA 4.8 MATRIZ "IDF" OBTENIDA A PARTIR DEL MDT CON CELDAS DE 2 X 2 M. DETALLE DE LA PARCELA DE ESTUDIO | 60 |
| FIGURA 4.9 CARRETERA JV-3012 SEGÚN RESOLUCIÓN DEL MDT. A. CARRETERA SOBRE GOOGLE SATELLITE HYBRID. B. MATRIZ "IDF" A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 5 X 5 M. C. MATRIZ "IDF" A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 2 X 2 M. | 61 |
| FIGURA 4.10 MATRIZ "CUENCAS" EN FORMATO RÁSTER. A. MATRIZ "CUENCAS" A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 5 X 5 M. B. MATRIZ "CUENCAS" A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 2 X 2 M. | 62 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 4.11 CUENCAS EN FORMATO VECTORIAL SOBRE ORTOFOTO DE GOOGLE SATELLITE HYBRID A. A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 5 X 5 M. B. A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 2 X 2 M. | 63 |
| FIGURA 4.12 A. RED DE CANALES EN FORMATO RÁSTER. A. A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 5 M. B. A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 2 M. | 65 |
| FIGURA 4.13 CANALES FILTRADOS SEGÚN ORDEN HORTONIANO SOBRE CUENCAS. A. A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 5 M. B. A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 2 M. | 66 |
| FIGURA 4.14. LÍMITE OESTE DE LA PARCELA SOBRE ORTOFOTO DE GOOGLE SATELLITE HYBRID. A Y B. DETALLE DE LAS CUENCAS Y CÁRCAVAS OBTENIDAS A PARTIR DE MDT DE 5 M DE PASO DE MALLA. C Y D. DETALLE DE LAS CUENCAS Y CÁRCAVAS OBTENIDAS A PARTIR DE MDT DE 2 M DE PASO DE MALLA. | 67 |
| FIGURA 4.15. RED DE CÁRCAVAS, DIVISORIAS DE CUENCAS Y RED VIARIA EN LA ZONA ESTE DE LA PARCELA SOBRE ORTOFOTO DE GOOGLE SATELLITE HYBRID. A. A PARTIR DE MDT DE 2 M DE PASO DE MALLA. B. A PARTIR DE MDT DE 5 M DE PASO DE MALLA. | 68 |
| FIGURA 4.16. SOBRE ORTOFOTO DE GOOGLE SATELLITE HYBRID. A. LÍMITES DE LA PARCELA Y RED DE CÁRCAVAS OBTENIDA A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 5 M. B. LÍMITES DE LA PARCELA Y RED DE CÁRCAVAS OBTENIDA A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 2 M. | 69 |
| FIGURA 4.17. SOBRE ORTOFOTO DE GOOGLE SATELLITE HYBRID. A. LÍMITES DE LA PARCELA, CUENCA EN ESTUDIO Y RED DE CÁRCAVAS DE LA MISMA OBTENIDA A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 5 M. B. LÍMITES DE LA PARCELA, CUENCA EN ESTUDIO Y RED DE CÁRCAVAS DE LA MISMA OBTENIDA A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 2 M. | 73 |
| FIGURA 4.18. CUENCA EN ESTUDIO Y RED DE CÁRCAVAS SOBRE ORTOFOTO DE GOOGLE SATELLITE HYBRID. A. IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 5 M. B. IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA A PARTIR DE MDT CON PASO DE MALLA DE 2 M. C. FOTOINTERPRETACIÓN DIRECTA SOBRE ORTOFOTO. | 74 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| TABLA 4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE CÁRCAVAS OBTENIDA A PARTIR DEL MDT DE 5 M DE PASO DE MALLA..... | 70 |
| TABLA 4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE CÁRCAVAS OBTENIDA A PARTIR DEL MDT DE 2 M DE PASO DE MALLA..... | 71 |
| TABLA 4.3. CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE CÁRCAVAS DE UNA CUENCA OBTENIDA A PARTIR DE LOS MDT DE 5 Y 2 M DE PASO DE MALLA Y MEDIANTE FOTOINTERPRETACIÓN DIRECTA. | 75 |
| TABLA 7.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS CÁRCAVAS QUE COMPONEN LA RED OBTENIDA A PARTIR DEL MDT DE 5 M DE PASO DE MALLA. | 88 |
| TABLA 7.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS CÁRCAVAS QUE COMPONEN LA RED OBTENIDA A PARTIR DEL MDT DE 2 M DE PASO DE MALLA. | 99 |

Identificación Automática de Cárcavas a partir de Modelos Digitales del Terreno

José Javier Guerrero Criado

Directores:

Adolfo Peña Acevedo

Antonio Hayas López

Resumen

La erosión hídrica por cárcavas es una de las principales amenazas que sufren los sistemas agrícolas, afectando directamente a la salud y la funcionalidad del suelo. Concretamente, este fenómeno, que se agrava año tras año por los efectos del cambio climático y la intensificación de la agricultura, afecta a muchos olivares del sur de España, en los cuales dificulta el desarrollo de las operaciones agrícolas y favorece la pérdida de suelo y plantaciones. Para paliar sus efectos, los agricultores pueden implantar una serie de medidas de control y corrección, descritas en multitud de manuales técnicos, aunque para ello necesitan conocer la localización de dichas redes de cárcavas.

En las pasadas décadas se ha trabajado intensamente en la modelización de la erosión hídrica, pero la mayoría de los modelos desarrollados no contemplan la erosión por formación de cárcavas. Además, aquellos que se han desarrollado con el objetivo de planificar dichas redes, o bien se han basado en la fotointerpretación directa sobre ortofotos, que dependen de la subjetividad del fotointerpretador, o funcionan mediante aprendizaje automático, ignorando la conectividad hidrológica de la red y siendo válidos solo en sus zonas de entrenamiento. No obstante, otros modelos basados en umbrales topográficos calculados a partir de datos de elevación arrojan resultados bastante prometedores, pero aún no permiten planificar de forma integral la red de cárcavas de una finca y dimensionar sus estructuras de control y corrección.

Por estas razones, se plantea como objetivo desarrollar una herramienta digital que permita, a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT) de una finca, identificar su red de cárcavas y proponer medidas de control y corrección, en base a la topología de la red.

Para satisfacerlo se desarrolló un programa que parte del archivo vectorial de la parcela y de los datos de elevación de la zona, disponibles en fuentes públicas en forma de MDT. En dicho programa se utiliza el Algoritmo D8 para calcular la dirección de vertido de cada punto del terreno y se automatiza el Algoritmo de Barrido en Árbol para adaptar el programa a nivel de parcela, identificando las cuencas que componen su área vertiente y calculando los valores de área acumulada en cada punto del terreno. Posteriormente, fijando un valor de área acumulada como un umbral topográfico, se determinan la red de cárcavas de cada cuenca y se dimensionan las estructuras de control y corrección necesarias.

Como caso de estudio, la herramienta diseñada se aplicó sobre una finca real, ubicada en el término municipal de Jaén, utilizando dos MDT con distinta resolución. Los resultados obtenidos mostraron que, en ambos casos, se logró planificar de forma detallada la red de cárcavas que discurre por la parcela. No obstante, el MDT de menor tamaño de celda identificó ciertos elementos del terreno con mayor precisión, adaptando mejor la red de cárcavas obtenida a la realidad del terreno. Además, en comparación con la fotointerpretación directa sobre ortofoto, esta nueva herramienta determinó una red de cárcavas más completa y precisa, al depender únicamente de un umbral topográfico que también permitió identificar las zonas del terreno hacia donde se producirá el avance de las cabeceras de las cárcavas si no se aplican las medidas preventivas y de control y corrección necesarias, calculadas también por esta herramienta digital.

Palabras clave: Erosión, cárcavas, Modelos Digitales del Terreno.

Abstract

Hydrological erosion performed by gullies represents a significant threat to agricultural systems, directly impacting soil health and functionality. Specifically, this phenomenon, aggravated year after year due to the effects of climate change and the intensification of agriculture, affects many olive groves in southern Spain, where it hinders the development of agricultural operations and favours the loss of soil and crops. To mitigate these effects, farmers can implement a series of control and correction measures described in numerous technical manuals, although to do so, there is a need for knowing the locations of these gully networks.

Over the past decades, significant efforts have been dedicated to modelling hydrological erosion, yet most of these models do not consider gully erosion. Furthermore, models developed with the aim of planning such networks have either been based on direct photo-interpretation from orthophotos, which is subject to subjectivity of the interpreter, or have employed machine learning methods, ignoring the hydrological connectivity of the network and only being valid within the different areas used to train the model. Nevertheless, other models based on topographic thresholds calculated from elevation data have shown promising results, but still do not allow for comprehensive planning of the gully network within a property and the dimensioning of its control and correction structures.

For these reasons, the objective of this project is to develop a digital tool that, based on the Digital Terrain Model (DTM) of a property, can identify its gully network and propose control and correction measures based on the network's topology.

To achieve this goal, a program was developed using the vector file of the property and elevation data from the area, available from public sources in DTM. The program utilizes the D8 Algorithm to calculate the flow direction of each point on the terrain and automates the Tree Traversal Algorithm to adapt the program to the parcel level, identifying the watersheds that compose its contributing area and calculating the accumulated area values at each point on the terrain. Subsequently, by setting an accumulated area value as a topographic threshold, the gully network of each watershed is determined, and the necessary control and correction structures are dimensioned.

As a case study, the designed tool was applied to a real property located in the municipality of Jaén, using two DTMs with different resolutions. A detailed gully network plan was successfully developed for the property in both cases. However, the DTM with a smaller cell size identified certain terrain elements with greater precision, better adapting the gully network to the actual terrain. Furthermore, compared to direct photo interpretation from orthophotos, this new tool determined a more comprehensive and accurate gully network, relying only on a topographic threshold that also allowed the identification of areas where gully head advancement will occur if preventive and control and correction measures are not applied, also calculated by this digital tool.

Keywords: Erosion, gullies, Digital Terrain Models.

1 Introducción

El suelo es el recurso natural sobre el que se sustentan la mayoría de los ecosistemas terrestres. A pesar de ello, en comparación con el marco temporal que ocupa la vida humana, el suelo es considerado un recurso no renovable por su lenta formación a partir de las rocas y minerales que constituyen su material parental, frente a los procesos degradativos como la erosión, que puede sufrir el suelo como consecuencia de la agricultura y de la actividad humana (García-Ruiz et al., 2013).

De forma concreta, el suelo alberga más del 25% de la biodiversidad global, incluyendo una multitud de organismos que soportan el desarrollo de la actividad agrícola sobre el suelo y hacen que esta se lleve a cabo de una manera más sostenible desde el punto de vista medioambiental (*La biodiversidad de los suelos es ignorada, pero es fundamental para alimentar al planeta / Noticias ONU, 2020*). Sobre esta biodiversidad residen gran parte de los motivos por los que la agricultura, además de proporcionar alimentos y materias primas, desempeña un papel crucial en la regulación del ciclo del agua y de nutrientes, como el carbono, incrementando la funcionalidad y la salud del suelo (*Suelos Sanos / Comisión europea, 2023*).

No obstante, en los últimos años se ha comprobado cómo entre el 60 y el 70% de los suelos en Europa no gozan de una correcta salud, debido a su degradación, que es consecuencia directa de la erosión (Pennock, 2019), así como de la intensificación de la actividad agrícola y de procesos como la desertificación, salinización y sellado, que se han visto acelerados por la acción del cambio climático.

1.1 Importancia de la erosión en el suelo

La pérdida de suelo por erosión es una de las principales preocupaciones a nivel europeo, según indica la Estrategia Temática sobre los Suelos de la Comisión Europea (Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones - Estrategia temática para la protección del suelo [SEC(2006) 620] [SEC(2006) 1165], 2006). Esto se debe fundamentalmente a la erosión hídrica del suelo, y principalmente a la erosión por cárcavas, entre cuyos efectos

destacan la pérdida de fertilidad del suelo y productividad de los cultivos agrícolas (Torri et al., 2018), la aceleración de la degradación de la cubierta vegetal y la disminución de la regulación natural de las aguas, que contribuye a la colmatación de los embalses (Haregeweyn et al., 2006), a la pérdida de la calidad del agua potable (Owens et al., 2005), a las inundaciones de lodo (Verstraeten y Poesen, 1999) y a la eutrofización, teniendo como consecuencia una reducción de la biodiversidad del suelo y del stock de carbono (Poesen et al., 2006).

Las razones mencionadas justifican sobradamente la incorporación de la erosión hídrica, hace escasos años, en la Agenda Medioambiental de la Unión Europea (UE). En este territorio, la tasa de pérdida de suelo por erosión supera, en el 12,7% de su superficie agrícola, el valor de $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, equivalente a una lámina de 0,4 mm de grosor (Montgomery, 2007), siendo la erosión hídrica la principal responsable de estas pérdidas de suelo. Además, es necesario hacer hincapié en que el 67% de las pérdidas de suelo por erosión de la UE tienen lugar en los 8 países del área mediterránea, entre los que destacan España e Italia, donde existe una mayor superficie de cultivos leñosos como el olivar, en los cuales se obtienen pérdidas de suelo medias de $23,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, que pueden ascender hasta $40 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en función del manejo del suelo (Gómez et al., 2008).

Para frenar la pérdida de suelo por erosión, se han puesto en marcha ciertas medidas sobre los factores de los que esta depende, como el tipo de suelo, la topografía y el uso del suelo y/o su manejo. La mayoría de estas medidas están contempladas en la condicionalidad reforzada de la Política Agraria Común de la UE (PAC), que incluye una serie de prácticas agrícolas que velan por la protección del suelo frente a la erosión. Entre ellas, destacan la limitación de la superficie de suelo desnudo, el establecimiento de cubiertas vegetales y la reducción del laboreo, siendo esta última la opción de manejo aplicada en el 25% de la superficie agraria de la UE, y la que mejores resultados ha tenido respecto a la reducción de la erosión (Panagos et al., 2015). No obstante, en un estudio desarrollado por Gómez et al. (2009) se determinó que, en el cultivo del olivar, el establecimiento de cubiertas vegetales fue la opción que redujo en mayor medida la pérdida de suelo por erosión en comparación con el laboreo convencional.

Por otro lado, en cuanto al diseño de estrategias de control y reducción de la erosión, es necesario tener en cuenta la pérdida de suelo en parcelas, laderas y/o cuencas. Para ello, desde hace aproximadamente un siglo se han desarrollado distintos modelos que proporcionan información relevante acerca de los patrones y las tendencias que sigue la erosión (Wischmeier y Smith, 1978). Gracias a estos modelos, se puede cuantificar la erosión y sus tasas, que por motivos económicos no pueden evaluarse mediante medidas directas. Entre los modelos de erosión más conocidos, se encuentra el Universal Soil Loss Equation (USLE) (Wischmeier y Smith, 1978) y su versión revisada (RUSLE) (Renard, 1997), el cual ha sido utilizado para estimar la erosión en diferentes sistemas de cultivo, entre los que se incluyen la vid y el olivar. En estos cultivos leñosos permanentes, se han obtenido tasas de erosión bastante superiores a la media, incluso a pesar de que estos modelos no consideran ni calculan la pérdida de suelo que produce la erosión hídrica por formación de cárcavas.

1.2 Erosión hídrica por formación de cárcavas

De entre todas las formas de erosión hídrica, la formación de cárcavas es por la magnitud de sus impactos y la inmediatez de sus consecuencias, que producen pérdidas directas de suelo y plantaciones y que afectan a la transitabilidad de la finca y por tanto a la productividad de las operaciones agrícolas, la que más alarma genera (Poesen et al., 2003; Valentin et al., 2005; Vanmaercke et al., 2011).

Esta preocupación se ve reflejada en el gran número de investigaciones que se han dedicado en los últimos años al estudio de las cárcavas, principalmente orientadas a la detección, modelización y establecimiento de medidas correctoras (Vanmaercke et al., 2021), así como en la publicación por parte de diferentes administraciones de manuales y criterios técnicos para el control de cárcavas orientados a los agricultores (Gómez Calero et al., 2011).

Para poder controlar y corregir la erosión hídrica producida por la formación de cárcavas, resulta necesario entender su proceso de formación, que parte de la concentración superficial de la escorrentía durante un evento de precipitación erosivo (Poesen et al., 2003). En primera instancia la erosión por cárcavas supone la pérdida de

un volumen de suelo no muy elevado, fácilmente rellenable mediante una labor agrícola. Sin embargo, el paso del tiempo y la acción de sucesivos eventos de precipitación, harán que dichas cárcavas reaparezcan en los mismos lugares en los que se originaron, pudiendo suponer, en zonas altamente erosionables, pérdidas de suelo que oscilan entre el 30 y el 100% de las pérdidas totales de suelo (Casalí et al., 1999; Poesen et al., 1996, 2003). No obstante, el efecto erosivo de las cárcavas varía en función de la estación y de los eventos erosivos (Vandaele, 1993), pudiendo alguno de ellos tener consecuencias erosivas muy importantes. De forma concreta, Hayas et al. (2017b) llegaron a determinar tasas de erosión superiores a las $500 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, e incrementos en la densidad de cárcavas por unidad de superficie de hasta $23,6 \text{ m ha}^{-1}$ en dos años, que son consecuencia de la acción de eventos erosivos concretos, como los ocurridos entre 2009 y 2011.

1.2.1 Modelización de la erosión por cárcavas

Para conocer mejor las características de las cárcavas, así como su posible crecimiento y capacidad erosiva, son muchos los autores que en diferentes estudios han desarrollado modelos que recrean las condiciones en las que tienen lugar estos procesos erosivos. De esta forma, estos modelos permiten anteponerse a situaciones futuras, de modo que se puedan diseñar las estructuras de control y corrección necesarias.

Para implementar estos modelos es necesario conocer el tamaño, la forma y los patrones de crecimiento de las cárcavas, que dependen de diversos aspectos como la erosionabilidad del suelo, factores topográficos como el tamaño y la contribución de la cuenca (Poesen y Govers, 1990) y la pendiente del terreno (Foster, 1986; Poesen y Govers, 1990; Poesen y Wicherek, 1993), así como de las prácticas agronómicas desarrolladas en cada parcela.

En torno a esta última cuestión, diversos autores (De Ploey y Paulissen, 1988; Gómez et al., 2009; Laflen et al., 1985; R. G. Spomer et al., 1986) han determinado como la reducción del laboreo y la implantación de cubiertas vegetales ayudan a reducir la erosión por cárcavas, aunque en ocasiones concretas también se requiere la aplicación de otras medidas que pasan por el establecimiento de barreras de contención (Foster, 1986). Estas medidas fueron similares a las que Gómez Calero et al. (2011) proponen en su manual de criterios técnicos para el control de cárcavas, donde también señalan los

principios básicos para su control, que parten de mejorar las condiciones de la zona desde donde el agua vierte a la cárcava. De esta manera, medidas como la revegetación y el aumento de la cobertura vegetal en los bordes de la cárcava y en primera instancia en su cabecera, permiten retener el terreno además de reducir la escorrentía y su velocidad, aumentando su infiltración; estas medidas también consiguen desviar el agua, evitando que entre en la cárcava. Por último, es necesario estabilizar la misma mediante diques estructurales y de retención, ubicados en secciones específicas de la cárcava, que permitan su autorrelleno mediante el depósito de los sedimentos que ha ido arrastrando. Como ejemplo de la aplicación de estas medidas, un estudio desarrollado por (Seth M. Dabney, 1998) demostró como la combinación del mínimo laboreo y la implantación de barreras vegetales, redujo el avance de las cabeceras de las cárcavas de una zona de cultivo en Mississippi. Asimismo, es importante destacar que el control de las cárcavas mediante el establecimiento de diques o barreras vegetales o de cualquier material y la revegetación de sus bordes y taludes crea una interesante oportunidad para que las mismas actúen de corredores ecológicos de biodiversidad, restaurando y enriqueciendo el paisaje y contribuyendo a incrementar la sostenibilidad de la producción agrícola (Romero-Díaz et al., 2019).

En cuanto a los modelos desarrollados, durante las últimas décadas, han sido muchos los autores que han centrado su investigación en la modelización de la erosión por cárcavas, lo que ha permitido que actualmente estas redes de drenaje puedan conocerse mejor, de modo que se facilite la toma de decisiones para su manejo y control, evitando así futuras pérdidas de suelo fértil, apto para la actividad agrícola.

Uno de los métodos más extendidos es la detección de cárcavas mediante fotointerpretación directa sobre ortofotos, que ha sido utilizado por numerosos autores (Frankl et al., 2011; Hayas et al., 2017b, 2019; Martínez-Casasnovas et al., 2003, 2009). Este método resulta de gran utilidad cuando se cuenta con ortofotos de alta resolución tanto espacial como temporalmente. Sin embargo, presenta inconvenientes como la subjetividad del fotointerpretador y la imposibilidad de automatizar el proceso.

Otros métodos que si son automatizables, están basados en distintas tecnologías como la modelización del terreno a partir de imágenes obtenidas con UAV mediante técnicas de Structure from Motion (Kaiser et al., 2014; Koci et al., 2017), la delimitación

directa sobre MDT procedentes de imágenes LiDAR (Perroy et al., 2010) o los modelos contruidos mediante Aprendizaje Automático (Arabameri et al., 2018, 2019; Conoscenti et al., 2018; Roy et al., 2020). No obstante, estos últimos carecen de fundamento físico, al actuar como cajas negras que son ajenas a los procesos relacionados con la formación de las cárcavas. Esto se traduce en que sus resultados no tienen por qué cumplir con la necesaria conectividad de la red hidrológica y que, por ello, solo son válidos para las zonas de entrenamiento del modelo.

Otros modelos que sí han permitido conocer de una manera más exacta la ubicación de las cabeceras de las cárcavas, así como la identificación de zonas más susceptibles a la erosión son los que están basados en umbrales topográficos. La razón por la que estos umbrales son los indicadores que mejor representan la localización y el crecimiento de las cabeceras de las cárcavas, es que su combinación permite recrear la situación en la que se origina una cárcava, tal y como definieron Patton y Schumm (1975) y Z. B. Begin & S. A. Schumm (1979) en su modelo Topographic Threshold (TT), que tiempo después, fue modificado por Montgomery y Dietrich (1994), los cuales simplificaron este modelo, basándose únicamente en la pendiente local del terreno en la cabecera de la cárcava y en el área de la cuenca que drena hacia dicha cabecera. Otro modelo de gran interés, basado en los mismos umbrales topográficos, fue el Compound Topographic Index (CTI) propuesto por Thorne et al. (1986). Sin embargo, respecto al TT, los resultados del CTI no poseen la necesaria conectividad de la red, que en este tipo de análisis es de gran importancia para la identificación de los tramos de la red de cárcavas y el correspondiente diseño de las medidas de corrección y control. En consecuencia, el TT es considerado por su simplicidad y su base física y empírica, el modelo más apropiado para predecir la localización de las cabeceras de las cárcavas (Torri y Poesen, 2014). No obstante, han sido muchos los autores que han modificado dicho modelo, incorporando variables del terreno con las que se conseguir un mejor ajuste a las condiciones particulares de una zona o de un sistema concreto de cárcavas (Conoscenti et al., 2014; Dewitte et al., 2015; Gómez-Gutiérrez et al., 2015; Momm et al., 2013; Kheir et al., 2007; Santisteban et al., 2005; Vanwalleghem et al., 2008).

Por otra parte, hay que destacar que, en los ambientes mediterráneos, donde la mayor parte de la pérdida de suelo se debe a la erosión por cárcavas, y los ciclos de precipitación

pueden diferir de forma interanual, los umbrales topográficos pueden cambiar fácilmente debido a tres factores fundamentales: el uso del terreno, la cobertura vegetal y la tipología de los eventos de precipitación. Por lo tanto, en el caso de que estos umbrales no se actualicen cuando se produzca un cambio en alguno de estos factores y, sobre todo, en el cambio del manejo del suelo (uso y cobertura), el modelo utilizado podría estimar erróneamente la localización de las cabeceras de las cárcavas (Gutiérrez et al., 2009; Rossi et al., 2015). Del mismo modo, Hayas et al. (2017a), determinaron como el efecto de la cobertura vegetal sobre los umbrales topográficos se limitó a los años con un régimen de precipitación moderado, ya que en los años con precipitaciones más intensas, si la vegetación cubre menos de un 25% del suelo, esta no podrá prevenir la erosión por cárcavas y por ende, no modificaría los umbrales topográficos.

Hasta este momento, los avances realizados en cuanto al desarrollo de modelos han permitido analizar la evolución y el crecimiento de distintas cárcavas y redes de cárcavas, así como el desplazamiento y la localización de sus cabeceras. Sin embargo, todavía falta por desarrollar herramientas de planificación, que permitan conocer mejor los tramos que integran dichas redes, sus características físicas (longitud, anchura, sección, pendiente, etc.) y su topología (conectividad hidrológica de los distintos elementos de la red de drenaje).

1.2.2 Extracción de los atributos de una cuenca a partir de Modelos Digitales del Terreno

El trabajo desarrollado en las pasadas décadas por autores como Jenson y Domingue (1988) ha sentado las bases del análisis de la morfología de la superficie terrestre a partir de MDT. Entre las múltiples aplicaciones que presenta esta metodología, destaca la extracción, de forma automática, de las propiedades físicas de las subcuencas y de sus redes de desagüe, lo cual se puede extrapolar perfectamente a su uso en la modelización y planificación de la red de cárcavas existente en una subcuenca.

El motivo principal de que los MDT estén siendo utilizados actualmente de forma generalizada con el fin de encontrar para ellos nuevas aplicaciones, es su fácil acceso y su amplia disponibilidad desde fuentes de datos públicas y/o privadas. Entre los distintos formatos existentes, los MDT pueden presentar una estructura matricial rectangular,

compuesta de celdas o píxeles cuadrados, con una determinada resolución o longitud de lado, en los cuales se recoge el valor de elevación del terreno en dichos puntos. Respecto al resto de los formatos, los MDT de celdas cuadradas cuentan con la ventaja principal de que los valores de elevación que recogen pertenecen a puntos que son equidistantes en las dos direcciones perpendiculares, lo cual facilita el diseño de operaciones con los mismos y su programación, así como la mayor disponibilidad de datos de elevaciones en este formato (Moore et al., 1991). Además, las coordenadas de los distintos puntos del terreno que representan quedan implícitos por su posición (fila y columna) dentro de la matriz, siempre y cuando se conozca la posición de al menos un punto del conjunto y del tamaño de la celda.

Los diferentes objetivos con los que han sido utilizados los MDT para la extracción de atributos de una cuenca, pasan por la planificación hidrológica (Moore et al., 1991) y la obtención del hidrograma unitario de una cuenca (Peña et al., 1999). Asimismo, otros autores, como Amatulli et al. (2022), Jiao et al. (2022) y Omran et al. (2022) aplicaron estos principios para el desarrollo de nuevos procedimientos de análisis automático de cárcavas. Algunos de estos, fueron aplicados previamente por Betts y DeRose (1999), que a partir de fotografías aéreas secuenciales, analizaron el efecto de la erosión en 26 cárcavas de un ambiente geomorfológicamente inestable de la cuenca de Waipaoa del este de la isla norte de Nueva Zelanda. Así como Yang et al. (2019), quienes a partir de un MDT de alta resolución (5 metros), identificaron de forma semiautomática, con un 87,5% de precisión, las cabeceras y las cárcavas, de la meseta de Loess (China), extrayendo sus características topográficas. El éxito de estos estudios justifica la propuesta del uso de MDT para identificar y definir redes de cárcavas en diferentes áreas, sin que ello suponga una pérdida de información respecto a la topología (conectividad hidrológica) de la red.

1.2.3 Determinación de cárcavas mediante algoritmos de clasificación

En el contexto de la Línea 5 "Actuaciones de Lucha contra la Erosión" del Proyecto Innolivar, la empresa Agresta S.Coop., con la participación de la UCO, ha desarrollado la herramienta *SOILPROTECT*, que consigue a partir de la localización de una finca (polígono dibujado a mano alzada, archivo shapefile o datos catastrales) determinar la longitud total de la red de cárcavas que existe en ella y proponer, de acuerdo con los

metros lineales de cárcava y su pendiente media, la implantación de un número determinado de diques de contención construidos a base de estructuras modulares de hormigón o de empalizadas vegetales para su corrección y control.

Sin embargo, la tecnología en la que está basada esta herramienta, que mediante un algoritmo de *Random Forest* clasifica los píxeles de un MDT en cárcava / no cárcava, presenta una importante limitación, al no tener en cuenta la topología de la red de cárcavas. Concretamente, la omisión de la conectividad hidrológica de los distintos tramos de cárcavas que componen la red, al tratar la misma como un único canal, tiene como consecuencia la no consideración de las cabeceras correspondientes a cada cárcava de la red, así como la no distinción de la jerarquía de dichos tramos. Esto provoca de forma directa una subestimación en el número de diques necesarios en el conjunto de la red, ya que cada cárcava debería contar con un dique en su cabecera, lugar por el que según Gómez Calero et al. (2011), debe iniciarse el control las mismas. Por otro lado, al tratar la red de cárcavas como un único canal, los flujos laterales que llegan al canal no son tenidos en cuenta, lo que impide realizar una propuesta de corrección efectiva, que se ajuste a la hidrología de la red de cárcavas.

1.2.4 Necesidad de implementar una nueva herramienta para la identificación automática de cárcavas

Finalmente, una vez que se conoce el funcionamiento y el fundamento de los modelos desarrollados para estudiar la erosión por cárcavas, así como de las herramientas existentes en la actualidad para la identificación y la propuesta de medidas de control y corrección de las mismas, se puede poner de manifiesto que: la topología de la red es un factor clave a la hora de conocer el comportamiento de una red de cárcavas y poder tomar decisiones para su correcto manejo y gestión por parte de los técnicos y en última instancia de los agricultores y que, la gran mayoría de estos modelos y herramientas no permite conocer la información respectiva a dicha topología o conectividad hidrológica.

En esta línea, una herramienta útil y efectiva que permita identificar la red de cárcavas, conservando la conectividad hidrológica de la red, debe estar basada en los principios básicos del uso de los MDT para la extracción de atributos de una cuenca definidos por Jenson y Domingue (1988). Concretamente, estos se apoyan en las operaciones entre

celdas vecinas, en las cuales, los cálculos y decisiones que se toman para una celda en cuestión, se realizan en función de los valores de sus 8 celdas adyacentes, tal y como definió Douglas (1986).

De este modo, partiendo de los datos de elevación recogidos en los MDT y aplicando ciertos algoritmos, se obtendrán los atributos hidrológicos y topológicos del área de interés, que puede ser una subcuenca, una parcela o varias parcelas. Concretamente, para obtener estos atributos, se implementan dos algoritmos: el primero de ellos es el algoritmo D8, rutina de asignación de flujo no dispersiva utilizada para determinar la dirección de vertido de cada celda del MDT, que será aquella en la que se encuentre su celda vecina con la que guarde una mayor pendiente negativa (de entre sus 8 celdas adyacentes). El segundo es el algoritmo de Barrido en Árbol (Peña, 1997), con el que se determina tanto la superficie desaguada por cada celda del MDT (área acumulada en la misma), como las celdas que componen la subcuenca en estudio (celdas totales que vierten a través de la celda de cota mínima o de desagüe). La aplicación de dichos algoritmos y los atributos generados permitirán en última instancia, identificar la red de cárcavas existente de forma que, con este conocimiento, se diseñen una serie de propuestas para que los agricultores puedan convivir y solventar el problema medioambiental y de manejo que les supone la red de cárcavas, implementando para ello las medidas de corrección y control necesarias.

Por los motivos ya indicados, surge la necesidad de desarrollar una herramienta de identificación de cárcavas que permita tener en consideración la topología de la red y su hidrología, lo que permitirá realizar una planificación de actuaciones más ajustada a la realidad de la red de cárcavas, proponiendo medidas más efectivas para su control y corrección.

2 Objetivos

El objetivo principal de este estudio es desarrollar una herramienta digital que permita, a partir del MDT de una finca o parcela, identificar la red de cárcavas que vierte a través de la misma, así como proponer una serie de medidas de control y corrección ajustadas a la hidrología y a la topología de dicha red. Para ello, a su vez se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar y adaptar a nivel de finca o parcela el procedimiento de identificación automática de cárcavas, considerando la posibilidad de que en ella coexistan dos o más subcuencas con su respectiva red de cárcavas y sus puntos de salida o desagüe.
- Analizar las diferencias entre las redes de cárcavas obtenidas con Modelos Digitales del Terreno de distinto tamaño de celda (2 y 5 m de lado).
- Comparar los resultados obtenidos mediante la herramienta de identificación automática y mediante el procedimiento de fotointerpretación directa.

3 Materiales y Métodos

3.1 Datos de partida.

Los datos de elevación utilizados para la identificación automática de cárcavas proceden de MDT con distintas resoluciones. Concretamente se han utilizado aquellos con un tamaño de píxel de 5 x 5 m y de 2 x 2 m que se encuentran disponibles para su descarga en el Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>).

Para su descarga, es necesario conocer la hoja u hojas del MDT donde se encuentra la parcela o conjunto de parcelas catastrales objeto de estudio, así como la superficie del terreno que vierte sobre la misma y de la que se quiere identificar su red de cárcavas. Por ello, en primer lugar, se procede a la descarga de los datos espaciales de dichas parcelas, que se encuentran disponibles en formato *.gml* desde el visor cartográfico de la Sede Electrónica del Catastro (<https://www.sedecatastro.gob.es/>).

3.1.1 Descarga y descripción de los productos MDT utilizados.

Una vez descargados los archivos vectoriales de las parcelas en formato *.gml*, estos se transforman en un solo polígono y se guardan en formato *.shp* mediante el software de uso libre QGIS.

A continuación, desde el Centro de Descargas del IGN, se realiza una búsqueda por archivo, proporcionando la parcela en formato *.shp* y se descargan las hojas del MDT02 y/o del MDT05 (MDT con paso de malla de 2 y 5 m, respectivamente) que cubren la misma, así como la superficie circundante donde se localizará el área de estudio.

3.1.1.1 MDT 2x2 m.

Los MDT con un paso de malla de 2 m se encuentran disponibles como producto MDT02 en formato *.asc* y son descargables por hojas del MTN25. Este modelo se ha obtenido por interpolación a partir de la clase terreno de los vuelos LIDAR de la segunda cobertura del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), desarrollada desde 2015, por lo que la cobertura nacional aún se encuentra incompleta.

3.1.1.2 MDT 5x5 m.

Al igual que el MDT con paso de malla de 2m, este MDT con un tamaño de píxel de 5 m también se encuentra disponible como producto MDT05 en formato *.asc* y es descargable por hojas del MTN50. Sin embargo, este obtuvo por interpolación a partir de la clase terreno de vuelos LIDAR de la primera cobertura del PNOA, por lo que la cobertura nacional se encuentra completa para su descarga.

3.2 Corrección del MDT

Los datos de elevación que se introducen al programa desarrollado para la identificación de las cárcavas deben estar corregidos, es decir, en él no deben existir zonas deprimidas o de remanso artificiales fruto de los procesos de interpolación, conocidas como sumideros, y que gráficamente son celdas del MDT que tienen una cota inferior a las 8 celdas que le rodean. La necesidad de corregir estas zonas se debe a la continuidad que debe presentar el flujo en todo el modelo, como consecuencia del diseño de los algoritmos utilizados en este programa, que en caso contrario ocasionarían problemas en su ejecución.

La corrección del MDT descargado del IGN se realiza mediante el software QGIS. Para ello, la capa ráster que contiene los datos de elevación se corrige mediante el Proceso de SAGA denominado Fill Sinks (Wang y Liu), del que se obtiene un MDT corregido sin sumideros, que se guarda en formato *.tif* para su introducción en el programa de identificación automática de cárcavas diseñado. Sin embargo, en el caso de contar con más de una hoja colindante del MDT, estas deben combinarse mediante la opción Ráster > Miscelánea > Combinar, de la que se obtiene una única capa con los datos de elevación, que a continuación, debe ser corregida mediante el proceso ya descrito.

3.3 Programa para la identificación automática de cárcavas. Lenguaje Python y librerías utilizadas

La herramienta diseñada para la identificación automática de cárcavas a partir de MDT corregidos, está compuesta por un programa que a su vez se compone de una serie de

subrutinas y de algoritmos que satisfacen el objetivo principal de este estudio. Para diseñar dicho programa se ha utilizado el lenguaje de programación Python, así como una serie de librerías también implementadas en este lenguaje de programación.

El uso de Python (<https://www.python.org>) como lenguaje de programación para el desarrollo de esta herramienta se encuentra más que justificado, ya que se trata de un lenguaje de alto nivel ampliamente utilizado en diversas áreas de la ciencia y la investigación. Además, este lenguaje permite el uso de múltiples tipos de variables que facilitan el manejo de grandes volúmenes de datos. Una de las principales ventajas reside en que softwares como QGIS, diseñados para el manejo y el procesamiento de datos espaciales, utilizan dicho lenguaje, por lo que una gran cantidad de programas para el manejo de información geográfica se encuentran escritos en Python.

Otra de las ventajas esenciales es la existencia de una gran cantidad de librerías específicas desarrolladas por la comunidad de usuarios de Python que permite disponer de un amplio abanico de funciones para multitud de aplicaciones concretas. Además, este lenguaje de programación ha sido uno de los dos más utilizados en el Máster que finaliza con este trabajo, y por ello, se ha trabajado con el mismo en una gran cantidad de aplicaciones prácticas que van desde la geoestadística y la implementación de modelos predictivos, hasta el diseño redes neuronales y de herramientas de inteligencia artificial, debido a las posibilidades que ofrece. En este caso, se ha utilizado Python en el entorno de Anaconda y concretamente se ha trabajado con el editor de código Spyder. Ambos facilitan la instalación y la sincronización de la mayoría de las librerías utilizadas para el desarrollo del programa que se describe en este apartado. A continuación, se detallan las librerías de Python utilizadas en el programa.

3.3.1 NumPy

La librería de Python *NumPy* permite manejar grandes volúmenes de datos y su característica principal es la posibilidad de trabajar con matrices o arrays de n dimensiones, cuya utilización optimiza el procesamiento de datos respecto al uso de listas, tarea para la que el lenguaje Python se encuentra optimizado. Además, *NumPy* ofrece una gran variedad de funciones para trabajar con Arrays, que permite crear, manipular, operar y calcular con ellos de una forma más sencilla, simplificando el código

del programa. Por ello, la librería *NumPy* será ampliamente utilizada cuando se trabaje con MDT, al simplificar su manejo y manipulación.

3.3.2 *Rasterio*

La librería de Python *Rasterio* permite trabajar con conjuntos de datos de tipo Ráster almacenados en archivos en formato GeoTIFF (.tif). Para ello, esta librería proporciona una API de Python basada en Arrays N-dimensionales de *NumPy*, con la que se interpretan los datos espaciales almacenados en cuadrículas, facilitando su lectura y escritura, y manipulación, a la vez que conservan su información geográfica y sus metadatos (Sistema de Referencia de Coorenadas (SRC), coordenadas máximas y mínimas de la imagen, extensión del archivo, etc.).

3.3.3 *Fiona*

La librería de Python *Fiona* permite leer y escribir archivos geométricos de tipo vectorial y, por lo tanto, facilita la incorporación al código de archivos espaciales vectoriales como los polígonos de las parcelas en formato Shapefile de ESRI (.shp).

3.3.4 *Matplotlib.pyplot*

La librería *Matplotlib* de Python, y más concretamente su interfaz *Pyplot*, permite representar datos en gráficos e imágenes a través de la pantalla de una forma sencilla e intuitiva. Esta será esencial para la representación y la visualización de los productos intermedios y finales que genera el programa diseñado.

3.3.5 *PIL*

El uso de la librería de Python *PIL*, que permite la edición de imágenes desde Python y más concretamente de la función *Image*, se utiliza para importar imágenes en diferentes formatos al programa de forma rápida y sin necesidad de realizar un complicado procesamiento posterior para transformar las mismas en Arrays de *NumPy*.

3.4 Programa para la identificación automática de cárcavas. Fundamento y descripción.

Una vez obtenido el MDT corregido, sin sumideros ni depresiones, se introduce en el programa de identificación automática de cárcavas desarrollado en Python. Del mismo modo, se importa el archivo *.shp* con el polígono de la parcela objeto de estudio, con el cual se realiza una máscara al MDT corregido, que servirá para almacenar en un nuevo MDT, únicamente los valores de cota de las celdas que pertenecen a la parcela. Posteriormente, al MDT corregido se aplica el algoritmo D8, cuyo fundamento se presenta en el siguiente apartado.

3.4.1.1 Algoritmo D8

El Algoritmo D8 es una rutina de asignación de flujo no dispersiva que, asigna el flujo total que circula por la celda de estudio, a la dirección en la que se encuentre la celda que posea una menor cota de entre sus 8 celdas vecinas.

Para ello, se calcula la pendiente existente entre la celda de estudio y sus 8 celdas adyacentes, seleccionando la mayor entre las pendientes descendentes. Los datos necesarios para calcular la pendiente son la diferencia de elevación y la distancia existente entre la celda de estudio y cada una de sus celdas vecinas. Respecto al tamaño de la celda en ambas direcciones de estudio, al trabajar con MDT de celdas cuadradas, en las direcciones ortogonales esta distancia será igual a la longitud de la celda o píxel (2 o 5 m respectivamente para el MDT de 2 m y el MDT de 5 m de paso de malla), mientras que en la dirección diagonal este valor se incrementará $\sqrt{2}$ veces.

A continuación, una vez se conocen dichas pendientes, se asigna una dirección de vertido a cada celda siempre que no exista ambigüedad. Para ello, cada celda debe mantener un valor de pendiente descendente máxima con una de sus 8 celdas vecinas, asignando como dirección de vertido de la celda de estudio, la dirección hacia la celda con la que guarde un mayor valor de pendiente descendente. En el caso de que exista ambigüedad, se asignará la dirección en la que se guarde la mayor pendiente descendente que antes haya sido calculada. Esta práctica puede introducir parcialidad, pero se realiza al ser consistente con la práctica común (Martz & Garbrecht, 1993). El

valor de dirección de vertido oscilará entre 1 y 8, siendo 1 la dirección de vertido hacia la celda de la derecha y 8 hacia la celda de arriba a la derecha (Figura 3.1).

| | | |
|---|---|---|
| 6 | 7 | 8 |
| 5 | c | 1 |
| 4 | 3 | 2 |

Figura 3.1 Asignación numérica de las direcciones de vertido desde la celda central "c" mediante el algoritmo D8.

La adopción del criterio de que toda el agua que escurre por una celda lo haga en una sola dirección fue establecido por O'Callaghan y Mark (1984). No obstante, otros autores como Quinn et al. (1991) describieron como asignar direcciones múltiples de flujo desde una celda hacia sus vecinas con las que mantenga una pendiente descendente. A pesar de ello, Jenson (1991) demostró que mediante direcciones simples se obtienen redes de desagüe suficientemente aproximadas ya que, al trabajar con tamaños de celda adecuados, la proporción de celdas que requieren direcciones múltiples son muy escasas, no afectando significativamente al resultado obtenido.

Tras obtener las direcciones de vertido, se parte desde el punto de salida de cada cuenca y aplicando el procedimiento desarrollado por el algoritmo de Barrido en Árbol (Peña, 1997), que se describe en el siguiente apartado y que recorre el patrón de flujo definido por las direcciones de vertido se calcula, tanto la superficie desaguada por cada celda, como las celdas que pertenecen a cada subcuenca.

3.4.1.2 Barrido en Árbol

El algoritmo de Barrido en Árbol propuesto por Peña (1997) es una técnica de análisis de matrices que permite conocer tanto la superficie desaguada por cada celda del MDT, como las celdas que componen la cuenca en estudio. Para determinar las celdas que pertenecen a la cuenca en estudio, desde el punto de salida de la cuenca, el algoritmo se desplaza en sentido ascendente siguiendo las direcciones de vertido de las celdas vecinas. Sin embargo, para determinar la superficie desaguada por cada celda, el

algoritmo desciende siguiendo la dirección de la celda actual. Este sistema de recorrido en árbol se presenta a modo de ejemplo en la Figura 3.2.

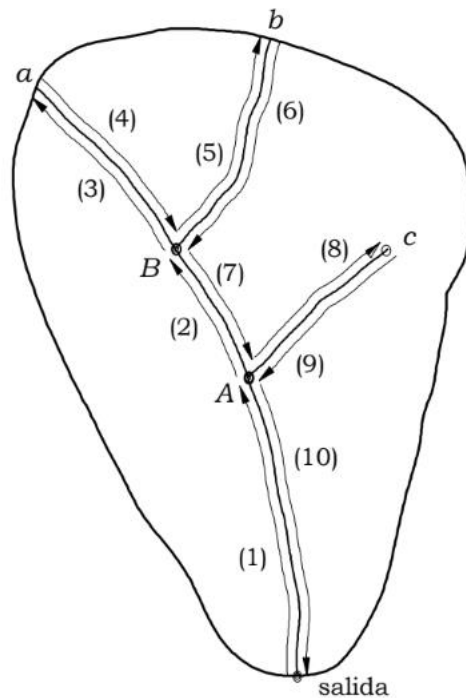


Figura 3.2 Procedimiento de recorrido de un patrón de flujo (Peña, 1997)

Este procedimiento de Barrido en Árbol presenta diferencias respecto a otros métodos que se basan en el barrido iterativo de la matriz de direcciones y que han sido propuestos por autores como O'Callaghan y Mark (1984) y Martz y Garbrecht (1993). Concretamente el algoritmo de Barrido en Árbol se diferencia del resto al estar basado en dos principios fundamentales:

1. Comienza en la celda de salida y va en sentido ascendente visitando la celda que vierte a ella. De esta manera se recorren los patrones de flujo hasta llegar a las celdas de la divisoria de la cuenca o a las cumbres de colinas interiores, a las que no vierten ninguna otra celda.
2. Una vez localizada una celda divisoria de la cuenca, comienza a recorrerse el patrón de flujo en sentido descendente, siguiendo la dirección de vertido de la celda de estudio. Es en este paso cuando se determina la superficie desaguada por cada celda, sumando paso a paso el número de celdas que vierten a la celda que se está visitando. Al llegar a una unión (intersección entre dos direcciones) se detiene el

cálculo y se vuelve al paso 1, ascendiendo hacia la dirección en la que se encuentra la rama del Árbol que aún no ha sido recorrida. En el momento en que se alcance de nuevo la divisoria de la cuenca, se volverá a descender hasta la intersección anterior.

Cuando se evalúa una celda, el análisis se realiza comenzando por la celda de la derecha y se va progresando en el sentido de las agujas del reloj, finalizando en la celda superior derecha. De esta forma se va recorriendo toda la malla, finalizando los cálculos cuando en la celda de salida de la cuenca se hayan analizado las 8 celdas vecinas.

El programa de identificación automática de cárcavas desarrollado permite determinar todas las cuencas cuyos puntos de salida se encuentran en los bordes de la parcela objeto de estudio. Para ello, se ha modificado la aplicación del algoritmo de Barrido en Árbol de forma que se ejecutará tantas veces como cuencas existan y contribuyan a la parcela en cuestión, siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Partiendo del MDT que contiene los datos de elevación de la parcela, se determina el punto de menor cota (punto de salida de la cuenca) que al trabajar con un MDT corregido, se encontrará en el borde de la parcela.
2. Una vez se conoce tanto el punto de salida de la primera cuenca, como la matriz de direcciones de vertido obtenida tras aplicar el algoritmo D8, se aplica el algoritmo de Barrido en Árbol, determinando tanto las celdas que pertenecen a dicha cuenca, como la superficie desaguada por cada una de ellas.
3. Tras determinar la primera cuenca, se eliminan los valores de cota de las celdas que la componen del MDT que contiene la elevación de la parcela y se vuelve al paso 1.
4. En el momento en que todas las celdas pertenecientes a la parcela han sido estudiadas, perteneciendo cada una de ellas a alguna de las cuencas determinadas, finalizará este proceso.

Durante la determinación automática de las cuencas se almacenan tanto el valor de la superficie que desagua cada celda, como las celdas que pertenecen a cada cuenca, cuyo punto de salida se encuentra en los bordes de la parcela. Esta modificación en la aplicación del algoritmo permite conocer mediante el recorrido en árbol del patrón de flujo la superficie total que contribuye a la parcela en estudio, compuesta por las

diferentes cuencas que existen en dicha superficie, de las cuales se obtienen también sus divisorias y sus puntos de salida.

El siguiente paso consiste en determinar la red de cárcavas existente en las diferentes cuencas obtenidas en el paso anterior, que también se realiza a partir del Barrido en Árbol del patrón de flujo ya descrito, comenzando por el punto de salida de cada cuenca. Para ello se simula la concentración espacial de la escorrentía superficial en aquellos puntos en los que la superficie que se desagua supera un umbral de superficie específico seleccionado en base a estudios previos. Este criterio, al estar basado en las condiciones físicas en las que tiene lugar el proceso de formación de un canal, ha sido adoptado de forma general por los geomorfólogos. El umbral seleccionado debe establecerse en base a la naturaleza de la zona en la que va a ser empleada la herramienta diseñada, para lo que se debe tener en cuenta tanto el cultivo existente, como la topografía, el tipo de suelo y la tipología de los eventos de precipitación en la zona. Para el caso concreto que se analizará en este estudio (olivar en zona de campiña), se ha establecido en 1200 m² de área vertiente, correspondiéndose con 48 y 300 celdas para los MDT de 5 y 2 m de paso de malla, respectivamente. La elección de este valor queda justificada por los trabajos previos de campo y de fotointerpretación, en los cuales se sitúan las cabeceras de las cárcavas en celdas con áreas vertientes próximas al umbral establecido.

Para continuar con el análisis de la red de desagüe, se determina el orden de cada tramo de la red o de la cárcava. El criterio escogido será el definido por Strahler (1964), el cual determina que, de la unión de dos canales con el mismo orden, se origina un canal con un orden superior al de los canales que confluyen en dicho enlace, y que, al unirse dos canales de orden distinto, el canal al que vierten tendrá el mismo orden que el canal con mayor orden que confluya en dicho enlace. No obstante, cuando en el mismo punto confluyen varios canales, la asignación del orden del tramo al que vierten se realizará según el siguiente criterio:

1. Al unirse varios canales del mismo orden, el canal al que vierten será de un orden superior a estos.
2. Al unirse varios canales de distinto orden, si al menos dos canales de los que confluyen en dicho enlace son del mismo orden y el resto de un orden inferior, el

canal al que vierten será de un orden superior al de los canales con mayor orden que confluyen en este enlace.

3. En el resto de los casos se origina un nuevo canal de orden igual al del canal con mayor orden de los que confluyen en dicho enlace.

Para caracterizar la red de cárcavas existente en la parcela de estudio, se estableció el siguiente procedimiento:

En primer lugar, se calcula el número de tramos de canales o cárcavas existentes en la parcela. Para ello se cuenta el número de nudos iniciales existentes en la red de desagüe definida, ya que existirá el mismo número de tramos que de nudos iniciales. Para su identificación, se determinan las celdas cuyas vecinas, si vierten sobre ella, presentan un orden inferior al de la propia celda de estudio.

Tras conocer el número de canales se procede a su caracterización, determinando los nudos iniciales de los canales mediante la repetición del Barrido en Árbol descrito. Además, en este paso se determina el orden de la celda inicial, que será el orden del canal o cárcava de la que forma parte. A continuación, se desciende por el canal hasta que se apunta sobre una celda con distinto orden al de la celda en estudio, determinando que la celda actual es el nudo final del tramo de cárcava y el orden de la celda a la que apunta será el orden del tramo de cárcava aguas abajo, al que vierte la que se encuentra en estudio.

Una vez conocidos los nudos extremos del canal, se calcula tanto el desnivel, como el área desaguada por cada tramo de cárcava mediante la diferencia de cota y de área desaguada entre los nudos inicial y final, respectivamente. Posteriormente se determina la longitud de cada tramo, teniendo en cuenta la distancia entre las celdas que lo componen, en función del tamaño del píxel y de la dirección de vertido de cada celda ya sea ortogonal o diagonal. Tras ello, se suman las celdas que componen el tramo de cárcava, determinando la superficie específica del tramo en cuestión. Por último, se determina la cuenca a la que pertenece cada tramo de la red de desagüe, finalizando así su caracterización.

3.5 Programa para la identificación automática de cárcavas. Desarrollo del programa.

En la Figura 3.3 se muestra un diagrama donde se observa el funcionamiento del programa diseñado, así como las entradas y salidas de las diferentes subrutinas.

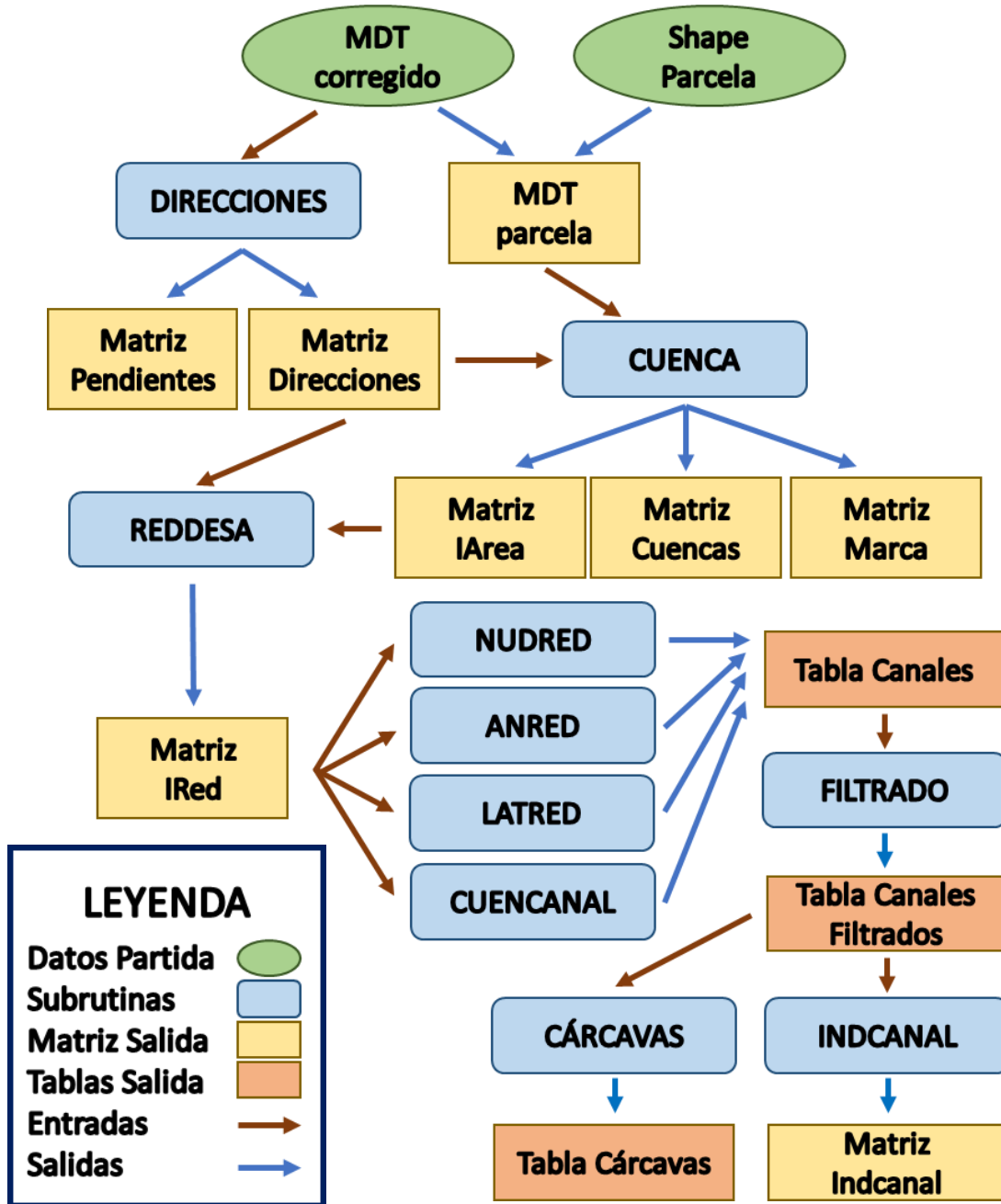


Figura 3.3 Diagrama de flujo del programa de identificación automática de cárcavas

3.5.1 Determinación del MDT de la parcela

3.5.1.1 Metodología

En esta primera parte se hará uso de las librerías *Fiona* y *Rasterio*. Mediante *Fiona* se carga el archivo *.shp* que contiene la parcela objeto de estudio. A continuación, con la función *open* de *Rasterio*, se carga el MDT (*.tif*) corregido, que se compone de la hoja u hojas del MDT descargadas del IGN, sin sumideros, tras su preprocesamiento con el paquete *Fill Sinks* (Wang y Liu) de SAGA. A continuación, mediante la función *mask* de la misma librería se realiza una máscara del MDT, a partir de la cual se obtiene un nuevo MDT, de las mismas dimensiones que el anterior, donde las celdas que pertenecen a la parcela conservan su valor de elevación y al resto de celdas se le asigna el valor 10000. El producto resultante se guarda en un nuevo fichero *.tif*. Además, se guardan también los metadatos del MDT (*.tif*) que se utilizarán en para georrefenciar los productos ráster de este programa obtenidos en las siguientes subrutinas.

3.5.1.2 Pseudocódigo

```
""" Programa identificación automática de cárcavas """

abrir Shape parcela como Shapefile

abrir MDT corregido como mdt_filled
variables:
  out_image = mascara del MDT
  out_meta = metadatos del MDT

guardar mascara del MDT (archivo .tif)
```

3.5.2 Subrutina DIRECCIONES

3.5.2.1 Metodología

En esta subrutina se recorren todas las celdas de la matriz "z_c", determinando en cada posición, la pendiente y la dirección en la que se encuentra la celda adyacente a la de estudio con la que guarda una mayor pendiente descendente, y a la cual vierte la celda de estudio. Ambas variables, dirección de vertido y máxima pendiente descendente, se almacenan en las matrices "idf" y "s", respectivamente.

3.5.2.2 Pseudocódigo subrutina DIRECCIONES

```
""" SUBROUTINA ASIGNADIR """
```

```
Variables:
```

```
mdt_p = MDT parcela (Imagen)
z_p = MDT parcela (Array de Numpy)
ax = dimension celda
z_p_c = MDT parcela circunvalado

indmin = coordenadas fila y columna celda cota mínima
cotamin = valor cota mínima

mdt = MDT corregido (Imagen)
z = MDT corregido (Array de Numpy)
z_c = MDT corregido circunvalado (con el valor de cota mínima)

f, c = dimensiones (z_c)

s (Matriz pendientes) = Matriz de ceros, dimensión MDT circunvalado
(f, c)

sc (Matriz pendientes %) = Matriz de ceros, dimensión MDT circunvalado
(f, c)

idf (Matriz direcciones de vertido) = Matriz de ceros, dimensión MDT
circunvalado (f, c)

al = factor distancia según dirección

msa = coordenada i vector dirección

msb = coordenada j vector dirección

Algoritmo D8:
for i desde fila 1, hasta fila penúltima de matriz z_c:
    for j desde fila 1, hasta fila penúltima de matriz z_c:
        for k desde dirección 1, hasta dirección 8:
            ki = coordenada i celda vecina a la que se apunta
            kj = coordenada j celda vecina a la que se apunta
            stk = pendiente temporal entre celda actual y vecina a la
que se apunta
            si stk es mayor o igual al valor de pendiente guardado en
la posición actual
                pendiente en la posición actual = stk
                dirección de vertido celda actual = dirección celda
vecina que está siendo analizada
                pendiente en la posición actual (%) = (pendiente en la
posición actual*100)

Imprimir pantalla Matriz idf
Guardar Matriz idf archivo .txt

Variables:
idf_r = matriz idf sin circunvalación
idf_r = matriz idf_r con una dimensión más
guardar matriz direcciones de vertido georeferenciada (archivo .tif)
```

3.5.2.3 Creación de la matriz de pendientes y de direcciones

Para crear ambas matrices, se itera sobre cada celda de la matriz "z_c", donde se almacenan la elevación del terreno. Para ello se crean las variables "i" y "j", que irán aumentando, para recorrer desde la segunda, hasta la penúltima fila y columna. Así, en cada paso se analizará una celda de la matriz con coordenadas (i, j).

En cada iteración se aplica el algoritmo D8 descrito en el apartado 3.4.1.1 de este trabajo. Para ello, se crea la variable k, que toma valores de 1 a 8 sobre la que se vuelve a iterar, analizando las 8 celdas vecinas en sus correspondientes direcciones. Para iterar sobre k, se utilizan los vectores msa y msb, con los que se apunta a cada una de las celdas vecinas, comprobando si tiene una pendiente negativa respecto a la celda de estudio, que se guarda en la variable "stk", y se almacena en la posición de estudio de la matriz "s". La dirección de análisis "k" se guarda en la matriz "idf". En las siguientes iteraciones sobre k, se comprueba si las siguientes pendientes temporales con el resto de las celdas vecinas son negativas y superiores a la almacenada en la matriz "s". Si es así, se sustituirá el valor almacenado en "s" por esta nueva pendiente y almacenando la dirección en la que se encuentre dicha celda respecto a la de estudio en la matriz "idf".

Cuando se termina de iterar sobre "k", quedará guardada la mayor pendiente descendente respecto a la celda vecina y su dirección, pasando a la siguiente celda de "z_c". Cuando son analizadas todas las celdas de "z_c", la matriz de pendientes "s" y la de direcciones de vertido "idf" quedarán terminadas. Para georreferenciar y guardar la matriz idf, se pasa la función "eliminarcircunvalación" del producto obtenido. Posteriormente se combinan dichas matrices con los metadatos del MDT corregido y se guarda en formato *.tif*.

3.5.3 Subrutina CUENCA

3.5.3.1 Metodología

Una vez se conoce la dirección de vertido de cada celda del MDT, se determinará la superficie del terreno que vierte sobre la parcela objeto de estudio, que se compone de las distintas cuencas que tienen sus puntos de salida o desagüe en los bordes de dicha parcela. Para ello, en esta subrutina se ha automatizado el algoritmo de Barrido en Árbol, que se ejecuta tantas veces como puntos de salida o de desagüe existen en el borde de

la parcela objeto de estudio, determinando en cada ejecución del algoritmo, las celdas que componen la cuenca que contribuye a cada punto de salida, así como el número de celdas que vierten sobre cada celda que compone la cuenca que se está estudiando en cada ciclo de la subrutina.

Cuando se termina de analizar una cuenca comienza el análisis de la siguiente, repitiendo el proceso descrito hasta que todas las celdas que pertenecen a la parcela objeto de estudio hayan sido analizadas y pertenezcan a alguna de las cuencas determinadas. Finalmente, se obtienen tres matrices. La matriz "Marca", donde las celdas que han sido visitadas, habiéndose analizado sus 8 celdas vecinas y formando parte de alguna de estas cuencas, toman el valor 8. La matriz "Cuencas", que almacena en cada celda el índice de la cuenca de la que forma parte. Y la matriz "iarea", que almacena en cada celda el valor del área acumulada o n° de celdas que desagua sobre cada una de ellas.

3.5.3.2 Pseudocódigo subrutina CUENCA

"" SUBRUTINA CUENCA ""

Variables:

```
zpc_1 = Copia matriz z_p_c (MDT parcela circunvalado)
marca (matriz marca de cuenca) = Matriz de unos, dimensión MDT
circunvalado (f, c)
iarea (matriz area acumulada) = Matriz de ceros, dimensión MDT
circunvalado (f, c)
cuencas (matriz índice cuencas) = Matriz de ceros, dimensión MDT
circunvalado (f, c)
n_cuenca = índice de cuenca (iniciado en 1)
indmin_cuencas = Almacena punto salida cuenca (lista)
contdiezmil = contador de celdas con valor 10000 en zpc_1 (iniciado en 0)
```

```
Algoritmo: Contar celdas valor 10000 en zpc_1
for i desde 0, hasta n° filas matriz zpc_1:
  for j desde 0, hasta n° columnas matriz zpc_1:
    si valor zpc_1 celda actual = 10000
      Suma 1 a contdiezmil (contar la celda)
```

Algoritmo: Barrido en Árbol automatizado

Repetir **mientras** alguna celda de la parcela no haya sido analizada:

 Calcular variables para cada cuenca:

```
        indmin_1 = coordenadas fila y columna celda cota mínima MDT
        parcela (zpc_1), punto salida cuenca estudio
```

```

indmin_cuencas = Almacena los puntos de salida de las cuencas de
estudio
cotamin_1 = valor cota en punto de salida
io = coordenada i punto de salida
jo = coordenada j punto de salida
i = coordenada i celda en estudio (1ª iteración, punto de salida)
j = coordenada j celda en estudio (1ª iteración, punto de salida)
iu = coordenada i celda vecina en la dirección 8 del punto de
salida (última celda analizada)
ju = coordenada j celda vecina en la dirección 8 del punto de
salida (última celda analizada)
irp = dirección de vertido del punto de salida
ip = coordenada i celda a la que vierte el punto de salida
jp = coordenada j celda a la que vierte el punto de salida

```

Algoritmo: Barrido en Árbol

Repetir **mientras** la celda cota mínima no haya sido completamente analizada o la celda de estudio no sea a la que vierte la de cota mínima

```

    k = valor celda de estudio en matriz marca
    ki = coordenada i celda vecina a la que se apunta
    kj = coordenada j celda vecina a la que se apunta
    si la celda vecina a la que se apunta vierte sobre la de
estudio:
        si la celda a la que se apunta ha sido completamente
analizada y pertenece a la cuenca:
            al área acumulada en la celda de estudio se le suma el
área acumulada en la celda a la que se apunta
            si la celda de estudio ha sido completamente
analizada:
                Se suma 1 al área acumulada de la celda de estudio
                (Comienza el descenso)
                ir = dirección de vertido de la celda de estudio
                i = coordenada i de la celda a la que vierte la
actual, nueva celda de estudio
                j = coordenada j de la celda a la que vierte la
actual, nueva celda de estudio
                si no:
                    Se suma 1 a la celda de estudio en la matriz
marca, se analiza la siguiente vecina

                si no:
                    i = coordenada i de la celda a la que se está
apuntando, nueva celda de estudio
                    j = coordenada j de la celda a la que se está
apuntando, nueva celda de estudio
                si no:
                    si la celda de estudio ha sido completamente analizada:
                        Se suma 1 al área acumulada de la celda de estudio
                        (Comienza el descenso)
                        ir = dirección de vertido de la celda de estudio
                        i = coordenada i de la celda a la que vierte la
actual, nueva celda de estudio
                        j = coordenada j de la celda a la que vierte la
actual, nueva celda de estudio
                        si no:
                            Se suma 1 a la celda de estudio en la matriz marca, se
analiza la siguiente vecina
                            si la celda actual es la celda a la que vierte el punto de salida:

```

kult = dirección de vertido de la vecina 8 del punto de salida
si la vecina 8 del punto de salida vierte sobre la misma:
 al área acumulada en el punto de salida, se suma el área
 acumulada en su vecina 8

Algoritmo: relleno de matriz cuencas y zpc_1
for i desde 0, hasta n° filas matriz cuencas:
 for j desde 0, hasta n° columnas matriz cuencas:
 si la celda de estudio aún no ha sido guardada en la
 matriz cuencas y pertenece a una cuenca:
 rellenar la celda de estudio con el índice de cuenca
 (valor n_cuenca)
 si la celda de estudio pertenece a la parcela
 sustituir su valor en zpc_1 por 10000
 Sumar 1 a contdiezmil (contar celda)
 Sumar 1 a n_cuenca, se analiza la siguiente cuenca

Imprimir pantalla Matriz marca
 Guardar Matriz marca archivo .txt

Imprimir pantalla Matriz iarea
 Guardar Matriz iarea archivo .txt

Imprimir pantalla Matriz cuencas
 Guardar Matriz cuencas archivo .txt

Variables:
 cuencas_r = matriz cuencas sin circunvalación
 cuencas_r = matriz cuencas_r con una dimensión más
guardar matriz cuencas georeferenciada (archivo .tif)

iarea_r = matriz iarea sin circunvalación
 iarea_r = matriz iarea_r con una dimensión más
guardar matriz iarea georeferenciada (archivo .tif)

3.5.3.3 Creación de las matrices Marca, iarea y Cuencas. Modificación de zpc_1.

En primer lugar, para comprobar si todas las celdas pertenecientes a la parcela han sido analizadas se ha modificado el algoritmo de Barrido en árbol. Concretamente, esto se consigue mediante la determinación del número de celdas con valor 10000 (valor de no data en "z_p_c") en zpc_1, copia de la matriz "z_p_c" (máscara del MDT con la parcela). Si en esta determinación se comprueba la existencia de celdas con valor distinto de 10000, se seguirán analizando las cuencas restantes. En el caso contrario, cuando todas las celdas de "zpc_1" tengan valor 10000, todas las celdas de la parcela habrán sido analizadas, así como las cuencas que vierten sobre ella y que albergan la superficie del terreno que desagua a través de la parcela en estudio.

Para analizar todas las celdas de la parcela, el procedimiento de barrido en árbol se realiza cuenca a cuenca, partiendo siempre desde la celda de cota mínima existente en

"zpc_1", que será el punto de salida de la cuenca en estudio en cada iteración. Para ello, se determina la celda de cota mínima en "zpc_1", que se almacena en la lista "indmin_cuencas", como punto de salida de la primera cuenca analizada. A partir de esta celda, aplicando la metodología del algoritmo D8 que permite el desplazamiento por la matriz a través de las celdas a las que se apunta, se inicia el Barrido en Árbol descrito en el apartado 3.4.1.2 de este trabajo, determinando las celdas que pertenecen a esta cuenca durante el ascenso y el área acumulada en cada píxel durante el descenso. Cuando se alcanza la celda a la que vierte el punto de salida tras el descenso por la ruta de desagüe, la cuenca en estudio habrá sido analizada al completo, quedando las celdas que la integran con el valor 8 en la matriz "marca" y con su correspondiente valor de área acumulada en la matriz "iarea".

Acto seguido, se ejecuta el algoritmo de relleno de la matriz "cuencas" y de modificación de la matriz "zpc_1". Su funcionamiento permite rellenar las celdas que componen la cuenca que acaba de ser determinada con el valor de su índice en la matriz "cuencas". Del mismo modo, estas celdas se igualan a 10000 en la matriz zpc_1, eliminando su valor de elevación para proceder al análisis de la siguiente cuenca, cuyo punto de salida será de nuevo la celda de cota mínima en la matriz zpc_1. Esto se consigue al no disponer en ese paso de la ejecución del algoritmo, de los datos de elevación de las celdas que componen las cuencas que ya han sido analizadas, donde se podían encontrar cotas inferiores a este nuevo punto de salida.

Finalmente, el procedimiento descrito que compone la subrutina "Cuencas" terminará cuando todas las celdas de la matriz "zpc_1" tengan un valor de 10000, completando así la determinación de las matrices "marca", "cuencas" e "iarea".

3.5.4 Subrutina REDDESA

3.5.4.1 Metodología

Mediante la subrutina REDDESA se identifican los canales que existen en las distintas cuencas que vierten a la parcela en estudio, asignándoles su orden según el método de clasificación de Horton-Strahler.

El análisis de los canales se realizará cuenca a cuenca, para lo que se utiliza de nuevo el algoritmo de barrido en árbol descrito en el apartado (3.4.1.2). En el momento en el

que se han recorrido todas las celdas que contribuyen al punto de salida de la cuenca en estudio, la red de canales de la misma habrá sido determinada al completo, pasando a analizar la red de canales de la siguiente cuenca. Finalmente, cuando todas las cuencas han sido analizadas, se obtiene en la matriz "ired" la red de canales que contribuye a la parcela en estudio, que en última instancia vierten a través de los puntos de salida ubicados en el borde de la misma.

3.5.4.2 Pseudocódigo subrutina REDDESA

"" SUBROUTINA REDDESA ""

Variables:

marca2 (matriz marca de cuenca) = Matriz de unos (dimensiones f, c)
 ired (matriz red desagüe) = Matriz de ceros (dimensiones f, c)
 isigno (matriz intersecciones) = Matriz de ceros (dimensiones f, c)
 iaum = Umbral de área acumulada (1200 m2)
 contcuenca = contador de cuencas (iniciado en 1)

Algoritmo Red desagüe: Barrido en Árbol modificado

Repetir **mientras** no se hayan analizado todas las cuencas:

Variables:

indmin_c = índice y celda punto de salida de la cuenca en estudio
 indmin_1 = celda punto de salida de la cuenca en estudio
 cotamin_1 = cota punto de salida de la cuenca en estudio
 i = coordenada i celda en estudio (1ª iteración, punto de salida de la cuenca en estudio)
 j = coordenada j celda en estudio (1ª iteración, punto de salida de la cuenca en estudio)
 irp = dirección de vertido punto de salida de la cuenca en estudio
 ip = coordenada i de la celda a la que vierte la de salida de la cuenca en estudio
 jp = coordenada j de la celda a la que vierte la de salida de la cuenca en estudio

Repetir **mientras** la celda de estudio no sea la celda a la que vierte el punto de salida de la cuenca en estudio:

k = valor celda de estudio en matriz marca2
 ki = coordenada i celda vecina a la que se apunta
 kj = coordenada j celda vecina a la que se apunta
si la celda vecina a la que se apunta vierte sobre la de estudio y su valor de iarea es superior al umbral:

si la celda a la que se apunta ha sido completamente analizada:

si el orden de la celda a la que se apunta es igual al de la celda de estudio:

celda de estudio en la matriz isigno se iguala a 1

si no,

si el orden de la celda a la que se apunta es superior al de la celda de estudio:

```

        se iguala el orden de la celda de estudio al de la
celda a la que se apunta
        celda de estudio en la matriz isigno se iguala a 0
si la celda de estudio no ha sido completamente
analizada:
        Se suma 1 a la celda de estudio en la matriz
marca2, pasando a analizar la siguiente vecina
si no:
si el valor de la celda de estudio en la matriz
isigno es igual a 1:
        se suma 1 al orden de la celda de estudio
        ir = dirección de vertido de la celda de estudio
        i = coordenada i de la celda a la que vierte la de
estudio, nueva celda de estudio
        j = coordenada j de la celda a la que vierte la de
estudio, nueva celda de estudio

si no:
        i = coordenada i de la celda a la que se apunta, nueva
celda de estudio
        j = coordenada j de la celda a la que se apunta, nueva
celda de estudio

si no:
si la celda de estudio ha sido completamente analizada:
si el valor de la celda de estudio en la matriz isigno
es igual a 1:
        se suma 1 al orden de la celda de estudio
si no,
si el orden de la celda de estudio es igual a 0:
        se iguala a 1 el orden de la celda de estudio
        ir = dirección de vertido de la celda de estudio
        i = coordenada i de la celda a la que vierte la de
estudio, nueva celda de estudio
        j = coordenada j de la celda a la que vierte la de
estudio, nueva celda de estudio
si no:
        Se suma 1 a la celda de estudio en la matriz marca2,
pasando a analizar la siguiente vecina

```

Sumar 1 al contador de cuencas, se analiza la siguiente cuenca

Variables:

ired_r = matriz ired sin circunvalación

ired_r = matriz ired_r con una dimensión más

guardar matriz ired georeferenciada (archivo .tif)

3.5.4.3 Obtención de la red de canales.

Para obtener la red de canales del conjunto de cuencas que vierten a través de la parcela en cuestión, se ha automatizado el proceso de determinación de la red de canales, que se ejecutará tantas veces como cuencas existan. Para ello, se parte del punto de salida de la cuenca en estudio, almacenado en la lista "indmin_cuencas", que se obtuvo durante la ejecución de la subrutina anterior "Cuencas".

Durante la ejecución de la subrutina, que finaliza cuando se determina la red de canales de todas las cuencas existentes, se toma el punto de salida de la primera cuenca en estudio, y partiendo del mismo, se asciende aplicando el algoritmo D8, que permite apuntar sobre las 8 vecinas de la celda de estudio y así ascender por las celdas que vierten a ella y que superan el umbral establecido. Este ascenso termina cuando la celda de estudio no presenta ninguna celda vecina que apunte a ella, cuyo valor en la matriz "iarea" sea igual o superior al umbral de superficie establecido "iaum". En este caso, la celda de estudio constituye el nudo inicial de un canal, a la cual se asigna su correspondiente orden en la matriz "ired". Concretamente, las celdas que formen parte del mismo canal o tramo de cárcava se rellenarán con 1 en primera instancia y cuando se llegue a una intersección con el orden correspondiente a los canales que de ella deriven. La existencia de una intersección se indica asignando un valor de 1 a la celda de estudio en la matriz "isigno", que será el indicador para modificar el orden del nudo inicial del nuevo canal, así como de las celdas aguas abajo que formen parte del mismo.

Cuando se alcanza la celda de desagüe, y la celda de estudio es aquella a la que vierte el punto de salida de la cuenca de estudio, la determinación de la red de canales de dicha cuenca finaliza y se continúa determinando la red de canales de la siguiente cuenca, cuyo punto de salida está recogido en la lista "indmin_cuencas" junto al índice de la parcela que va a ser analizada. En el momento en el que se determina la red de canales de la última cuenca que vierte a través de la parcela en estudio, la matriz "ired" se habrá terminado de rellenar y a continuación, se guarda como archivo *.tif*.

3.5.5 Subrutina NUDRED

3.5.5.1 Metodología

La subrutina "NUDRED" es la primera de las 4 subrutinas con las que se lleva a cabo la caracterización de la red de canales obtenida en la subrutina "REDDESA". Para ello, en esta primera parte se crea la "Tabla Canales", la cual tendrá tantas filas como canales existan en la red de canales determinada en la subrutina anterior y columnas como atributos se calculen de los canales. Concretamente en esta subrutina se calcula el nudo inicial y final de cada canal, así como su orden y el orden del canal al que vierte.

3.5.5.2 Pseudocódigo subrutina NUDRED

```
"" SUBROUTINA NUDRED ""
```

```
"" Determinación del nº de canales o tramos ""
```

```
variable contcanales = nº de canales o tramos (iniciado a 0)
for i desde 0, hasta nº filas matriz ired:
  for j desde 0, hasta nº columnas matriz ired:
    if la celda de estudio pertenece a un canal:
      variable irmax (iniciada en 0)
      for k desde la dirección 1, hasta 8:
        ki = coordenada i celda vecina a la que se apunta
        kj = coordenada j celda vecina a la que se apunta
        if la celda a la que se apunta vierte sobre la de
estudio:
          irmax = valor máximo entre irmax o el orden de la
celda a la que se apunta
          if irmax menor que el orden de la celda de estudio, esta
celda es nudo inicial de un canal
            Sumar 1 al nº de canales
```

```
"" Identificación de nudos iniciales de tramos ""
```

```
Variables:
```

```
canales (Tabla Canales) = Matriz de ceros, dimensiones (nº de canales,
14 columnas o atributos de canales)
```

```
variable kn = contador de canales (iniciado en 0)
```

```
for i desde 0, hasta nº filas matriz ired:
  for j desde 0, hasta nº columnas matriz ired:
    if la celda de estudio pertenece a un canal:
      variable irmax (iniciada en 0)
      for k desde la dirección 1, hasta 8:
        ki = coordenada i celda vecina a la que se apunta
        kj = coordenada j celda vecina a la que se apunta
        if la celda a la que se apunta vierte sobre la de
estudio:
          irmax = valor máximo entre irmax o el orden de la
celda a la que se apunta
          if irmax es menor que el orden de la celda de estudio,
esta celda es el nudo inicial de un canal
            inud = nº celda en la matriz ired del nudo inicial del
canal
            if aún no existe ningún canal guardado en esta fila de
la Tabla Canales:
              columna 0 = índice canal
              columna 1 = nº de celda nudo inicial en la
matriz ired
              columna 3 = orden canal (valor de ired en el
nudo inicial)
              columna 10 = coordenada i nudo inicial
              columna 11 = coordenada j nudo inicial
              Sumar 1 al contador de canales, se analiza el
siguiente canal
```

```
"" Identificación de nudos finales de tramos ""
```

```
variable iorden = valor máximo matriz ired
for kn desde la primera hasta la última fila de la Tabla Canales:
  i = coordenada i nudo inicial
```

```

j = coordenada j nudo inicial
Repetir while no se haya rellenado la columna 8 en la Tabla
Canales:
    ir = dirección de vertido de la celda de estudio
    ki = coordenada i de la celda a la que vierte la de estudio
    kj = coordenada j de la celda a la que vierte la de estudio
    if orden celda a la que vierte la de estudio es distinto al
orden celda de estudio, es nudo final
        columna 2 = n° de celda del nudo final en la matriz ired
        columna 4 = orden del canal al que vierte el canal en
estudio
        columna 8 = n° de celda a la que vierte el nudo final en
la matriz ired
        columna 12 = coordenada i del nudo final
        columna 13 = coordenada j del nudo final
    else:
        i = coordenada i celda a la que vierte la de estudio,
nueva celda de estudio
        j = coordenada j celda a la que vierte la de estudio,
nueva celda de estudio

```

3.5.5.3 Creación de la Tabla Canales y obtención de los nudos inicial y final del canal

La Subrutina se inicia determinando el número de canales que componen la red almacenada en la matriz "ired". Para ello, se procede a calcular el número de nudos iniciales existentes en la matriz "ired", definidos como celdas, cuyas vecinas si vierten sobre ella, presentan un orden inferior al de la celda de estudio. A continuación, se crea la Tabla Canales, con el mismo número de filas que de canales o nudos iniciales y con 14 columnas, donde se almacenarán los siguientes atributos:

0. Índice del canal
1. Celda nudo inicial del canal
2. Celda nudo final del canal
3. Orden del canal actual
4. Orden del canal al que vierte el actual
5. Desnivel del canal (m)
6. Área total desaguada por el canal (celdas)
7. Longitud del canal (m)
8. Área específica del canal (celdas)

9. Cuenca a la que pertenece el canal
10. Coordenada i del nudo inicial
11. Coordenada j del nudo inicial
12. Coordenada i del nudo final
13. Coordenada j del nudo final

Una vez creada la Tabla Canales, en la segunda parte de la subrutina se determina de nuevo el nudo inicial de cada canal mediante el procedimiento ya descrito, guardándose para cada uno de ellos, en su columna correspondiente de la Tabla Canales, el índice del canal, la celda del nudo inicial, el orden del canal (valor del nudo inicial en la matriz "ired"), así como las coordenadas i y j de la celda del nudo inicial.

La tercera parte permite identificar el nudo final de cada tramo o canal. El procedimiento para su determinación parte del nudo inicial de cada uno, situado aguas arriba del canal, desde el que se inicia un descenso en la dirección de vertido de cada celda de estudio. A continuación, si durante el descenso se alcanza una celda de estudio que vierte hacia otra con un orden superior al del canal, dicha celda de estudio se corresponde con el nudo final y de ella, se guardan en sus correspondientes columnas de la Tabla Canales, varios atributos, como la celda del nudo final y sus coordenadas i y j. Además, también se guarda de forma auxiliar la celda a la que se apunta desde la de estudio, cuyo orden se corresponde con el orden del canal al que vierte el canal en estudio, valor que se almacena en la columna 4 de la Tabla Canales.

3.5.6 Subrutina ANRED

3.5.6.1 Metodología

En esta subrutina se calcula el desnivel de cada canal y la superficie total desaguada por el mismo, que se guardan en las columnas 5 y 6 de la Tabla Canales, respectivamente. El desnivel es calculado como la diferencia de cota existente entre los nudos inicial y final del mismo, determinados en la subrutina NUDRED. Sin embargo, la superficie desaguada por el canal se corresponde con el valor de la matriz "iarea" en el nudo final del canal. Este proceso se repite para cada canal guardado en la Tabla Canales.

3.5.6.2 Pseudocódigo subrutina ANRED

```
"" SUBROUTINA ANRED ""
```

```
for kn desde la primera hasta la última fila de la Tabla Canales:
  ii = coordenada i del nudo inicial
  ji = coordenada j del nudo inicial
  ifi = coordenada i del nudo final
  jfi = coordenada j del nudo final
  columna 5 = desnivel del canal (diferencia de cotas entre nudo
inicial y final)
  columna 6 = área total desaguada por el canal (área acumulada en
el nudo final)
```

3.5.7 Subrutina LATRED

3.5.7.1 Metodología

La Subrutina LATRED parte del nudo inicial de cada canal, desde el cual se desciende en la dirección de vertido de las celdas de estudio, acumulando en una variable auxiliar (rLac) la suma de los factores de dimensión en función de la dirección de vertido de cada celda que pertenece al canal, ya sea ortogonal o diagonal, hasta alcanzar el nudo final del canal. Tras ello, conociendo la dimensión del lado de la celda se obtiene la longitud del canal, así como su superficie específica, que será igual al número de celdas que lo conforman. Ambas variables se guardan en las columnas 7 y 8 de la Tabla Canales, respectivamente, para cada canal guardado en dicha tabla.

3.5.7.2 Pseudocódigo de la subrutina LATRED

```
"" SUBROUTINA LATRED ""
""
```

```
Calcula la superficie específica del canal y la longitud
almacena los datos en las columnas 7 y 8 de la tabla canales
""
```

```
for kn desde la primera hasta la última fila de la Tabla Canales:
```

```
  ii = coordenada i del nudo inicial
  ji = coordenada j del nudo inicial
  ifi = coordenada i del nudo final
  jfi = coordenada j del nudo final
```

```
  variable rLac = Sumatorio factores de dimensión
  Se iguala a 0 la columna 7
  Se iguala a 0 la columna 8
```

```
  Repetir mientras no se haya rellenado la columna 7 en la Tabla
  Canales:
```

```
    Comprobar dirección canal en celda de estudio
```

```

si dirección diagonal:
    Sumar 1.414214 a rLac
Si no: (dirección ortogonal)
    Sumar 1 a rLac
Sumar 1 al área específica del canal (columna 8)
si canal solo tiene una celda
    columna 7 = Longitud canal (rLac x dimensión celda)
    salir del bucle
ir = dirección de vertido nudo inicial
ki = coordenada i celda a la que vierte el nudo inicial
kj = coordenada j celda a la que vierte el nudo inicial
si celda a la que vierte el nudo inicial es nudo final:
    ii = coordenada i nudo final, nueva celda estudio
    ji = coordenada j nudo final, nueva celda estudio
    Comprobar dirección canal en celda de estudio
    si dirección diagonal:
        Sumar 1.414214 a rLac
    Si no: (dirección ortogonal)
        Sumar 1 a rLac
    columna 7 = Longitud canal (rLac x dimensión celda)
    Sumar 1 al área específica del canal (columna 8)
    continuar
si celda de estudio es el nudo final
    salir del bucle
si no:
    ii = coordenada i nueva celda estudio, a la que vierte el
nudo inicial
    ji = coordenada j nueva celda estudio, a la que vierte el
nudo inicial

```

3.5.8 Subrutina CUENCANAL

3.5.8.1 Metodología

En esta última Subrutina se determina la cuenca a la que pertenece cada uno de los canales que componen la red determinada en la subrutina REDDESA. Para ello, se determina el valor de la matriz "Cuenca" en el nudo final del canal y se guarda en la columna 9 de la Tabla Canales.

Tras su ejecución se habrá completado la caracterización de los canales, guardándose la Tabla Canales como archivo *.txt*.

3.5.8.2 Pseudocódigo de la subrutina CUENCANAL

```

"" SUBROUTINA CUENCANAL ""
for kn kn desde la primera hasta la última fila de la Tabla Canales:
    ifi = coordenada i nudo final
    jfi = coordenada j nudo final
    columna 9 = valor nudo final en matriz cuencas (índice cuenca a la
que pertenece el canal)

Guardar Tabla Canales archivo .txt

```

3.5.9 Filtrado de la Tabla Canales

Después de caracterizar los canales que integran la red que contribuye a los puntos de salida de las cuencas, ubicados en los bordes de la parcela objeto de estudio, se realiza un filtrado de los mismos. En él se descartarán los canales de orden 1 que vierten directamente al exterior de la parcela, al tener estos canales una escasa probabilidad de evolucionar en un corto-medio plazo hacia una red de cárcavas de mayor orden que ocasionen problemas en la parcela.

Para ello, se guarda en una lista el índice de aquellos tramos o canales que, en la Tabla Canales, presentan un orden distinto de 1 y de aquellos que siendo de orden 1, vierten a un canal de orden superior al mismo. De esta forma, se cuentan los canales que cumplen este criterio y se crea una nueva tabla de canales filtrados o "Tabla Canales_f", que se rellena con los atributos de cada canal, almacenados en la Tabla Canales y se guarda en formato *.txt*.

3.5.9.1 Pseudocódigo

```
""" Filtrado Canales """
```

Variables:

```
ordencanales = Acumula el índice de los canales filtrados
contcanales_f = Contador canales filtrados
```

```
for kn desde la primera hasta la última fila de la Tabla Canales:
    si el orden del canal en estudio es distinto de 1, o es 1 y vierte
    sobre otro de orden mayor:
        Suma 1 a contcanales_f
        Almacena el índice del canal en ordencanales
```

Variables:

```
canales_f (Tabla Canales Filtrados) = Matriz de ceros, dimensiones (n°
de canales filtrados, 14 columnas o atributos de canales)
kn = contador de canales filtrados (iniciado en 0)
```

```
for kn desde la primera hasta la última fila de la Tabla Canales
Filtrados:
    columna 0 = índice canal filtrado (Tabla Canales, columna 0)
    columna 1 = n° celda nudo inicial (Tabla Canales, columna 1)
    columna 2 = n° celda nudo final (Tabla Canales, columna 2)
    columna 3 = orden canal estudio (Tabla Canales, columna 3)
    columna 4 = orden canal al que vierte (Tabla Canales, columna 4)
    columna 5 = desnivel canal (Tabla Canales, columna 5)
    columna 6 = área total desaguada canal (Tabla Canales, columna 6)
    columna 7 = longitud canal (Tabla Canales, columna 7)
    columna 8 = área específica canal (Tabla Canales, columna 8)
```

```

columna 9 = cuenca canal (Tabla Canales, columna 9)
columna 10 = coordenada i nudo inicial (Tabla Canales, columna 10)
columna 11 = coordenada j nudo inicial (Tabla Canales, columna 11)
columna 12 = coordenada i nudo final (Tabla Canales, columna 12)
columna 13 = coordenada j nudo final (Tabla Canales, columna 13)

```

for kn desde la primera hasta la última fila de la Tabla Canales:
 actualizar el índice de los canales filtrados

Guardar Tabla Canales_f archivo .txt

3.5.10 Subrutina INDCANAL

Una vez se ha obtenido la Tabla Canales Filtrados, se crea una nueva matriz denominada "indcanal", con las mismas dimensiones del MDT circunvalado, que alberga la red formada por los canales recogidos en dicha tabla y cuyas celdas presentan el valor de su índice. De esta forma, mediante esta subrutina del mismo nombre, se obtiene una nueva matriz en la que se relacionan dichos canales con su caracterización, recogida en la Tabla Canales Filtrados.

El relleno de esta matriz se realiza canal a canal, de forma que, partiendo de los nudos iniciales de cada uno, se desciende a través de las direcciones de vertido de las celdas de estudio, asignando el valor del índice del canal a cada celda que lo compone hasta que se alcanza el nudo final del mismo. Cuando termina de analizarse un canal se pasa al siguiente y en el momento en que todos los canales han sido analizados, la matriz indcanal habrá terminado de completarse.

3.5.10.1 Pseudocódigo

```

""" SUBROUTINA INDCANAL """

```

Variables:

```

indcanal (matriz índice canales) = Matriz de ceros, misma dimensión
MDT circunvalado (f, c)
kn = contador de canales filtrados (iniciado en 0)

```

Repetir **mientras** no se hayan analizado todos los canales filtrados:

```

i = coordenada i nudo inicial canal
j = coordenada j nudo inicial canal
ifi = coordenada i nudo final canal
jfi = coordenada j nudo final canal
irp = dirección de vertido del nudo final
ip = coordenada i celda a la que vierte el nudo final
jp = coordenada j celda a la que vierte el nudo final

```

Repetir **mientras** la celda de estudio no sea la celda a la que vierte el nudo final del canal en estudio:

Valor celda de estudio en la matriz indcanal = índice canal
ir = dirección de vertido de la celda de estudio
i = coordenada i de la celda a la que vierte la de estudio,
nueva celda de estudio
j = coordenada j de la celda a la que vierte la de estudio,
nueva celda de estudio

Sumar 1 al contador, se analiza el siguiente canal

Variables:

indcanal_r = matriz indcanal sin circunvalación
indcanal_r = matriz indcanal_r con una dimensión más
guardar matriz indcanal georeferenciada (archivo .tif)

3.5.11 Subrutina CARCAVAS

3.5.11.1 Metodología

En esta subrutina se crea la Tabla Cárcavas, que recoge la caracterización de las estructuras necesarias para la contención de las cárcavas o canales existentes en las cuencas que vierten sobre la parcela en estudio, almacenados en la Tabla Canales Filtrados. Para ello, partiendo de sus atributos, se realizan una serie de cálculos para su determinación.

En primer lugar, se crea la Tabla Cárcavas, que tendrá tantas filas como la Tabla de Canales Filtrados y 11 columnas en las que se recogen los siguientes atributos:

0. Índice de la cárcava
1. Orden de la cárcava
2. Longitud de la cárcava (m)
3. Pendiente de la cárcava (%)
4. Ancho de la cárcava (m)
5. Profundidad de la cárcava (m)
6. Distanciamiento entre barreras (m)
7. Número de barreras
8. Número mínimo de diques con piezas
9. Número mínimo de piezas
10. Número máximo de piezas

Tanto el índice, como el orden de la cárcava, su longitud y su pendiente, obtenida como resultado de dividir el desnivel entre la longitud, proceden de los datos recogidos en la Tabla de Canales Filtrados, o de realizar operaciones simples a partir de estos. Sin embargo, los atributos que se recogen en el resto de las columnas de la Tabla Cárcavas están relacionadas con la tipología y la morfología de las estructuras de contención, cuyo diseño ha sido ampliamente estudiado en el marco del Proyecto Innolivar.

Concretamente, la necesidad de implantar estructuras de contención a base de bloques prefabricados de hormigón dependerá de las dimensiones de la cárcava, es decir, de su anchura y profundidad, las cuales se relacionan con los procesos erosivos que ocurren en estos sistemas de cultivo, dando origen a las cárcavas. En este caso, el establecimiento de la anchura y la profundidad se realiza en función del orden del canal según Horton-Strahler, al relacionarse la posición de la cárcava con su nivel de desarrollo. Para ello, las cárcavas de orden 1 se caracterizan con 1 m de anchura y 0,75 m de profundidad, mientras que las de órdenes superiores se establecen en 2 m de anchura y 1 m de profundidad. Estos valores podrán adaptarse cuando se utilice esta herramienta para la identificación de cárcavas en una finca real, introduciendo el usuario sus propios valores en función de la caracterización de las principales cárcavas existentes en su parcela.

Otro factor de gran importancia es la distancia entre barreras, ya sean de bloques de hormigón o de empalizadas vegetales, para lo que se tiene en cuenta tanto la altura del dique como la pendiente del tramo y el solapamiento entre diques. En estas líneas, se van a utilizar dos tipos de diques.

- Tipología 1: Diques de 0,32 m de altura efectiva, en cárcavas de profundidad inferior a 0,75 m.
- Tipología 2: Diques de 0,49 m de altura efectiva, en cárcavas de profundidad superior a 0,75 m.

De esta manera, teniendo en cuenta el distanciamiento calculado y la longitud del tramo o cárcava se puede conocer el número de barreras necesarias, siendo el 10% de ellas el número mínimo de diques a base de piezas prefabricadas de hormigón, a lo que debe sumarse otro dique extra situado en la cabecera de la cárcava. Conociendo este dato, se puede estimar el número mínimo de piezas de hormigón que se necesitan para

completar la instalación de las barreras, siendo para los diques de tipología 1, 20 piezas por dique y para los de tipología 2, 30 piezas. Así como el número máximo de piezas, que se obtiene de suponer que todas las barreras que se instalen estén compuestas por piezas de hormigón.

Finalmente, una vez se ha completado la Tabla Cárcavas, esta se guarda como archivo *.txt*.

3.5.11.2 Pseudocódigo subrutina CARCAVAS

```
""" SUBROUTINA CARCAVAS """
```

Variables:

```
carcavas = Matriz de ceros, dimensiones (nº de canales filtrados, 11
columnas o atributos de canales)
```

```
c = Solapamiento (0.3)
```

```
hmin = Altura dique menor (0.32)
```

```
hmax = Altura dique mayor (0.49)
```

```
for cc desde la primera hasta la última fila de la Tabla Canales
```

```
Filtrados:
```

```
columna 0 = índice cárcava
```

```
columna 1 = orden cárcava
```

```
columna 2 = longitud cárcava
```

```
si no existe desnivel en el canal
```

```
columna 3 = suponer desnivel de 0.1 m y calcular pendiente (%)
```

```
si no:
```

```
columna 3 = calcular pendiente (%)
```

```
si el orden de la cárcava es 1:
```

```
columna 4 (Ancho cárcava) = 1
```

```
columna 5 (Profundidad cárcava) = 0.5
```

```
si no:
```

```
columna 4 (Ancho cárcava) = 2
```

```
columna 5 (Profundidad cárcava) = 1
```

```
""" Carcavas 6, Distanciamiento """
```

```
si el ancho de la cárcava es inferior a 1.6 m o su profundidad
inferior a 0.75 m (orden 1):
```

```
Se escoge el dique de menor altura (0.32)
```

```
columna 6 (distanciamiento) =
```

```
(altura/((solapamiento*pendiente)/100))
```

```
si no: (orden > 1)
```

```
Se escoge el dique de mayor altura (0.49)
```

```
columna 6 (distanciamiento diques) =
```

```
(altura/((solapamiento*pendiente)/100))
```

```
""" Carcavas 7, Número de barreras """
```

```
si (longitud cárcava / espaciamento diques) menor que 1:
```

```
columna 7 (nº diques) = 1
```

```
si no:
```

```
columna 7 (nº diques) = (longitud cárcava / espaciamento
```

```
diques) + 1
```

```

""" Carcavas 8, Numero minimo de diques con piezas """
si n° diques menor que 10:
    columna 8 (n° mínimo diques con piezas) = 1
si no:
    columna 8 (n° mínimo diques con piezas) = (n° diques*0.1)+1

""" Carcavas 9, numero minimo de piezas """
si profundidad cárcava menor o igual que 0.75 (orden 1):
    si ancho cárcava menor o igual que 3:
        npie (n° piezas) = (Ancho cárcava + 1)*10
        columna 9 (n° mínimo piezas) = n° mínimo diques con piezas
* n° piezas
    si no:
        npie (n° piezas) = (Ancho cárcava + 2)*10
        columna 9 (n° mínimo piezas) = n° mínimo diques con piezas
* n° piezas
    si no (orden > 1):
        npie (n° piezas) = (Ancho cárcava + 1)*10
        columna 9 (n° mínimo piezas) = n° mínimo diques con piezas *
n° piezas

""" Carcavas 10, numero maximo de piezas """
si profundidad cárcava menor o igual que 0.75:
    si ancho cárcava menor o igual que 3:
        npie (n° piezas) = (Ancho cárcava + 1)*10
        columna 10 (n° máximo de piezas) = n° diques * n° piezas
    si no:
        npie (n° piezas) = (Ancho cárcava + 2)*10
        columna 10 (n° máximo de piezas) = n° diques * n° piezas
si no:
    npie (n° piezas) = (Ancho cárcava + 1)*10
    columna 10 (n° máximo de piezas) = n° diques * n° piezas

```

Guardar Tabla Canales_f archivo .txt

3.6 Método de fotointerpretación de cárcavas.

El método para la identificación de cárcavas mediante fotointerpretación está basado en el análisis visual de las mismas a partir de información espacial. Entre dicha información espacial, destacan las capas correspondientes a la imagen satélite ofrecida por Google, a la red hidrográfica permanente en formato vectorial y a los MDT. La combinación de estas capas permite identificar con facilidad las zonas del terreno donde se encuentran las cárcavas.

El proceso de fotointerpretación se llevó a cabo mediante el software QGIS, que permitió visualizar las capas cargadas y digitalizar las cárcavas que se hallan en la zona de estudio seleccionada.

3.6.1 Datos de partida

3.6.1.1 Ortofotografías del terreno

Para identificar visualmente las cárcavas, será necesario haber cargado la imagen Satélite del terreno. En este caso, se utiliza la imagen ofrecida por Google mediante un servidor web, que facilitará el manejo de esta información, al no ser necesaria su descarga. Otra ventaja es la resolución, por debajo de 0.5 x 0.5 m, ofrecida en esta capa, la cual permite realizar sin ningún problema la fotointerpretación de las cárcavas.

3.6.1.2 Red Hidrográfica

La información vectorial de la red hidrográfica es utilizada para discriminar aquellos cauces permanentes y registrados en la Red, de las cárcavas que deben ser identificadas. Esta información de tipo vectorial está disponible en varias webs de carácter nacional y autonómico. En este caso se utiliza la capa "Ríos" de la Red Hidrográfica, disponible en los Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA), del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.

3.6.1.3 MDT

El MDT utilizado como apoyo para la fotointerpretación de las cárcavas, será el de su correspondiente tamaño de celda 2 o 5 m, dependiendo del caso de estudio, ya corregido que fue utilizado en la herramienta de identificación automática de cárcavas.

3.6.1.4 Parcela

También es necesario contar con el archivo vectorial que contiene el polígono de la parcela objeto de estudio, ya que la identificación de las cárcavas se llevará a cabo partiendo de los puntos de salida ubicados en los bordes de la parcela, y de ahí aguas arriba.

3.6.2 Metodología

Una vez se dispone en el visor de QGIS de la imagen satélite de Google, del MDT correspondiente, de la red hidrográfica y del archivo *.shp* de la parcela, encontrándose todas las capas con su correspondiente Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC), se

crea una nueva capa vectorial con geometría de línea, donde se almacenarán las cárcavas digitalizadas manualmente.

Para ello, se superpone el archivo shapefile de la parcela sobre la imagen satélite y se comienza localizando los puntos de salida de las cárcavas ubicados en el borde de la parcela. El análisis de cada cárcava se hará en sentido contrario al flujo de vertido, es decir, desde el punto de salida hasta la cabecera de la cárcava. Por ello, una vez se ha localizado el punto de desagüe, se asciende por la cárcava, dibujándola sobre la imagen satélite y utilizando como apoyo el MDT sombreado. De esta manera se definirán tantos vértices como sean necesarios, hasta que se alcance el punto aguas arriba de la cárcava, a partir de la cual, deja de distinguirse visualmente su cauce.

Una vez trazada la cárcava principal, que se corresponde en la zona más próxima al punto de salida, con el canal de mayor orden de dicha cuenca, se deben localizar todos los tramos de orden menor que vierten sobre ella, y cuya identificación se realiza para obtener lo más completa posible, la red de cárcavas de cada cuenca que vierte a través de la parcela de estudio. Para ello, se vuelve a utilizar la información cargada anteriormente y se opera partiendo del canal principal o cárcava de mayor orden ya dibujada. A partir de ella, y en sentido descendente, se van localizando las posibles intersecciones de los canales que confluyen en ella. Así partiendo de esta la intersección, se definen los vértices de estos canales afluentes, hasta llegar a su correspondiente cabecera.

En el momento en el que se hayan definido todas las cárcavas que contribuyen al punto de salida ubicado en el borde de la parcela, desde el que se ha comenzado el análisis, se buscará un nuevo punto de salida. Este procedimiento se repetirá tantas veces como puntos de salida se encuentren, finalizando cuando se haya obtenido la red de cárcavas de todas las cuencas que vierten a través de la parcela en estudio.

4 Resultados y Discusión

4.1 Identificación automática de la red de cárcavas de una finca

4.1.1 Selección de la finca de estudio

Una vez diseñado e implementado, el programa de identificación automática de cárcavas fue utilizado para realizar el análisis de un caso de estudio concreto. Para ello, se seleccionó una finca concreta, situada en el noreste del Término Municipal (T.M.) de Jaén (Figura 4.1). En esta selección se tuvieron en cuenta diversos factores, como la presencia del cultivo del olivar, su situación en una zona de campiña con pendientes moderadas y su proximidad a cursos fluviales, que pudiesen favorecer la formación de cárcavas. Para localizar esta finca, se utilizaron los datos cartográficos de la sede electrónica del catastro, los cuales, al mostrarse sobre la ortofoto de máxima actualidad del PNOA, permitieron ver como en esta finca predominaba el cultivo de olivar y su superficie era suficiente para albergar varias cuencas. Esto se corroboró al identificar visualmente cárcavas que vierten hacia distintos puntos del terreno, originando varios puntos de salida ubicados en los límites de la finca.

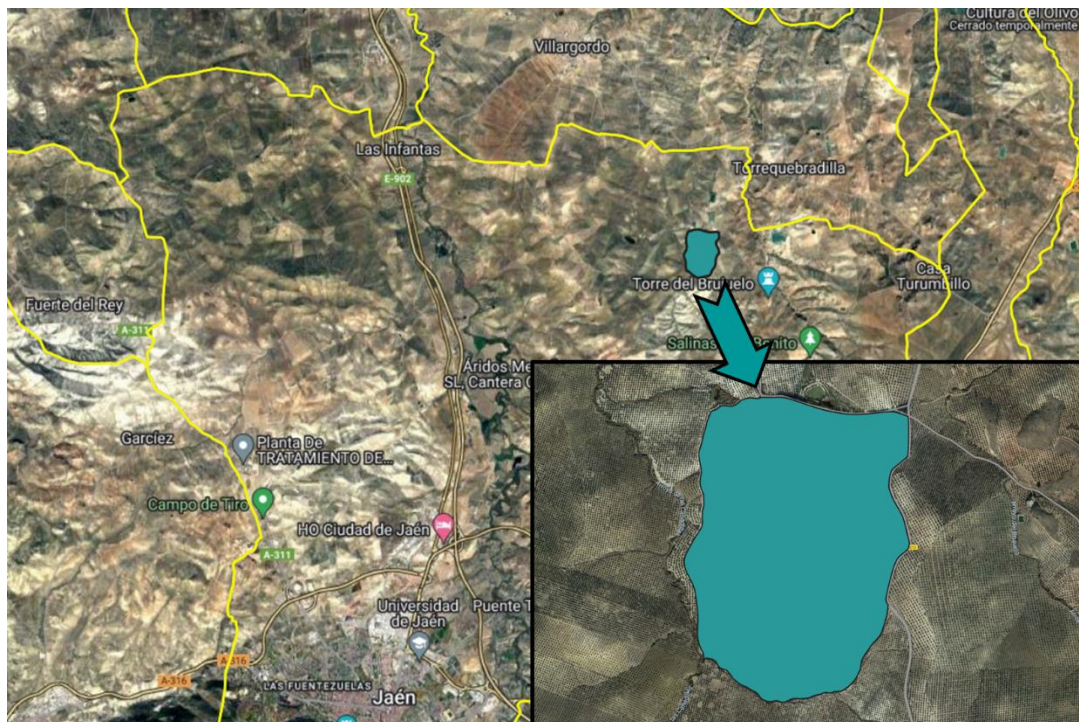


Figura 4.1 Situación y detalle de la parcela sobre el T.M. de Jaén

Como se observa en la Figura 4.2, la parcela seleccionada, que se encuentra en el paraje "Pozo" y que tiene una superficie de 101 hectáreas, se sitúa a unos 3 km del núcleo de Torrequebradilla perteneciente al término municipal de Villatorres, actuando como linde por el este la carretera que une este municipio con la ciudad de Jaén. Además, por el oeste, a escasos metros de la parcela, se localiza el Arroyo de las Cañadillas, en el que desembocan las diferentes redes de cárcavas que atraviesan esta finca.



Figura 4.2 Localización de la parcela respecto a la red de carreteras y a la red hidrográfica

Los tipos de suelo que predominan en la parcela de estudio se muestran en la Figura 4.3. El Mapa Geológico Nacional (MAGNA 50) permite observar cómo el 80% del suelo de la parcela se ha formado a partir de margas blancas y arenosas (albarizas), mientras que el 20% restante, en la zona suroeste de la parcela se ha formado a partir de una alternancia de arenas, areniscas calcáreas, arcillas y margas.

En la Figura 4.4, se representa la parcela de estudio sobre el mapa de Google Satellite Hybrid, que, por su elevada resolución, permite distinguir el predominio del olivar dispuesto en marco rectangular, a excepción del tercio suroeste, donde el cultivo parece estar dispuesto según curvas de nivel. Esta disposición puede estar relacionada con una mayor pendiente en esta zona, que favorece la formación de cárcavas que vierten sobre el arroyo de las Cañadillas y que se pueden observar a simple vista sobre la imagen

satélite. Por otra parte, en la zona noreste de la parcela, se distingue una isla de vegetación de 2,5 ha de matorral.

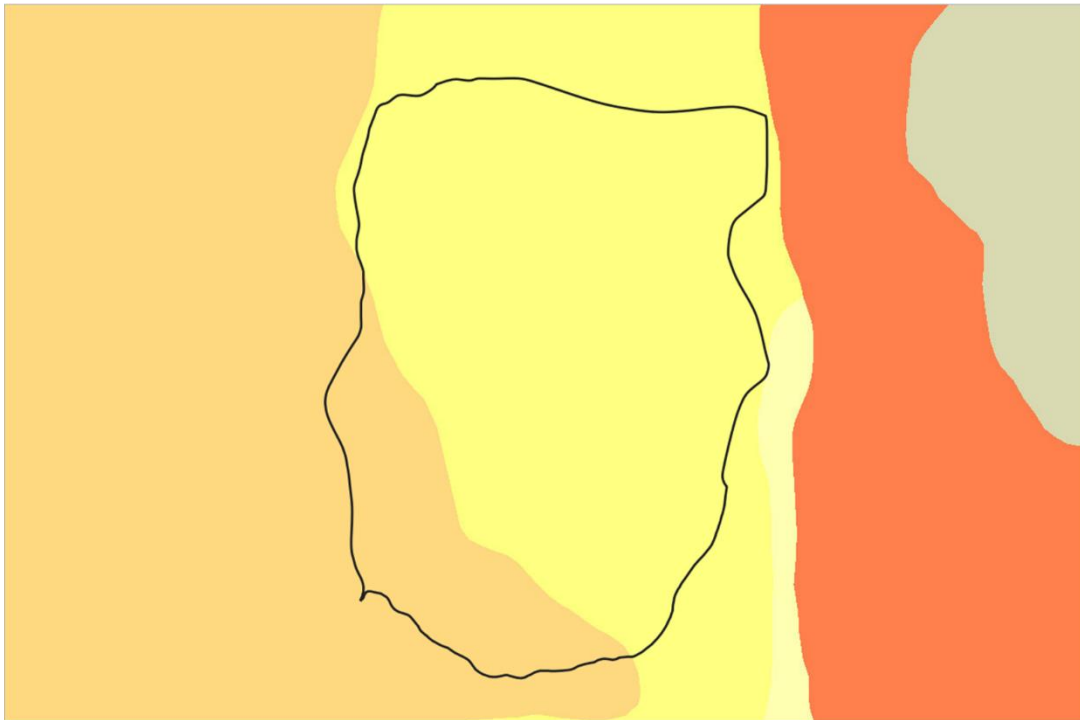


Figura 4.3 Límites de la parcela sobre el MAGNA 50. Leyenda: Amarillo: Margas blancas y arenosas (albarizas). Ocre: Alternancia de arenas, areniscas calcáreas, arcillas y margas



Figura 4.4 Límites de la parcela sobre el Mapa de Google Satellite Hybrid

4.1.2 Obtención y corrección de los MDT

Para analizar la red de cárcavas existente en la parcela de estudio se utilizaron dos MDT con distinta resolución, en línea con el segundo objetivo específico de este estudio. Para ello, desde el Centro de Descargas del IGN se obtuvieron en formato *.asc* la hoja 0926 del MDT05, que se corresponde con el MDT de 5 m de paso de malla (MDT-05) y las hojas 0926-3 y 0926-4 del MDT02, que se corresponden con el MDT de 2 m de paso de malla (MDT-02), las cuales cubren al completo la superficie de la finca.

A continuación, se corrigieron los sumideros y zonas deprimidas de las mismas mediante el paquete de SAGA Fill Sinks (Wang y Liu), guardando las hojas corregidas en formato *.tif*.

La superficie cubierta por el MDT representado en la Figura 4.5, se corresponde con la hoja 0926 del MTN50, formato en el que se distribuyen los datos correspondientes al MDT05. Sin embargo, en la Figura 4.6, el MDT representado solo ocupa la mitad sur de la hoja 0926, resultado de combinar las hojas 0926-3 y 0926-4 del MTN25, según las cuales se distribuye el MDT02 y que individualmente ocupan la cuarta parte de una hoja del MDT05.

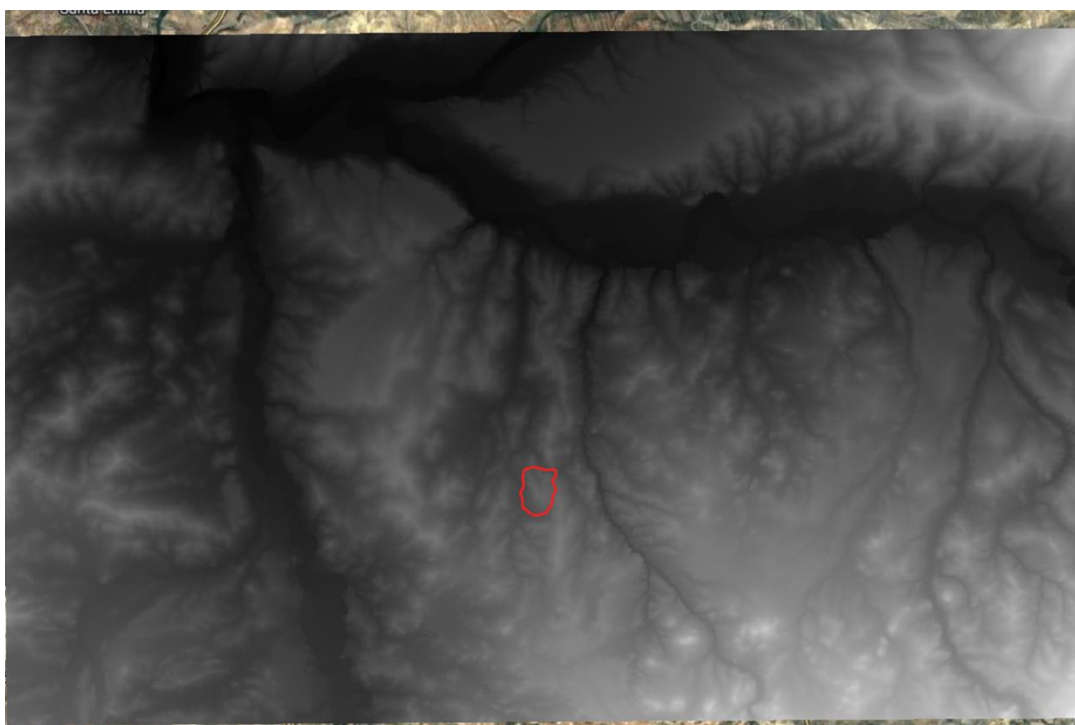


Figura 4.5 Límites de la parcela sobre el MDT de la hoja 0926 con paso de malla de 5 x 5 m

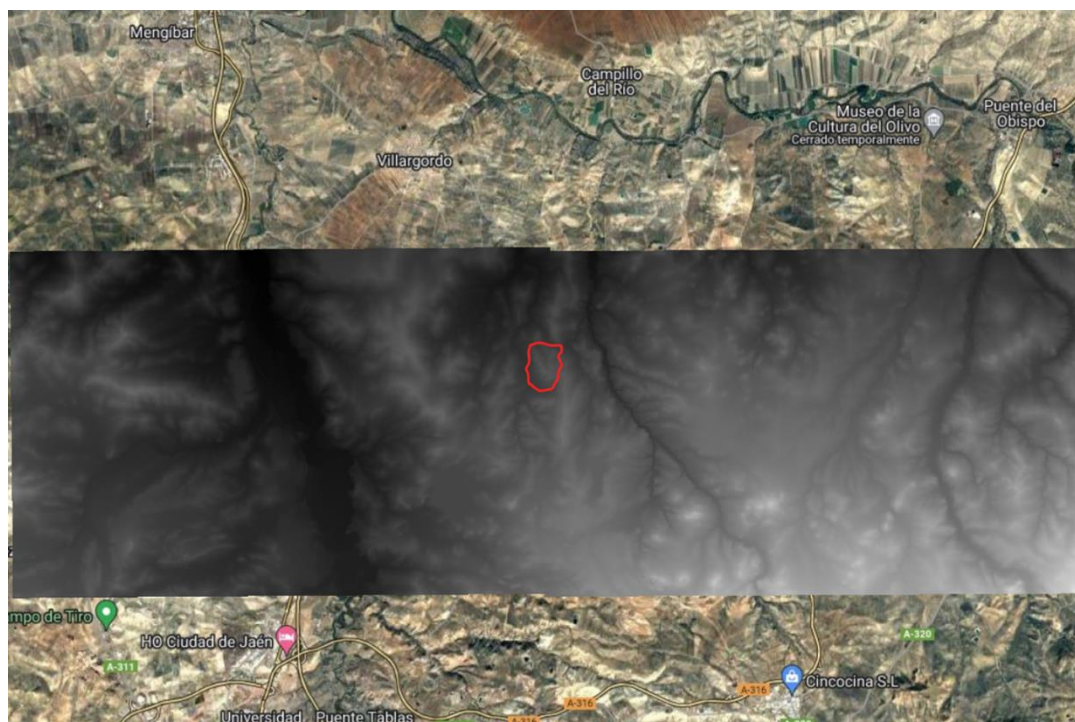


Figura 4.6 Límites de la parcela sobre el MDT de la hoja 0926-3 y 0926-4 con paso de malla de 2 x 2 m

4.1.3 Obtención del MDT de la parcela

Tanto el MDT corregido en formato *.tif*, que cubre la superficie de la parcela, como el archivo *.shp* de la misma se cargan en el programa de identificación de cárcavas diseñado para obtener el MDT de la parcela, que se guarda en formato *.tif*. Este archivo, que solamente conserva la elevación de las celdas pertenecientes a la parcela, se utiliza en la identificación de los puntos de salida de las cuencas que vierten a través de la parcela de estudio.

4.1.4 Determinación de las direcciones de vertido (matriz *idf*)

Para obtener la matriz direcciones de vertido "idf", se aplica al MDT corregido la Subrutina *DIRECCIONES*. A continuación, la matriz "idf" resultante se georreferencia y se guarda en formato *.tif*. En las Figuras 4.7 y 4.8 se recogen para el MDT-05 y para el MDT-02, respectivamente, su matriz "idf", donde se representa la dirección de vertido (1 a 8) de cada celda del MDT, mostrando sobre él los límites de la parcela objeto de estudio.

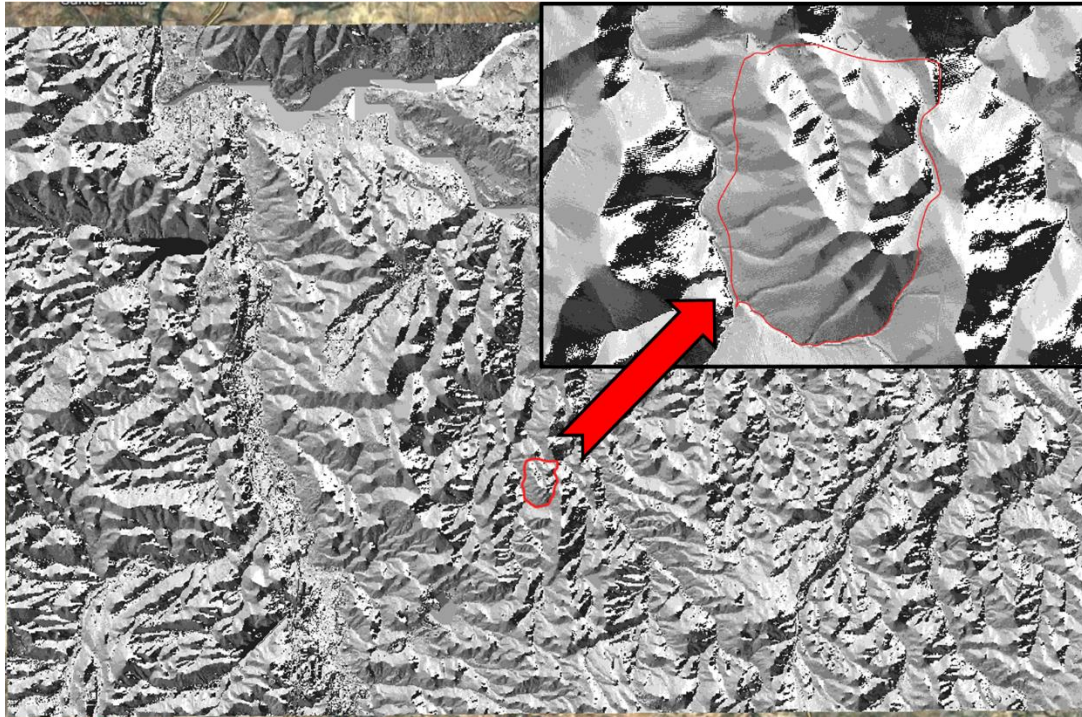


Figura 4.7 Matriz "idf" obtenida a partir del MDT con celdas de 5 x 5 m. Detalle de la parcela de estudio

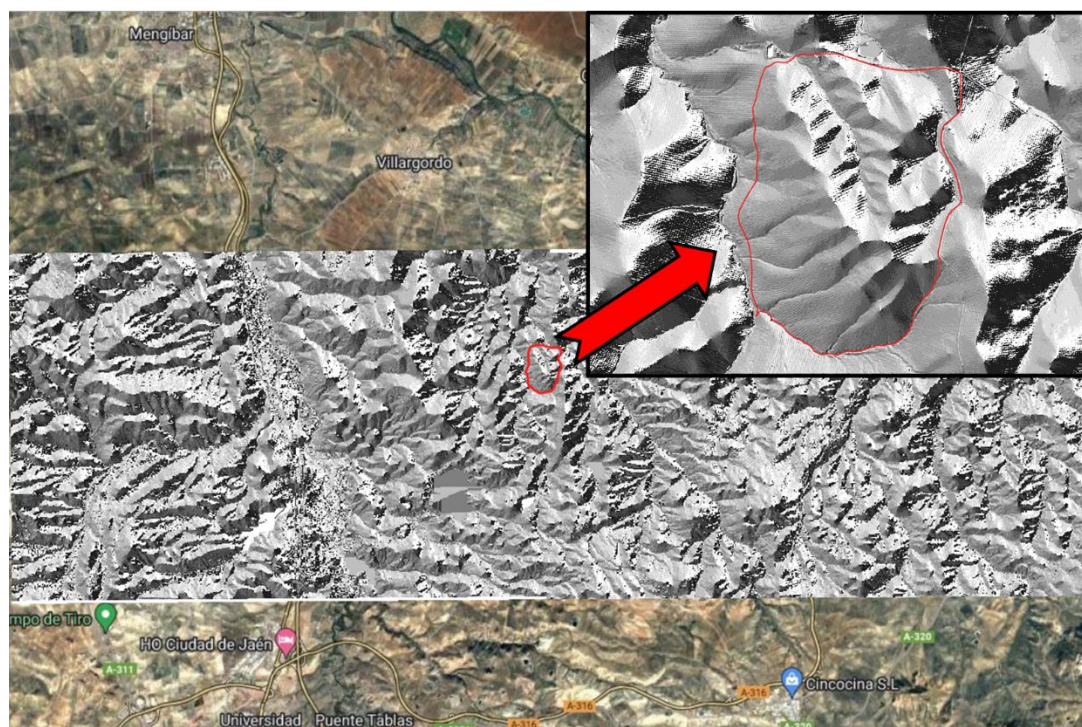


Figura 4.8 Matriz "idf" obtenida a partir del MDT con celdas de 2 x 2 m. Detalle de la parcela de estudio

Tal y como se aprecia en las Figuras 4.7 y 4.8, a simple vista no se observan diferencias entre las direcciones de vertido para ambos tamaños de celda. Sin embargo, existen elementos del terreno, como la red de carreteras, que afectan a los patrones de flujo debido a su diseño, en el que se emplean obras de drenaje y cunetas, pero que, debido a su escasa anchura, solo son identificados de forma precisa cuando se utiliza el MDT-02. De forma concreta, en la figura 4.9.A se representa la carretera JV-3012, que actúa como límite de la parcela por el este, y que modifica el flujo de las escorrentías que circulan a un lado y a otro de la misma. En la figura 4.9.B, se observa como al utilizar el MDT-05, la vía no se identifica con la misma precisión que cuando se utiliza el MDT-02 (figura 4.9.C), lo que se traduce en la obtención de diferentes direcciones de vertido para un mismo punto del terreno en función de la resolución del MDT utilizado. Esta es la principal razón de que, cuando se trabaja con un MDT de estructura regular con celdas cuadradas, si se desean identificar elementos del terreno con una determinada anchura, es conveniente utilizar un MDT con una resolución inferior a dicha anchura, ya que estos elementos pueden modificar, debido a su diseño, las direcciones de vertido del terreno y en última instancia la red de cárcavas, por lo que deben ser tenidos en cuenta.

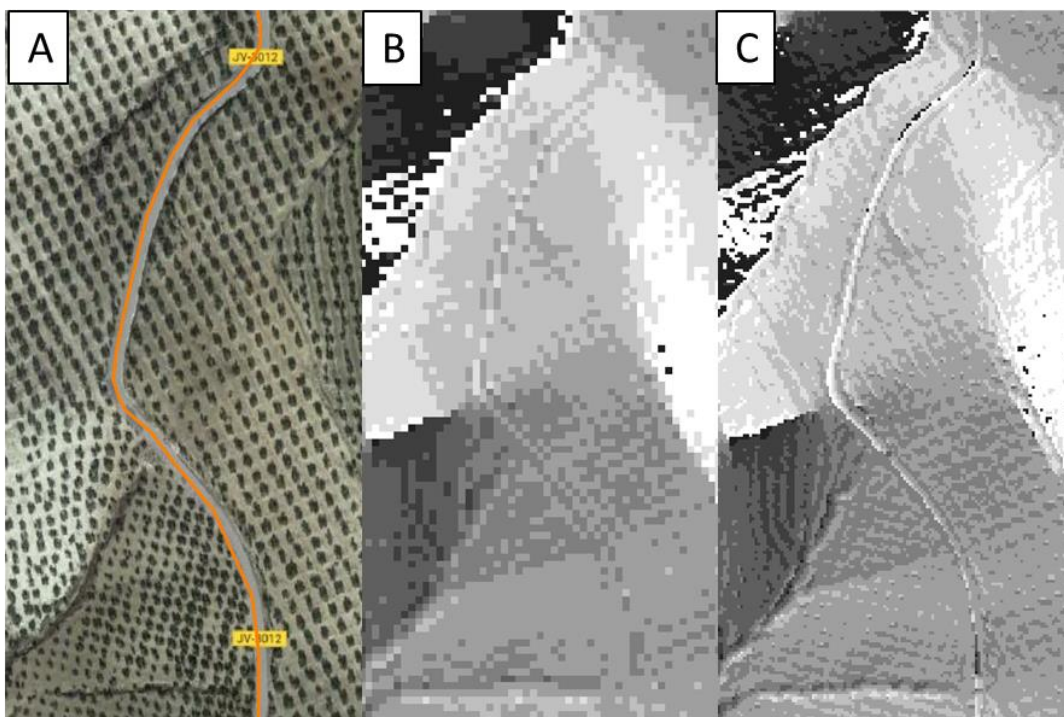


Figura 4.9 Carretera JV-3012 según resolución del MDT. A. Carretera sobre Google Satellite Hybrid. B. Matriz "idf" a partir de MDT con paso de malla de 5 x 5 m. C. Matriz "idf" a partir de MDT con paso de malla de 2 x 2 m.

4.1.5 Determinación de las cuencas que vierten a través de la parcela en estudio

A partir de la matriz "idf" y del MDT de la parcela de estudio, se obtienen las cuencas que vierten a través de dicha parcela, cuyos puntos de salida se encuentran en sus límites. Para ello se ejecuta la Subrutina *CUENCAS*, que determina en cada ejecución el conjunto de celdas que conforman la cuenca en estudio y que vierten a través de la celda de desagüe de dicha cuenca, que se corresponde en cada caso con la cota mínima del MDT de la parcela. Del mismo modo, durante la ejecución de la Subrutina *CUENCAS*, también se determina el área vertiente o acumulada en las celdas que componen cada cuenca. Estos valores, junto a las direcciones de vertido recogidas en la matriz "idf", definen los patrones de flujo de las cuencas que vierten a través de la parcela.

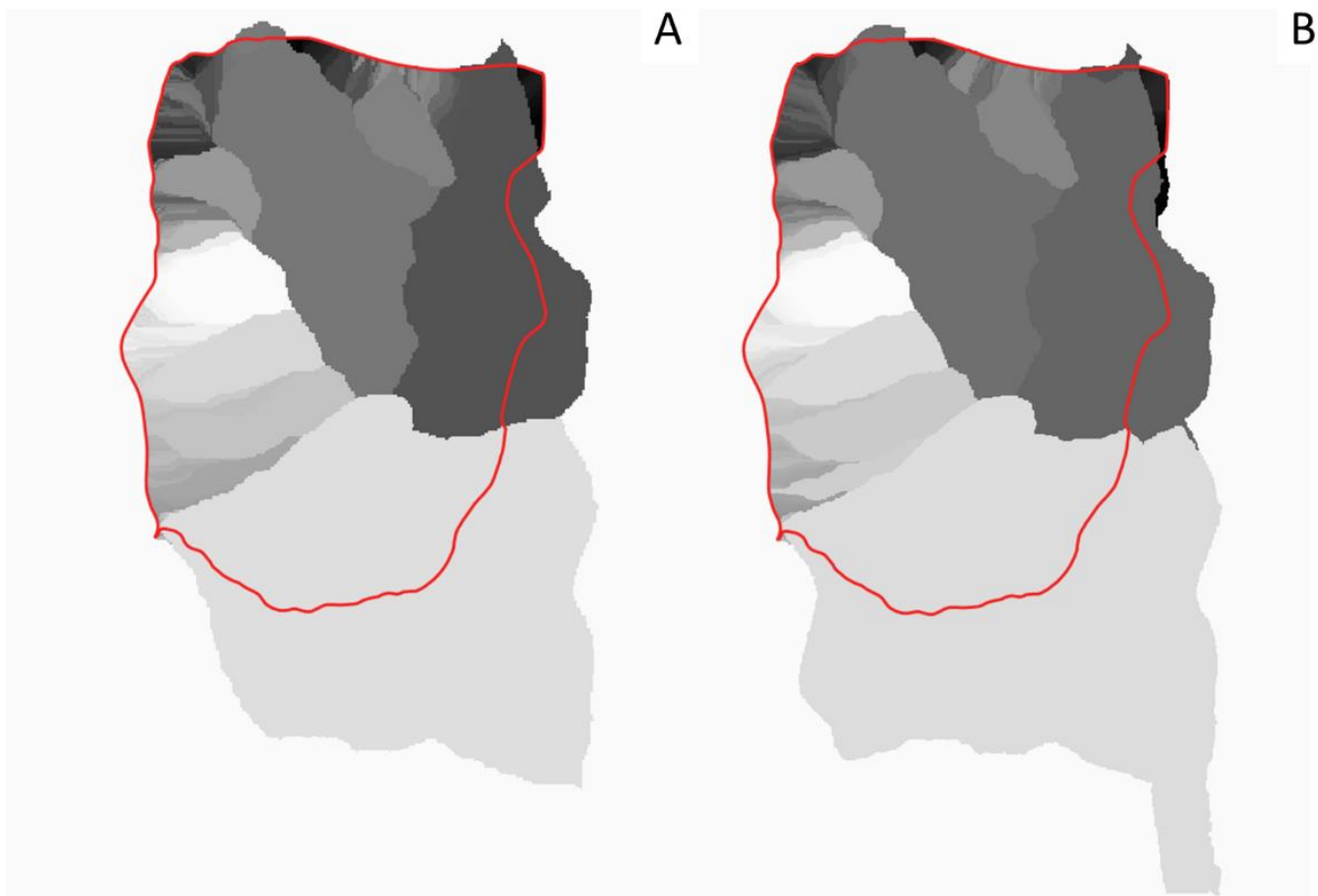


Figura 4.10 Matriz "Cuencas" en formato ráster. A. Matriz "Cuencas" a partir de MDT con paso de malla de 5 x 5 m. B. Matriz "Cuencas" a partir de MDT con paso de malla de 2 x 2 m.

En la Figura 4.10, se observa la salida de la subrutina *CUENCAS*, donde se representa la matriz del mismo nombre en formato ráster para los MDT-05 y MDT-02, y en ella se observa como la superficie ocupada por las cuencas que vierten a través de la parcela de estudio es diferente en función de la resolución del MDT utilizado. De forma concreta, se

obtuvieron valores de área vertiente a través de la parcela de 149 ha para el MDT-05 y de 156 ha para el MDT-02, lo que resulta en una diferencia de 7 ha, que se debe principalmente a la variación que se obtiene al determinar las direcciones de vertido con dos MDT de distinta resolución y que, debido a ello, permite discriminar elementos del terreno con distinta precisión. Cuando esto ocurre, se obtienen patrones de flujo distintos y cuencas con distintas divisorias, como ocurre en el tercio sur de la parcela (figuras 4.10 A y B), donde el efecto que presenta la determinación de la carretera JV-3012 sobre el patrón de flujo es muy evidente.

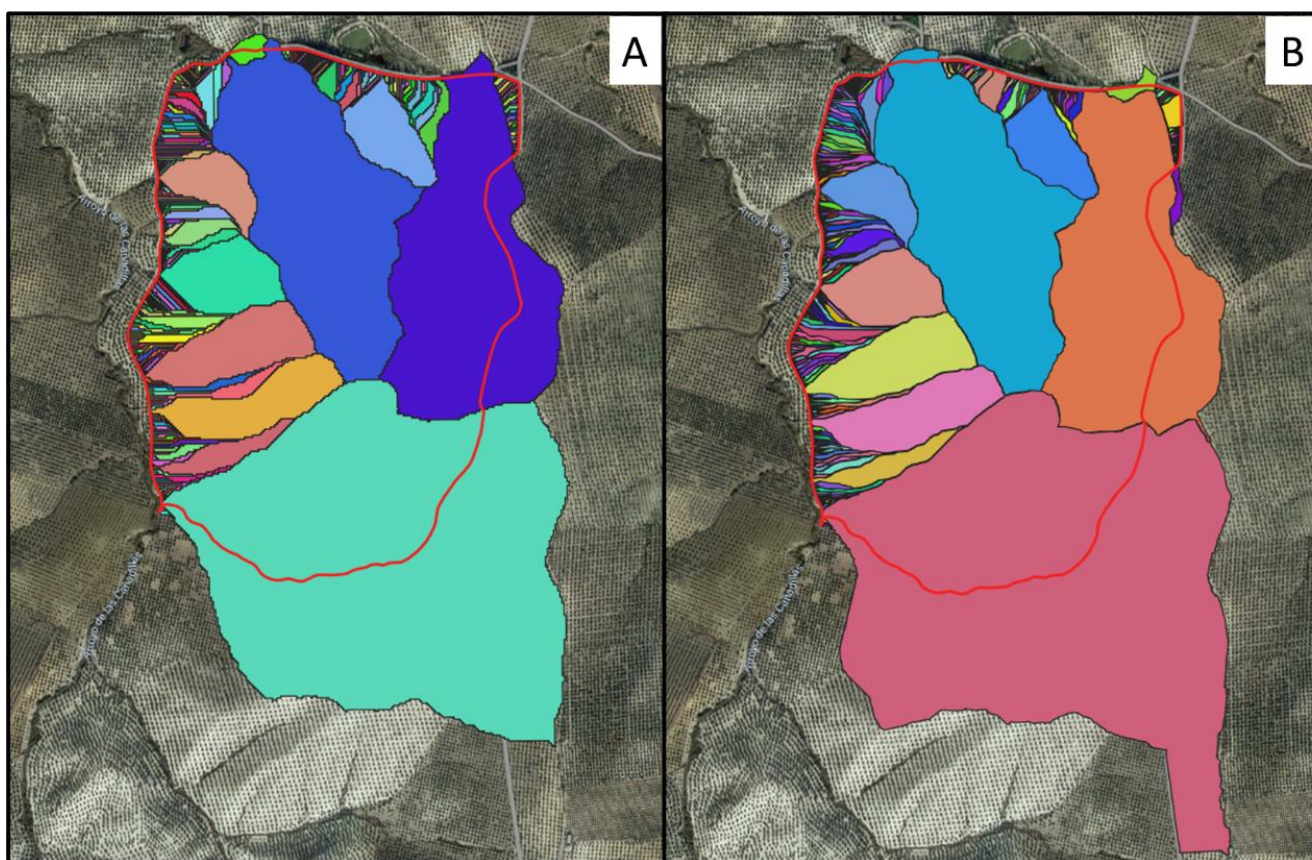


Figura 4.11 Cuencas en formato vectorial sobre ortofoto de Google Satellite Hybrid A. A partir de MDT con paso de malla de 5 x 5 m. B. A partir de MDT con paso de malla de 2 x 2 m.

Otra consecuencia de utilizar dos MDT con distinta resolución es la obtención de un nº distinto de cuencas: 898 para el MDT-02, frente a las 404 obtenidas con el MDT-05, que en ambos casos fue un número muy elevado, más aún cuando se utilizó el MDT-02. Este fenómeno se explica gracias al reducido tamaño de celda de los MDT utilizados, que permitieron identificar un gran número de cuencas próximas a los límites de la parcela, a través de los cuales desaguan, tal y como se observa en la Figura 4.11, donde se representan las cuencas determinadas para cada resolución en formato vectorial.

No obstante, para los MDT-05 y MDT-02, tan solo 38 y 40 cuencas, de forma respectiva, presentaron una superficie superior al umbral de área acumulada establecido para la consideración de una celda como canal (1200 m²). En consecuencia, y debido a la naturaleza del programa diseñado, en las cuencas que no superan esta superficie no se determinará ningún canal que pueda ocasionar problemas de erosión en la parcela de estudio. A pesar de ello, cuando se analicen parcelas localizadas aguas abajo a la de estudio, algunas cuencas que en el análisis de esta parcela no presentan ningún canal, podrán formar parte de cuencas con una mayor superficie, cuyas celdas contribuyan a la formación de canales aguas abajo, pudiendo ocasionar problemas de erosión en estas áreas.

4.1.6 Determinación de la red de canales

Una vez se conocen las cuencas que vierten a través de la parcela de estudio, se ejecuta la Subrutina *REDDESA*. En cada ejecución, esta subrutina parte de la celda de desagüe de cada cuenca y teniendo en cuenta el umbral de área acumulada de 1200 m² para considerar una celda como perteneciente a un canal, devuelve la red de desagüe de cada cuenca, que estará compuesta por tantos canales como tramos de cárcava existan en la misma. Finalmente, se obtiene la red de canales de toda la parcela, recogida en la matriz "ired".

En las figuras 4.12. A y B, se representa tanto para el MDT-05, como para el MDT-02 el ráster de la matriz "ired", donde las celdas que pertenecen a un canal almacenan su valor de orden hortoniano, para todos los canales que componen dicha red. En esta figura se observa como los canales obtenidos a partir del MDT-05 presentan una anchura superior a los obtenidos con el MDT-02, debido al menor tamaño de celda de este último MDT. Esto se puede traducir en un mejor ajuste, en la mayoría de los casos, a la anchura real de las cárcavas sobre el terreno. Por ello, al utilizar los datos de elevación de los puntos del terreno correspondientes al interior de la propia cárcava, tanto su trazado, como la realidad del terreno se verán representados con mayor precisión.

Cuando se analiza la distribución de los canales existentes en la parcela, se observa como en ambos casos, sobre el límite oeste, el más próximo al arroyo de las Cañadillas, se concentran un elevado número de canales de orden 1, que en la mayoría de los casos tan solo se componen de la celda de desagüe y alguna más si acaso. Estos canales, que

vierten inmediatamente al exterior de la parcela sin ocasionar problemas de erosión en la misma, podrían ser cabeceras de cárcavas que, en parcelas situadas aguas abajo a la de estudio, den lugar a problemas de erosión. De acuerdo con esto, los canales de orden 1 que vierten al exterior de la parcela no se tendrán en cuenta durante el análisis de la red de canales de esta parcela. No obstante, será necesario realizar un seguimiento de los mismos para evitar que ocasionen problemas en puntos del terreno situados aguas abajo.

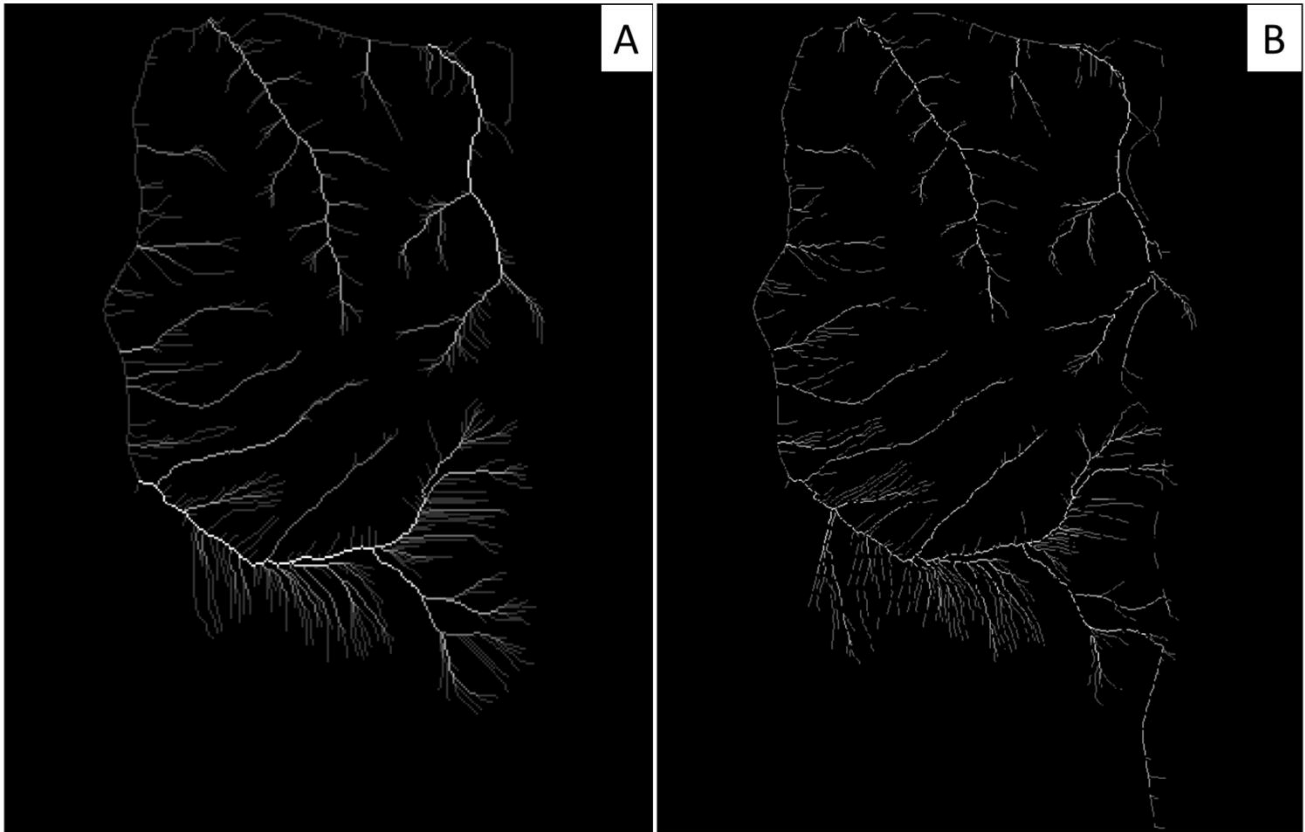


Figura 4.12 A. Red de canales en formato ráster. A. A partir de MDT con paso de malla de 5 m. B. A partir de MDT con paso de malla de 2 m.

La segunda parte de la caracterización de la red de canales comienza con la ejecución de las Subrutinas *NUDRED*, *ANRED*, *LATRED* y *CUENCANAL* sobre la matriz "ired" correspondiente a cada MDT (5 y 2 m de lado de celda). Mediante estas subrutinas se obtienen los atributos de interés de los canales recogidos en la matriz "ired", los cuales se almacenan en la Tabla "Canales". Sin embargo, tras su correspondiente filtrado, en una nueva tabla se guardan los atributos de los canales que se conservan, descartando los de orden 1 que vierten inmediatamente al exterior de la parcela. Finalmente, se ejecuta la Subrutina *INDCANAL*, que devuelve una matriz con el mismo nombre, en la cual se localizan los canales filtrados, en adelante red de cárcavas.

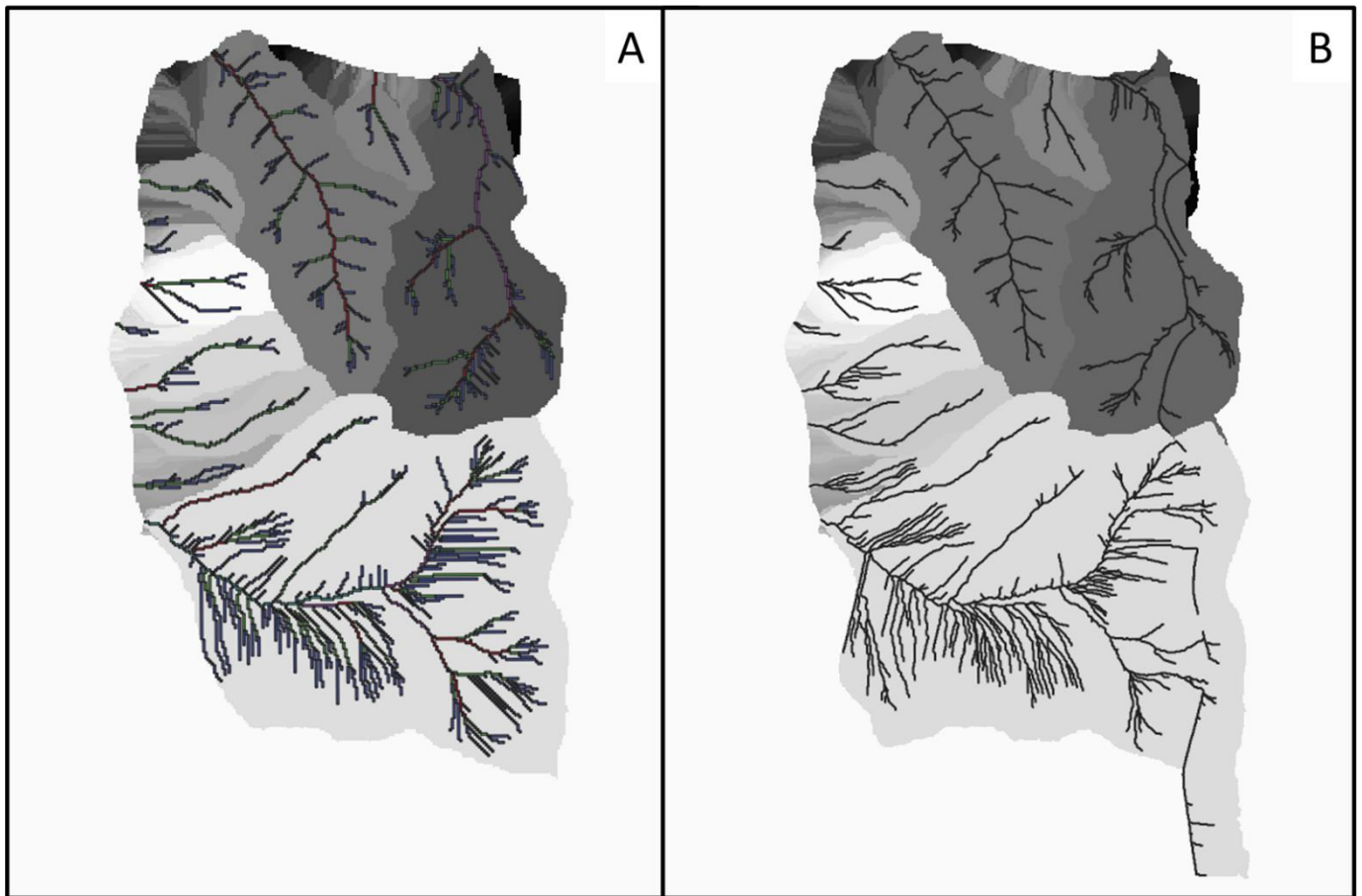


Figura 4.13 Canales filtrados según orden hortoniano sobre cuencas. A. A partir de MDT con paso de malla de 5 m. B. A partir de MDT con paso de malla de 2 m.

En la figura 4.13, se representan sobre las cuencas que vierten a través de la parcela de estudio, las redes de cárcavas obtenidas tanto para el MDT-05 (A), como para el MDT-02 (B) según su orden hortoniano. En un primer análisis, se determinan las principales diferencias entre las redes obtenidas con el MDT-05, compuesta por 477 tramos de cárcavas que forman parte de 15 cuencas distintas, y la obtenida a partir del MDT-02, que se compone de 469 tramos de cárcavas pertenecientes a 13 cuencas. Sin embargo, en ambos casos, el mayor orden hortoniano obtenido para un tramo de cárcava fue 5, que se localiza en la cuenca de mayor superficie, la que ocupa el tercio sur de la parcela de estudio.

Profundizando en los resultados de este primer análisis, se observa que en función de la resolución del MDT utilizado, se puede obtener un número distinto de cuencas con cárcavas de interés. Como ejemplo concreto, en el detalle de la Figura 4.14, donde se muestran las cuencas y las redes de cárcavas que vierten a través del límite oeste de la parcela, se comprueba que, cuando se utiliza el MDT-05 (A y B), se determinan dos

cuencas con sus dos puntos de salida correspondientes, frente a la única cuenca determinada mediante el MDT-02 (C y D), en la misma zona. De esta manera, se ve como al igual que se modifican las divisorias de las cuencas obtenidas en cada caso, también se podrán obtener redes de cárcavas diferentes.

En cuanto a la estrategia a seguir para el manejo de dicha cárcava y de forma concreta, para su control y corrección, se optaría por realizar un examen de campo, en el que se determine que ocurre en realidad, de modo que, el agricultor pueda poner atención a los puntos de salida que se encuentren en los límites de su parcela y de ahí, hacia las cárcavas localizadas aguas arriba.

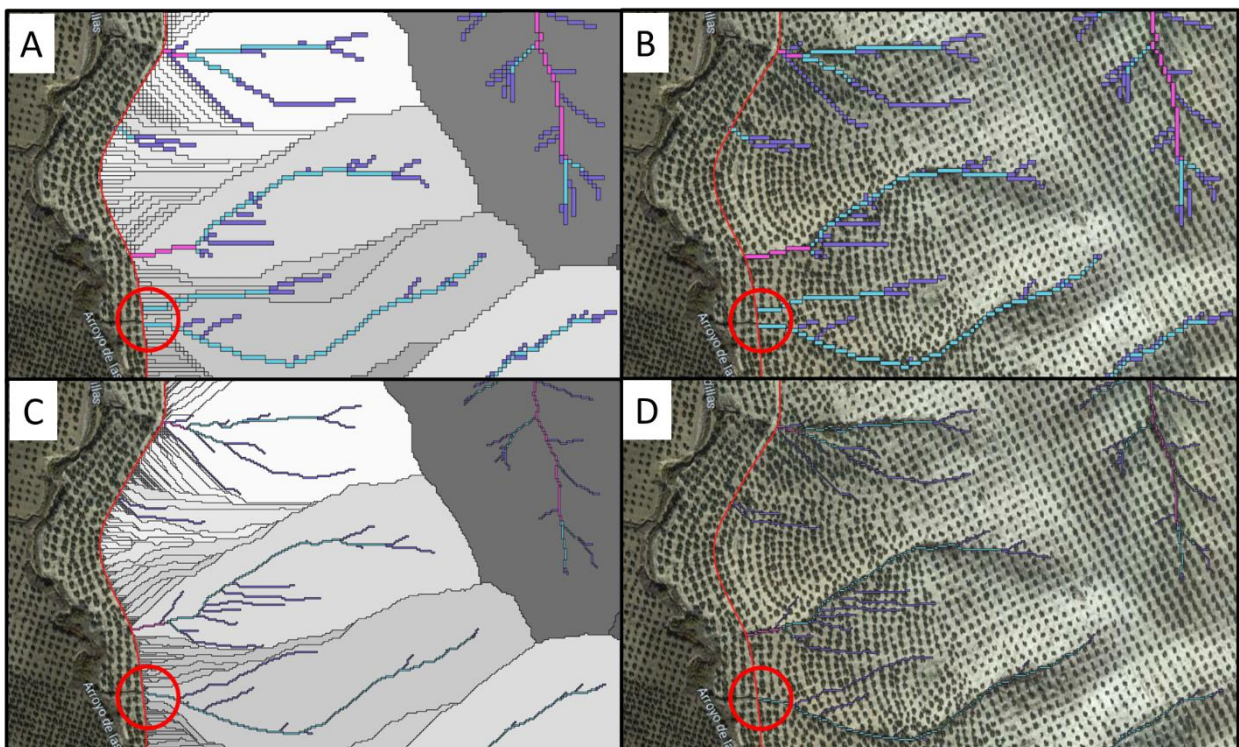


Figura 4.14. Límite oeste de la parcela sobre ortofoto de Google Satellite Hybrid. A y B. Detalle de las cuencas y cárcavas obtenidas a partir de MDT de 5 m de paso de malla. C y D. Detalle de las cuencas y cárcavas obtenidas a partir de MDT de 2 m de paso de malla.

Al igual que ocurre con la obtención de distintas divisorias de cuencas y de puntos de salida, la diferente resolución de cada MDT utilizado también es la responsable de ciertas diferencias existentes entre las cabeceras de las cárcavas que componen ambas redes. Concretamente, en la Figura 4.15, se muestran las cárcavas de una zona de la parcela próxima a la carretera JV-3012, así como de su área vertiente. En ella se observa que cuando se utiliza el MDT-02 (A), se produce un mejor ajuste de la red de cárcavas a la realidad del entorno de este elemento del terreno, al tener en cuenta la existencia de cunetas y obras de drenaje transversal propias de la red viaria y que modifican los patrones de flujo del agua. Por otro lado, la red de cárcavas obtenida con el MDT-05 (B) no discrimina de forma alguna la presencia de este elemento lineal, determinando una red de cárcavas en esta zona igual a la que se obtendría si esta carretera y sus elementos de drenaje no existiesen. De este modo se determina que, cuando en el terreno existen elementos de escasa anchura, su importancia y efecto sobre los flujos de agua y por ende, en la formación de cárcavas y el avance de sus cabeceras, solo podrá considerarse cuando el análisis se realice utilizando un MDT que tenga una resolución suficiente para su identificación.

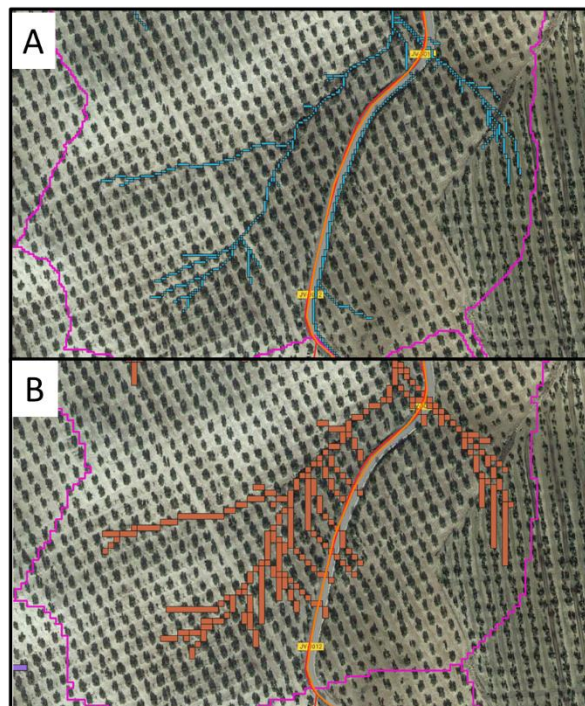


Figura 4.15. Red de cárcavas, divisorias de cuencas y red viaria en la zona este de la parcela sobre ortofoto de Google Satellite Hybrid. A. A partir de MDT de 2 m de paso de malla. B. A partir de MDT de 5 m de paso de malla.

4.1.7 Caracterización de la red de cárcavas obtenida mediante identificación automática

En la Figura 4.16 se representan las redes de cárcavas obtenidas a partir del MDT-05 (A) y del MDT-02 (B). Cada una de estas redes de cárcavas está compuesta por una serie de tramos de cárcava, que recogen el agua vertiente a través de las diferentes cuencas que se han determinado en cada caso. En las Tablas 7.1 y 7.2 del apartado Anexos se recogen, para cada red de cárcavas, los atributos principales de cada tramo que la compone: orden, orden del tramo al que vierte, desnivel, área desaguada (ha), longitud (m), área específica (m²) y cuenca a la que pertenece cada tramo, identificado mediante el programa diseñado y ordenados según cuenca, orden y área desaguada, para ambos MDT. Además, en dicha tabla, también se incluyen, para cada tramo, las medidas de corrección y control necesarias, calculadas a partir de la Subrutina CÁRCAVAS.

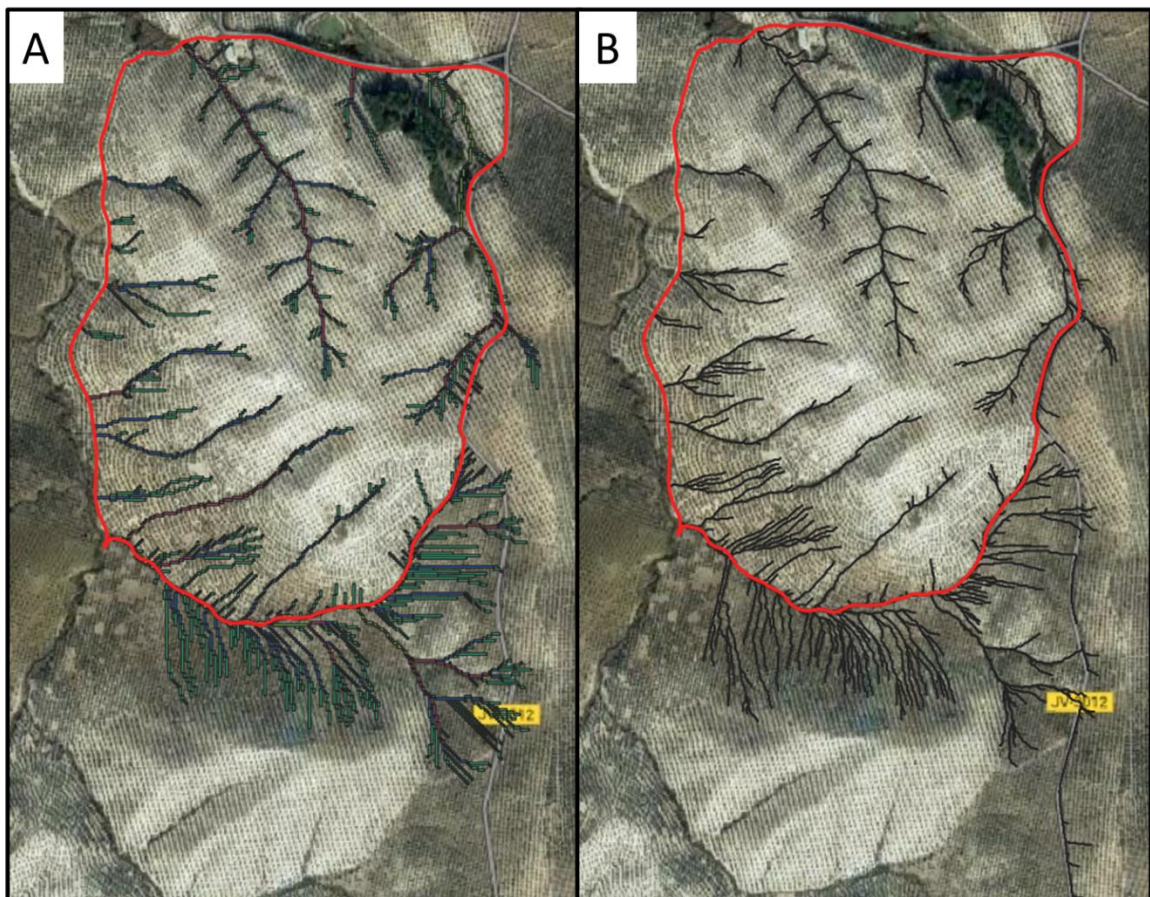


Figura 4.16. Sobre ortofoto de Google Satellite Hybrid. A. Límites de la parcela y red de cárcavas obtenida a partir de MDT con paso de malla de 5 m. B. Límites de la parcela y red de cárcavas obtenida a partir de MDT con paso de malla de 2 m.

Como resumen, en este apartado se caracteriza la red de cárcavas obtenida con cada MDT, mostrando para cuenca que compone el área vertiente a la parcela de estudio: área, área perteneciente a la parcela, nº de tramos de cárcava, longitud total, densidad de cárcavas, orden máximo, pendiente media y nº de barreras y diques necesarios para su correcto control y corrección.

4.1.7.1 Red obtenida a partir del MDT de 5 m de paso de malla

En la Tabla 4.1 se observa, tal y como se comentó en el apartado anterior, que esta red de cárcavas recoge el agua que vierte a través de 15 cuencas, las cuales suman un área vertiente de 136,17 ha, de las cuales 88,31 ha pertenecen a la parcela de estudio. Las 47,86 ha restantes se extienden fuera de los límites de dicha parcela, así como sus cárcavas, las cuales recogen el agua de zonas situadas aguas arriba, como se observa en la Figura 4.16.A. En total la red obtenida está formada por 477 tramos de cárcava que suman una longitud de 29.564 m, lo que resulta en una densidad media de cárcavas de 220,91 m ha⁻¹.

Tabla 4.1. Características de la red de cárcavas obtenida a partir del MDT de 5 m de paso de malla.

| Cuenca | Área cuenca (ha) | Área cuenca parcela (ha) | Tramos cárcava | Longitud cárcavas (m) | Densidad de cárcavas (m ha ⁻¹) | Orden máximo | Pendiente media (%) | Nº barreras | Nº mín. diques |
|--------------|------------------|--------------------------|----------------|-----------------------|--|--------------|---------------------|-------------|----------------|
| 1 | 4,09 | 4,09 | 11 | 761 | 186,32 | 3 | 2,38 | 13 | 11 |
| 18 | 0,51 | 0,51 | 3 | 167 | 328,20 | 2 | 2,23 | 3 | 3 |
| 44 | 63,61 | 22,80 | 245 | 17272 | 271,51 | 5 | 6,16 | 823 | 271 |
| 55 | 4,95 | 4,95 | 17 | 763 | 154,18 | 3 | 4,53 | 27 | 17 |
| 85 | 4,73 | 4,73 | 9 | 656 | 138,76 | 2 | 2,85 | 11 | 9 |
| 93 | 0,70 | 0,70 | 3 | 277 | 396,50 | 2 | 10,08 | 27 | 5 |
| 105 | 0,69 | 0,69 | 3 | 143 | 206,93 | 2 | 1,81 | 3 | 3 |
| 131 | 1,47 | 1,47 | 6 | 576 | 392,45 | 2 | 6,60 | 24 | 7 |
| 151 | 2,61 | 2,61 | 7 | 381 | 145,81 | 2 | 1,84 | 7 | 7 |
| 186 | 3,32 | 3,32 | 8 | 470 | 141,69 | 3 | 1,64 | 8 | 8 |
| 191 | 0,39 | 0,39 | 3 | 108 | 281,25 | 2 | 1,94 | 3 | 3 |
| 198 | 0,48 | 0,23 | 3 | 57 | 120,88 | 2 | 2,00 | 3 | 3 |
| 204 | 22,89 | 22,82 | 65 | 3493 | 152,57 | 3 | 2,59 | 87 | 65 |
| 255 | 0,55 | 0,55 | 3 | 125 | 225,34 | 2 | 4,76 | 7 | 3 |
| 258 | 25,21 | 18,46 | 91 | 4317 | 171,29 | 4 | 4,08 | 194 | 95 |
| TOTAL | 136,17 | 88,31 | 477 | 29564 | 220,91 | 5 | 4,85 | 1240 | 510 |

4.1.7.2 Red obtenida a partir del MDT de 2 m de paso de malla

Las características de la red de cárcavas obtenida a partir del MDT-02 se recogen en la Tabla 4.2 y en ella se observa como esta red recoge el agua que vierte a través de 13 cuencas que resultan en un área vertiente total de 142,7 ha. De esta superficie, 88,82 ha pertenecen a la parcela de estudio y el resto, a zonas situadas aguas arriba a la parcela de estudio, por donde discurren parte de sus cárcavas (Figura 4.16.B). Los 469 tramos de cárcavas que componen la red suman un total de 30.584 m, resultando en una densidad media de cárcavas de 243,79 m ha⁻¹.

Tabla 4.2. Características de la red de cárcavas obtenida a partir del MDT de 2 m de paso de malla.

| Cuenca | Área cuenca (ha) | Área cuenca parcela (ha) | Tramos cárcava | Longitud cárcavas (m) | Densidad de cárcavas (m ha ⁻¹) | Orden máximo | Pendiente media (%) | Nº barreras | Nº mín. diques |
|--------------|------------------|--------------------------|----------------|-----------------------|--|--------------|---------------------|-------------|----------------|
| 1 | 4,05 | 4,057 | 13 | 860 | 212,10 | 3 | 15,30 | 133 | 21 |
| 70 | 0,43 | 0,434 | 3 | 184 | 424,86 | 2 | 8,90 | 20 | 4 |
| 110 | 69,86 | 22,827 | 243 | 18026 | 258,05 | 5 | 10,16 | 1578 | 313 |
| 116 | 5,09 | 5,09 | 16 | 1144 | 224,93 | 3 | 12,60 | 132 | 24 |
| 162 | 1,52 | 1,517 | 9 | 772 | 509,35 | 3 | 7,34 | 51 | 10 |
| 177 | 5,22 | 5,22 | 10 | 815 | 156,23 | 2 | 11,53 | 75 | 15 |
| 232 | 0,59 | 0,589 | 4 | 148 | 250,82 | 2 | 16,41 | 24 | 5 |
| 356 | 2,53 | 2,536 | 7 | 333 | 131,31 | 2 | 13,04 | 38 | 8 |
| 426 | 3,31 | 3,311 | 10 | 482 | 145,65 | 3 | 11,59 | 53 | 11 |
| 511 | 23,33 | 23,034 | 68 | 3280 | 140,60 | 3 | 11,63 | 310 | 74 |
| 547 | 25,87 | 19,288 | 80 | 4289 | 165,80 | 4 | 7,18 | 286 | 86 |
| 616 | 0,47 | 0,471 | 3 | 129 | 274,66 | 2 | 4,57 | 9 | 3 |
| 632 | 0,44 | 0,443 | 3 | 122 | 274,86 | 2 | 14,43 | 19 | 3 |
| TOTAL | 142,70 | 88,82 | 469 | 30584 | 243,79 | 5 | 10,18 | 2728 | 577 |

Las dos redes de cárcavas obtenidas presentan una serie de características en común, ya que concretamente ambas cubren un área vertiente muy similar, comprendido entre 88 y 89 ha, que supone el 88% de la superficie total de la parcela de estudio. El resto de la superficie de la parcela vierte hacia otros puntos del terreno, no recogidos en estas cuencas, y en los cuales no se han detectado problemas de erosión por cárcavas en base a los criterios de área acumulada utilizados en este estudio.

En lo que respecta al nº de tramos, también se ha detectado que, en ambos casos, el análisis realizado ha arrojado un nº muy similar. No obstante, la diferencia entre la longitud total obtenida para ambas redes es de aproximadamente 1000 m, por lo que la red obtenida a partir del MDT-02, presenta tramos de cárcavas más largos por norma general. A pesar de ello, en ambos casos el orden máximo calculado para un canal fue 5, obtenido en la cuenca de mayor tamaño. En el resto de las cuencas el orden máximo de los canales oscila entre 2, para las de menor superficie y 4, para las más extensas.

Un aspecto en lo que ambas redes de cárcavas distan, es en la pendiente media de las cárcavas, que en el caso de la red obtenida a partir del MDT-05 es del 4,85%, frente al 10,18% obtenido en el caso de utilizar el MDT-02. Este aspecto resulta fundamental en el dimensionamiento de las estructuras de corrección y control, ya que una mayor pendiente se traduce en un menor distanciamiento entre barreras. Por ello, cuando se utiliza el MDT-05, se obtiene un total de 1240 barreras, frente a las 2728 obtenidas con el MDT-02. Sin embargo, en ambos casos, el nº de diques o barreras compuestas de piezas prefabricadas de hormigón, es parecido, necesitando 510 en la red obtenida con el MDT-05 y 577 cuando se utiliza el MDT-02.

En ambos casos, es necesario señalar que, a pesar de que el control de los tramos de cárcavas que discurren por el área ubicada aguas arriba de la parcela no son responsabilidad del agricultor que gestiona la parcela de estudio, el agua que puede circular por estos tramos puede agravar los efectos erosivos sobre dicha parcela, traduciéndose en mayores pérdidas de suelo. Por ello, el dimensionamiento descrito, incluye también las estructuras necesarias para el control de las cárcavas ubicadas en esta zona, atendiendo a la necesidad de frenar el avance de las cabeceras de toda el área que vierte a través de la parcela de estudio.

4.1.8 Comparación entre la red de cárcavas obtenida mediante identificación automática y mediante fotointerpretación directa.

De todas las cuencas que conforman el área vertiente de la parcela de estudio, una de ellas se ha seleccionado con el objetivo de comparar para la misma, las redes de cárcavas obtenidas mediante identificación automática a partir de dos MDT y la red obtenida mediante fotointerpretación directa sobre ortofoto.

Concretamente, la cuenca con la que se ha realizado esta comparación es la que se muestra en la Figura 4.17 que, según el MDT utilizado para su determinación (A: MDT-05 y B: MDT-02), presenta distintas divisorias de cuenca. Sin embargo, para realizar el proceso de fotointerpretación de la red, tan solo fue necesario conocer la celda de desagüe de la cuenca, que en ambos casos se ubica sobre el límite norte de la parcela de estudio.

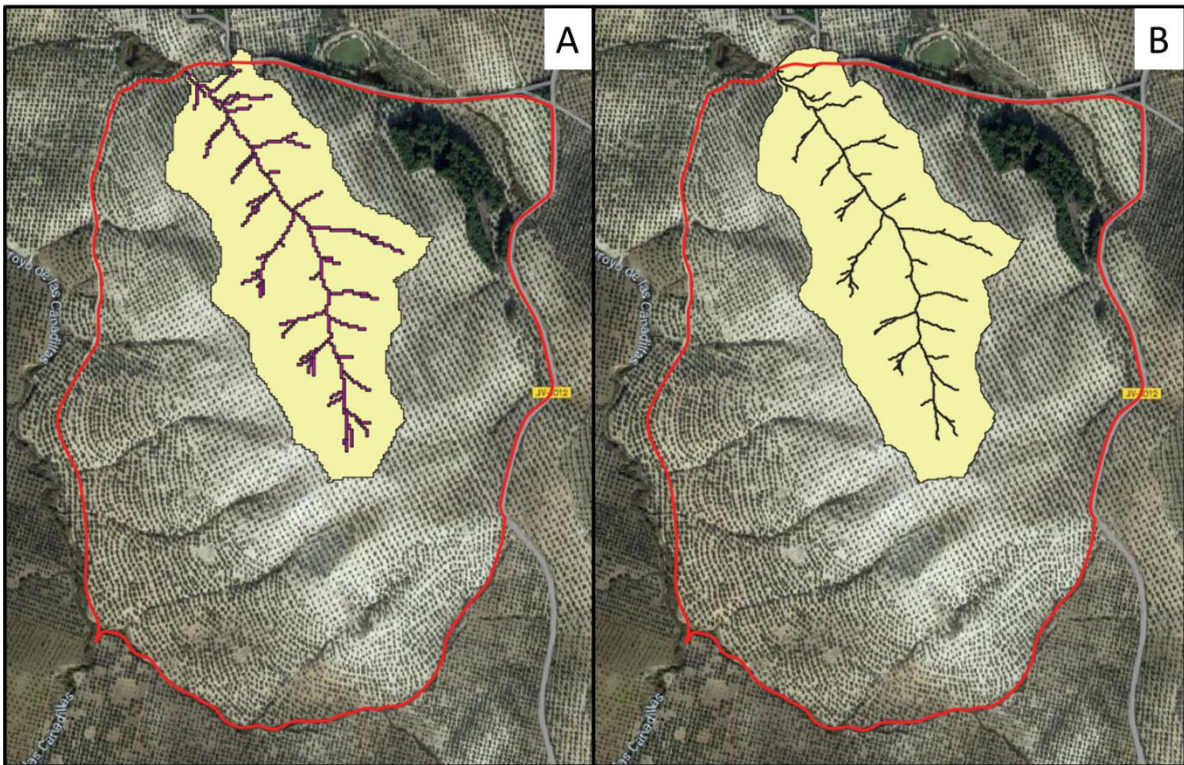


Figura 4.17. Sobre ortofoto de Google Satellite Hybrid. A. Límites de la parcela, cuenca en estudio y red de cárcavas de la misma obtenida a partir de MDT con paso de malla de 5 m. B. Límites de la parcela, cuenca en estudio y red de cárcavas de la misma obtenida a partir de MDT con paso de malla de 2 m.

Para llevar a cabo la fotointerpretación de la red de cárcavas de esta cuenca, se siguió el procedimiento descrito en el apartado 3.6 de este trabajo. Para ello se partió de su punto de salida y con el apoyo de los datos de elevación, representados a partir de las curvas de nivel del MDT-02, se ascendió a través de la vaguada principal de la cuenca. Esta se identifica a simple vista a partir de la ortofoto y se corresponde con la cárcava principal de la cuenca en estudio, que cerca del punto de salida también será el canal con mayor orden hortoniano. Acto seguido, se determinaron el resto de las cárcavas adyacentes a esta cárcava principal, obteniendo la red de cárcavas que se muestra en la Figura 4.18.C.

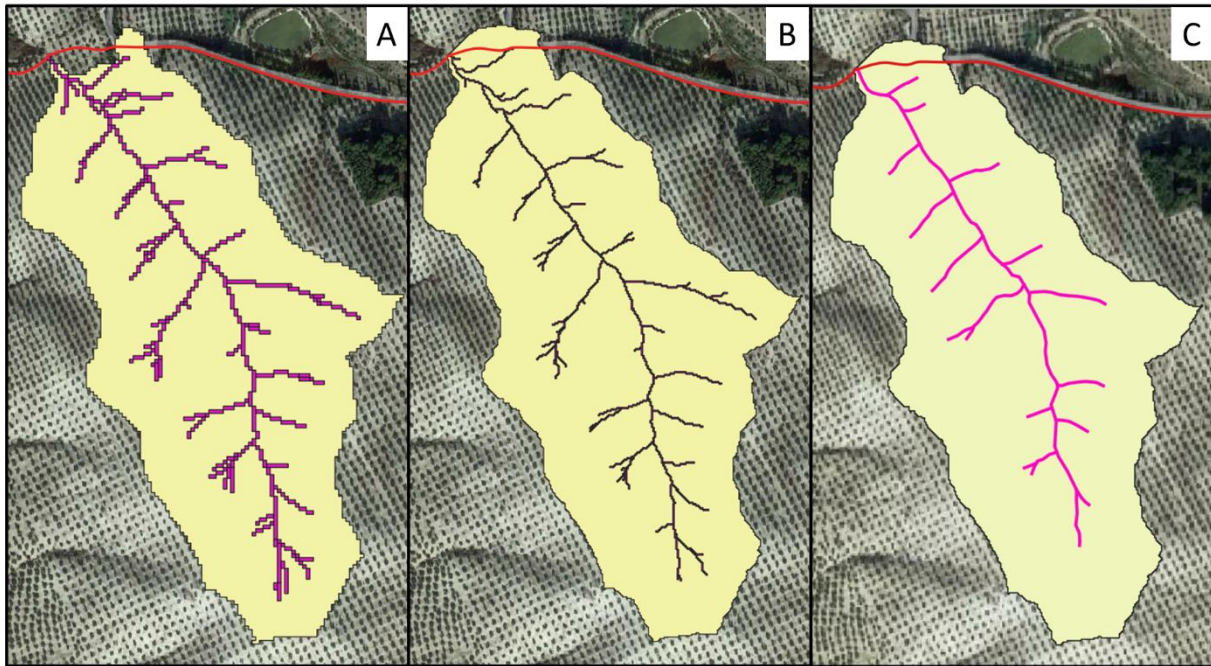


Figura 4.18. Cuenca en estudio y red de cárcavas sobre ortofoto de Google Satellite Hybrid. A. Identificación automática a partir de MDT con paso de malla de 5 m. B. Identificación automática a partir de MDT con paso de malla de 2 m. C. Fotointerpretación directa sobre ortofoto.

En esta figura (4.18), se representa la red de cárcavas obtenida mediante identificación automática a partir del MDT-05 (A) y del MDT-02 (B), así como la obtenida mediante fotointerpretación directa sobre ortofoto (C). En los dos primeros casos, la red de cárcavas se determinó a partir de un patrón de flujo extraído de forma automática de los datos de elevación del terreno y teniendo en cuenta posteriormente un umbral topográfico determinado. Esto se traduce en que ambas redes se han determinado de forma totalmente objetiva, y que la topología o conectividad de los distintos elementos que componen la red queda implícita en la determinación de la misma.

Sin embargo, en el tercer caso, la determinación de la red se ha llevado a cabo mediante la fotointerpretación de los tramos de cárcava sobre la ortofoto de máxima actualidad. Como consecuencia de la metodología empleada es posible que exista cierta subjetividad en la determinación de la red, debida al propio fotointerpretador, que sustenta la identificación de las cárcavas en criterios gráficos, en lugar de basar la decisión de que un punto del terreno pertenezca o no a un canal en criterios técnicos, como los umbrales topográficos utilizados en múltiples modelos para la modelización de redes de cárcavas (Montgomery y Dietrich, 1994; Patton y Schumm, 1975; Z. B. Begin y S. A. Schumm, 1979).

Tabla 4.3. Características de la red de cárcavas de una cuenca obtenida a partir de los MDT de 5 y 2 m de paso de malla y mediante fotointerpretación directa.

| Red | Área cuenca | Tramos cárcava | Orden máximo | Longitud cárcavas (m) | Densidad cárcavas (m ha ⁻¹) |
|---------------------------|----------------|-------------------|-----------------|--------------------------|--|
| MDT-05 | 23 | 65 | 3 | 3493 | 152 |
| MDT-02 | 23 | 68 | 3 | 3280 | 142 |
| Fotointerpretación | 23 | 21 | 3 | 1787 | 77 |

En la Tabla 4.3 se recogen las características de las redes obtenidas mediante identificación automática a partir de los dos MDT y mediante fotointerpretación directa. En ella se observa como en los tres casos se ha supuesto el mismo valor de área de la cuenca analizada, al partir en los tres análisis del mismo punto del límite de la parcela, donde se ubica la celda de desagüe de la cuenca. En ella también se puede comprobar que el nº de tramos de cárcavas varió de forma sustancial entre las redes determinadas mediante identificación automática y la red determinada mediante fotointerpretación directa. Esta variación es consecuencia de que, el valor del umbral topográfico utilizado en el método de identificación automática logró determinar zonas de alta susceptibilidad erosiva, en las que sobre la ortofoto no observan signos de erosión, no pudiendo, por lo tanto, determinar mediante fotointerpretación ningún tramo de cárcava que alcanzase dichos puntos del terreno. De esta forma, en los resultados obtenidos mediante fotointerpretación, se redujo drásticamente el nº tramos de cárcavas de orden 1 de la cuenca, que son los que en la Figura 4.18 A y B, conforman las ramificaciones últimas de la cárcava principal de la cuenca, y de alguna de sus afluentes. No obstante, en los tres casos, el mayor orden hortoniano obtenido para un canal fue de 3.

Como consecuencia directa de la diferencia existente entre el nº de tramos de cárcava obtenidos con los dos métodos utilizados, también se observa una diferencia en cuanto a la longitud total de la red de cárcavas de dicha cuenca y por ello en la densidad de cárcavas, que pasó de alrededor de 150 m ha⁻¹, a 77 m ha⁻¹. Esta última cifra se aproxima más al valor que Hayas et al. (2017b) determinaron al analizar la evolución de la red de cárcavas de una zona de olivar en Andalucía, la cual ascendía hasta 53,3 m ha⁻¹, en el año 2011, debido a los importantes eventos erosivos que tuvieron lugar entre 2009 y dicho año.

La diferencia entre la densidad de cárcavas obtenida por fotointerpretación y mediante identificación automática se traduce en que, con este último método, se han identificado muchos más tramos de cárcavas. Esto puede deberse a que el umbral topográfico con el que se ha trabajado en este estudio (valor de área acumulada en una celda para ser considerada parte de un canal), no solo ha permitido identificar con precisión las cárcavas existentes en las cuencas que vierten a través de la parcela de estudio, sino que también aporta una información muy valiosa sobre cómo podrían avanzar las cabeceras de las cárcavas actuales, arrojando información sobre áreas con una gran susceptibilidad erosiva, en las que se debería poner gran atención, pudiendo implementar en dichas zonas ciertas medidas preventivas, como las descritas en el manual desarrollado por Gómez Calero et al. (2011).

En relación con el umbral topográfico utilizado, los resultados alcanzados permiten deducir que un incremento del mismo tan solo va a permitir adaptar en mayor medida los tramos de cárcava identificados a los ya existentes, que pudieron ser identificados mediante fotointerpretación directa, aunque de una forma menos precisa, y sujeta a la subjetividad del fotointerpretador. No obstante, sería de gran interés la realización de diversas pruebas que permitiesen adaptar dicho umbral topográfico a las condiciones de cada zona, y de forma concreta, a los factores más relacionados con la erosión hídrica por cárcavas como la topografía, el cultivo, el sistema de manejo del suelo, etc, tal, cuya importancia ha sido resaltada en numerosos estudios, como los que desarrollaron Hayas et al. (2019) y Vanwalleghem et al. (2008).

Una cuestión de gran interés, que se debería satisfacer para poder sacar el máximo rendimiento de herramientas como la que se ha implementado en este trabajo, es la posibilidad de contar con datos de elevaciones registrados con una mayor frecuencia en el tiempo. Actualmente, desde fuentes de datos públicas como el IGN, tan solo se encuentran disponibles los MDT correspondientes a dos coberturas realizadas. De esta manera, al contar con datos de elevaciones estáticos en el tiempo, el análisis que se podría realizar en cuanto a la erosión por cárcavas tan solo proporcionará un diagnóstico del estado en el que se encontraba el terreno en el momento en el que se confeccionó dicha colección de datos. Por el contrario, si se pudiese acceder a datos de elevación tomados con mayor frecuencia y estos estuviesen disponibles en fuentes públicas, se

podría estudiar con mayor precisión la evolución de las redes de cárcavas localizadas en zonas altamente susceptibles a la erosión, de modo que se contase con una red de cárcavas que permitiese diseñar una estrategia de control y corrección integral de la misma, frenando la degradación del suelo y permitiendo alcanzar una producción agrícola sostenible y resiliente, que mejorase, tanto las condiciones en las que los agricultores gestionan sus explotaciones, al reducir problemas de transitabilidad y de ejecución de las operaciones agrícolas en los entornos de las cárcavas, como la salud y la funcionalidad del suelo, al establecer medidas de control en las cárcavas que promuevan la recuperación del suelo, de la biodiversidad y en definitiva, de la restauración del paisaje agrícola en estas zonas degradadas.

No obstante, hasta que se lleve a cabo una nueva cobertura de datos de elevación o se apueste por realizar coberturas de este tipo con una mayor frecuencia, la aproximación más cercana a situaciones futuras y que permiten el análisis de la evolución de estas cárcavas en el tiempo, parte del empleo de distintos valores del umbral topográfico de área acumulada, que arrojarán en cada caso redes de cárcavas más o menos extensas, que se adaptarán a la red existente en el caso de incrementar el umbral, o bien si se disminuye, la red se extenderá hasta los puntos del terreno hacia los que avanzarían las cabeceras de las cárcavas después de suceder nuevos eventos erosivos en el caso de no haber implantado las medidas preventivas y de control y corrección necesarias para evitar su avance.

5 Conclusiones

1. La herramienta para la identificación automática de cárcavas diseñada en este trabajo consigue, a partir de datos de elevación disponibles en fuentes de datos públicas, realizar una planificación detallada de las redes de cárcavas cuyos puntos de salida se ubican en los límites de la parcela analizada, conservando su conectividad hidrológica.
2. La determinación iterativa de cada una de las cuencas que componen el área vertiente de la parcela, así como de sus respectivas redes de cárcavas, permitieron adaptar el método de identificación automática de cárcavas de una cuenca a nivel de finca o parcela.
3. El uso de dos MDT con distintas resoluciones arrojó patrones de flujo distintos, lo cual se tradujo en la obtención de divisorias de cuencas y redes de cárcavas diferentes. Además, el MDT con menor tamaño de celda (2m) permitió discriminar elementos lineales del terreno con mayor precisión, ajustándose mejor a la realidad del terreno y a la red de cárcavas existente.
4. Las redes de cárcavas obtenidas mediante la herramienta de identificación automática fueron en general más completas, adaptándose mejor sus tramos principales a los que realmente existen sobre el terreno, que aquellas que se obtuvieron mediante fotointerpretación directa sobre ortofoto.
5. El valor del umbral topográfico de área acumulada utilizado identificó algunos canales que no se correspondían con tramos de cárcava existentes en la parcela, sino con su posible prolongación aguas arriba. Por ello, su identificación aportó información muy interesante sobre el posible avance de las cabeceras de las cárcavas existentes.
6. El dimensionamiento de las estructuras de control y corrección necesarias se basó en criterios técnicos y en la topología de la red, y se realizó para todos los tramos de cárcavas que drenan el área vertiente de la parcela, los cuales se extendieron desde los puntos de salida de cada cuenca, hasta las cárcavas más cercanas a las divisorias, que en ocasiones se localizaron aguas arriba de los límites de la parcela.

6 Referencias Bibliográficas

- Amatulli, G., Garcia Marquez, J., Sethi, T., Kiesel, J., Grigoropoulou, A., Üblacker, M. M., Shen, L. Q., & Domisch, S. (2022). Hydrography90m: A new high-resolution global hydrographic dataset. *Earth System Science Data*, *14*(10), 4525–4550. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4525-2022>
- Arabameri, A., Pradhan, B., & Lombardo, L. (2019). Comparative assessment using boosted regression trees, binary logistic regression, frequency ratio and numerical risk factor for gully erosion susceptibility modelling. *CATENA*, *183*, 104223. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104223>
- Arabameri, A., Rezaei, K., Pourghasemi, H., Lee, S., & Yamani, M. (2018). GIS-based gully erosion susceptibility mapping: A comparison among three data-driven models and AHP knowledge-based technique. *Environmental Earth Sciences*, *77*, 628. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7808-5>
- Begin, Z. B. y Schumm, S. A. (1979). Instability of Alluvial Valley Floors: A Method for its Assessment. *Transactions of the ASAE*, *22*(2), 0347–0350. <https://doi.org/10.13031/2013.35018>
- Betts, H. D., & DeRose, R. C. (1999). Digital elevation models as a tool for monitoring and measuring gully erosion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *1*(2), 91–101. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(99\)85002-8](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(99)85002-8)
- Casalí, J., López, J. J., & Giráldez, J. V. (1999). Ephemeral gully erosion in southern Navarra (Spain). *CATENA*, *36*(1), 65–84. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00013-2](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00013-2)
- Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones—Estrategia temática para la protección del suelo [SEC(2006) 620] [SEC(2006) 1165], (2006). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A52006DC0231>
- Conoscenti, C., Agnesi, V., Cama, M., Caraballo-Arias, N. A., & Rotigliano, E. (2018). Assessment of Gully Erosion Susceptibility Using Multivariate Adaptive

- Regression Splines and Accounting for Terrain Connectivity. *Land Degradation & Development*, 29(3), 724–736. <https://doi.org/10.1002/ldr.2772>
- Conoscenti, C., Angileri, S., Cappadonia, C., Rotigliano, E., Agnesi, V., & Märker, M. (2014). Gully erosion susceptibility assessment by means of GIS-based logistic regression: A case of Sicily (Italy). *Geomorphology*, 204, 399–411. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.08.021>
- De Ploey, J., & Paulissen, É. (1988). Processus géomorphologiques, formes du relief et interprétations des paléo-environnements quaternaires (Geomorphologic processes, landforms and interpretations of quaternary paleo-environments). *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 65(1), 65–78. <https://doi.org/10.3406/bagf.1988.1418>
- Dewitte, O., Daoudi, M., Bosco, C., & Van Den Eeckhaut, M. (2015). Predicting the susceptibility to gully initiation in data-poor regions. *Geomorphology*, 228, 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.08.010>
- Douglas, D. H. (1986). Experiments to locate ridges and channels to create a new type of digital elevation model. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 23(4), 29–61. <https://doi.org/10.3138/D4L1-1525-N578-2578>
- Foster, G. R. (1986). Understanding Ephemeral Gully Erosion. Soil Conservation: Assessing the National Research Inventory, National Research Council, Board on Agriculture 2. In *Board on agriculture 2*. National Academy Press Washington, DC.
- Frankl, A., Nyssen, J., De Dapper, M., Haile, M., Deckers, J., & Poesen, J. (2011). Trends in gully erosion as evidenced from repeat photography (North Ethiopia). *Landform Analysis*, 17, 47–50.
- García-Ruiz, J. M., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., & Beguería, S. (2013). Erosion in Mediterranean landscapes: Changes and future challenges. *Geomorphology*, 198, 20–36. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.023>
- Gómez Calero, J. A., Taguas, E. V., Vanwallegem, T., Giráldez, J. V., Sánchez Barrera, F., Ayuso, J. L., Lora González, Á., & Mora Jordano, J. (2011). *Criterios técnicos para el control de cárcavas, diseño de muros de retención y revegetación de paisajes*

- agrarios. Manual del operador en inversiones no productivas.*
<https://digital.csic.es/handle/10261/49395>
- Gómez, J. A., Giráldez, J. V., & Vanwalleghem, T. (2008). Comments on "Is soil erosion in olive groves as bad as often claimed?" by L. Fleskens and L. Stroosnijder. *Geoderma*, *147*(1–2), 93–95. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.07.006>
- Gómez, J. A., Sobrinho, T. A., Giráldez, J. V., & Fereres, E. (2009). Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil and Tillage Research*, *102*(1), 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.05.005>
- Gómez-Gutiérrez, Á., Conoscenti, C., Angileri, S. E., Rotigliano, E., & Schnabel, S. (2015). Using topographical attributes to evaluate gully erosion proneness (susceptibility) in two mediterranean basins: Advantages and limitations. *Natural Hazards*, *79*(1), 291–314. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1703-0>
- Gutiérrez, A., Schnabel, S., & Contador, J. F. (2009). Gully erosion, land use and topographical thresholds during the last 60 years in a small rangeland catchment in SW Spain. *Land Degradation & Development*, *20*, 535–550. <https://doi.org/10.1002/ldr.931>
- Haregeweyn, N., Poesen, J., Nyssen, J., De Wit, J., Haile, M., Govers, G., & Deckers, S. (2006). Reservoirs in Tigray (Northern Ethiopia): Characteristics and sediment deposition problems. *Land Degradation & Development*, *17*(2), 211–230. <https://doi.org/10.1002/ldr.698>
- Hayas, A., Peña, A., & Vanwalleghem, T. (2019). Predicting gully width and widening rates from upstream contribution area and rainfall: A case study in SW Spain. *Geomorphology*, *341*, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.05.017>
- Hayas, A., Poesen, J., & Vanwalleghem, T. (2017). Rainfall and Vegetation Effects on Temporal Variation of Topographic Thresholds for Gully Initiation in Mediterranean Cropland and Olive Groves. *Land Degradation & Development*, *28*(8), 2540–2552. <https://doi.org/10.1002/ldr.2805>
- Hayas, A., Vanwalleghem, T., Laguna, A., Peña, A., & Giráldez, J. V. (2017). Reconstructing long-term gully dynamics in Mediterranean agricultural areas. *Hydrology and*

Earth System Sciences, 21(1), 235–249. <https://doi.org/10.5194/hess-21-235-2017>

Henrique G. Momm, Ronald L. Bingner, Robert R. Wells, James R. Rigby, & Seth M. Dabney. (2013). Effect of Topographic Characteristics on Compound Topographic Index for Identification of Gully Channel Initiation Locations. *Transactions of the ASABE*, 56(2), 523–537. <https://doi.org/10.13031/2013.42673>

Jenson, S. K. (1991). Applications of hydrologic information automatically extracted from digital elevation models. *Hydrological Processes*, 5(1), 31–44. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050104>

Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988). Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING*.

Jiao, H., Li, F., Wei, H., & Liu, W. (2022). An Improved Shoulder Line Extraction Method Fusing Edge Detection and Regional Growing Algorithm. *Applied Sciences*, 12(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/app122412662>

Kaiser, A., Peter, K. D., Brings, C., Iserloh, T., Seeger, M., Ghafrani, H., d'Oleire-Oltmanns, S., Marzloff, I., Ait Hssaine, A., & Ries, J. B. (2014). *Gully erosion and land degradation in the Souss Basin, southern Morocco—Application of airborne and terrestrial imagery and SfM procedures*. 8525.

Kheir, R. B., Wilson, J., & Deng, Y. (2007). Use of terrain variables for mapping gully erosion susceptibility in Lebanon. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(12), 1770–1782. <https://doi.org/10.1002/esp.1501>

Koci, J., Jarihani, B., Leon, J. X., Sidle, R. C., Wilkinson, S. N., & Bartley, R. (2017). Assessment of UAV and Ground-Based Structure from Motion with Multi-View Stereo Photogrammetry in a Gullied Savanna Catchment. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/ijgi6110328>

La biodiversidad de los suelos es ignorada, pero es fundamental para alimentar al planeta / *Noticias ONU*. (2020, December 5). <https://news.un.org/es/story/2020/12/1485132>

- Lafren, J. M., Highfill, R. E., Amemiya, M., & Mutchler, C. K. (1985). Structures and Methods for Controlling Water Erosion. In *Soil Erosion and Crop Productivity* (pp. 431–442). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2134/1985.soilerosionandcrop.c23>
- Martínez-Casasnovas, J. A., Antón-Fernández, C., & Ramos, M. C. (2003). Sediment production in large gullies of the Mediterranean area (NE Spain) from high-resolution digital elevation models and geographical information systems analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, *28*(5), 443–456. <https://doi.org/10.1002/esp.451>
- Martínez-Casasnovas, J. A., Ramos, M. C., & García-Hernández, D. (2009). Effects of land-use changes in vegetation cover and sidewall erosion in a gully head of the Penedès region (northeast Spain). *Earth Surface Processes and Landforms*, *34*(14), 1927–1937. <https://doi.org/10.1002/esp.1870>
- Martz, L. W., & Garbrecht, J. (1993). AUTOMATED EXTRACTION OF DRAINAGE NETWORK AND WATERSHED DATA FROM DIGITAL ELEVATION MODELS. *Journal of the American Water Resources Association*, *29*(6), 901–908. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1993.tb03250.x>
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(33), 13268–13272. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611508104>
- Montgomery, D. R., & Dietrich, W. E. (1994). A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research*, *30*(4), 1153–1171. <https://doi.org/10.1029/93WR02979>
- Moore, I. D., Grayson, R. B., & Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, *5*(1), 3–30. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>
- O'Callaghan, J. F., & Mark, D. M. (n.d.). *The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data*.
- Omran, A., Schröder, D., Sommer, C., Hochschild, V., & Märker, M. (2022). A GIS-based simulation and visualization tool for the assessment of gully erosion processes.

- Journal of Spatial Science*, *0*(0), 1–18.
<https://doi.org/10.1080/14498596.2022.2133020>
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., & Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*, *54*, 438–447.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>
- Patton, P. C., & Schumm, S. A. (1975). Gully Erosion, Northwestern Colorado: A Threshold Phenomenon. *Geology*, *3*(2), 88–90. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1975\)3<88:GENCAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1975)3<88:GENCAT>2.0.CO;2)
- Peña, A., Ayuso, J. L., & Giráldez, J. V. (1999). Incorporating topologic properties into the geomorphologic instantaneous unit hydrograph. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, *24*(1), 55–58.
[https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(98\)00011-2](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(98)00011-2)
- Pennock, D. (2019). *Soil erosion: The greatest challenge for sustainable soil management*.
<https://policycommons.net/artifacts/2232089/soil-erosion/2989501/>
- Perroy, R. L., Bookhagen, B., Asner, G. P., & Chadwick, O. A. (2010). Comparison of gully erosion estimates using airborne and ground-based LiDAR on Santa Cruz Island, California. *Geomorphology*, *118*(3), 288–300.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.01.009>
- Poesen, J., & Govers, G. (1990). Gully erosion in the loam belt of Belgium: Typology and control measures. *Soil Erosion on Agricultural Land. Proceedings of a Workshop Sponsored by the British Geomorphological Research Group, Coventry, UK, January 1989*, 513–530.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., & Valentin, C. (2003). Gully erosion and environmental change: Importance and research needs. *CATENA*, *50*(2), 91–133.
[https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(02\)00143-1](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(02)00143-1)
- Poesen, J., Vanwallegghem, T., de Vente, J., Knapen, A., Verstraeten, G., & Martínez-Casasnovas, J. A. (2006). Gully Erosion in Europe. In *Soil Erosion in Europe* (pp. 515–536). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470859202.ch39>

- Poesen, J. W. (1996). *Contribution of gully erosion to sediment production on cultivated lands and rangelands*.
- Poesen, J., & Wicherek, S. (1993). Gully typology and gully control measures in the European Loess Belt. *Farm Land Erosion in Temperate Plains Environments and Hills. Proceedings*, 221–239. <https://lirias.kuleuven.be/1093013>
- Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., & Planchon, O. (1991). The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrological Processes*, 5(1), 59–79. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050106>
- R. G. Spomer, A. T. Hjelmfelt, & Jr. (1986). Concentrated Flow Erosion on Conventional and Conservation Tilled Watersheds. *Transactions of the ASAE*, 29(1), 0124–0127. <https://doi.org/10.13031/2013.30114>
- Renard, K. G. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
- Romero-Díaz, A., de Vente, J., & Díaz-Pereira, E. (2019). Assessment of the ecosystem services provided by agricultural terraces. *Pirineos*, 174, 10–3989.
- Rossi, M., Torri, D., & Santi, E. (2015). Bias in topographic thresholds for gully heads. *Natural Hazards*, 79(1), 51–69. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1701-2>
- Roy, P., Chandra Pal, S., Arabameri, A., Chakraborty, R., Pradhan, B., Chowdhuri, I., Lee, S., & Tien Bui, D. (2020). Novel Ensemble of Multivariate Adaptive Regression Spline with Spatial Logistic Regression and Boosted Regression Tree for Gully Erosion Susceptibility. *Remote Sensing*, 12(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/rs12203284>
- Santisteban, L. M. D., Casali, J., López, J. J., Giráldez, J. V., Poesen, J., & Nachtergaele, J. (2005). Exploring the role of topography in small channel erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30(5), 591–599. <https://doi.org/10.1002/esp.1160>
- Seth M. Dabney. (1998). Cover crop impacts on watershed hydrology. *Journal of Soil and Water Conservation*, 53(3), 207.
- SOILPROTECT. (n.d.). Retrieved 3 July 2023, from <https://soilprotect.es/app/#!/map>

- Strahler, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, en Handbook of Applied Hydrology. Editado por V.T. Chow. McGraw-Hill, Nueva York, pp. 4.39 - 4.76.
- Suelo*. (n.d.). Retrieved 27 June 2023, from https://agriculture.ec.europa.eu/sustainability/environmental-sustainability/natural-resources/soil_es
- Thorne, C. R., Zevenbergen, L. W., Grissinger, E. H., & Murphey, J. B. (1986). Ephemeral gullies as sources of sediment. *Proceedings of the Fourth Federal Interagency Sedimentation Conference March 24-27, 1986, Las Vegas, Nevada., 1*.
- Torri, D., & Poesen, J. (2014). A review of topographic threshold conditions for gully head development in different environments. *Earth-Science Reviews, 130*, 73–85. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.12.006>
- Torri, D., Rossi, M., Brogi, F., Marignani, M., Bacaro, G., Santi, E., Tordoni, E., Amici, V., & Maccherini, S. (2018). Chapter 4—Badlands and the Dynamics of Human History, Land Use, and Vegetation Through Centuries. In E. Nadal-Romero, J. F. Martínez-Murillo, & N. J. Kuhn (Eds.), *Badlands Dynamics in a Context of Global Change* (pp. 111–153). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813054-4.00004-6>
- Valentin, C., Poesen, J., & Li, Y. (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. *CATENA, 63*(2), 132–153. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.06.001>
- Vandaele, K. (1993). *Assessment of factors affecting ephemeral gully erosion in cultivated catchment of the Belgian Loam Belt*. 125–136. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=6379646>
- Vanmaercke, M., Panagos, P., Vanwalleghem, T., Hayas, A., Foerster, S., Borrelli, P., Rossi, M., Torri, D., Casali, J., Borselli, L., Vigiak, O., Maerker, M., Haregeweyn, N., De Geeter, S., Zgłobicki, W., Biielders, C., Cerdà, A., Conoscenti, C., De Figueiredo, T., ... Poesen, J. (2021). Measuring, modelling and managing gully erosion at large scales: A state of the art. *Earth-Science Reviews, 218*, 103637. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103637>

- Vanmaercke, M., Poesen, J., Maetens, W., de Vente, J., & Verstraeten, G. (2011). Sediment yield as a desertification risk indicator. *Science of The Total Environment*, 409(9), 1715–1725. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.01.034>
- Vanwalleggem, T., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Govers, G., & Deckers, J. (2008). Spatial analysis of factors controlling the presence of closed depressions and gullies under forest: Application of rare event logistic regression. *Geomorphology*, 95(3), 504–517. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.07.003>
- Verstraeten, G., & Poesen, J. (1999). The nature of small-scale flooding, muddy floods and retention pond sedimentation in central Belgium. *Geomorphology*, 29(3), 275–292. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00020-3](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00020-3)
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Yang, X., Na, J., Tang, G., Wang, T., & Zhu, A. (2019). Bank gully extraction from DEMs utilizing the geomorphologic features of a loess hilly area in China. *Frontiers of Earth Science*, 13(1), 151–168. <https://doi.org/10.1007/s11707-018-0700-5>

7 Anexos

Tabla 7.1. Características de las cárcavas que componen la red obtenida a partir del MDT de 5 m de paso de malla.

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m ²) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|---------------|-------------------|--------------|--------------|------------------------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| 1 | 120 | 3 | 0 | 4.1 | 2.6 | 33.3 | 60 | 7.7 | 21.3 | 2 | 1 |
| 1 | 115 | 2 | 3 | 2.1 | 30.6 | 172.4 | 320 | 17.7 | 9.2 | 19 | 2 |
| 1 | 124 | 2 | 3 | 1.4 | 6.1 | 53.5 | 92 | 11.5 | 14.3 | 4 | 1 |
| 1 | 140 | 1 | 2 | 0.7 | 38.4 | 181.5 | 320 | 21.1 | 5.1 | 36 | 4 |
| 1 | 111 | 1 | 2 | 0.4 | 14.0 | 59.8 | 108 | 23.3 | 4.6 | 14 | 2 |
| 1 | 112 | 1 | 2 | 0.3 | 6.5 | 31.3 | 56 | 20.7 | 5.2 | 7 | 1 |
| 1 | 119 | 1 | 2 | 0.3 | 12.5 | 51.0 | 92 | 24.4 | 4.4 | 12 | 2 |
| 1 | 146 | 1 | 3 | 0.2 | 18.1 | 135.1 | 204 | 13.4 | 8.0 | 17 | 2 |
| 1 | 117 | 1 | 2 | 0.2 | 0.5 | 8.0 | 16 | 6.8 | 15.7 | 1 | 1 |
| 1 | 116 | 1 | 2 | 0.2 | 1.2 | 13.7 | 24 | 8.9 | 12.0 | 2 | 1 |
| 1 | 134 | 1 | 2 | 0.2 | 10.3 | 55.0 | 100 | 18.7 | 5.7 | 10 | 2 |
| 1 | 113 | 1 | 3 | 0.2 | 3.4 | 31.3 | 56 | 11.0 | 9.7 | 4 | 1 |
| 1 | 131 | 1 | 2 | 0.1 | 4.7 | 33.9 | 48 | 13.8 | 7.7 | 5 | 1 |
| 70 | 148 | 2 | 0 | 0.4 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 32.7 | 1 | 1 |
| 70 | 157 | 1 | 2 | 0.3 | 11.7 | 119.3 | 212 | 9.8 | 10.9 | 11 | 2 |
| 70 | 150 | 1 | 2 | 0.2 | 7.5 | 63.0 | 116 | 11.9 | 9.0 | 8 | 1 |
| 110 | 337 | 5 | 0 | 69.9 | 23.6 | 737.2 | 1216 | 3.2 | 51.0 | 15 | 2 |
| 110 | 297 | 4 | 5 | 17.0 | 8.5 | 195.1 | 324 | 4.4 | 37.4 | 6 | 1 |
| 110 | 411 | 4 | 5 | 14.8 | 20.9 | 283.7 | 468 | 7.4 | 22.2 | 13 | 2 |
| 110 | 352 | 4 | 5 | 7.0 | 4.7 | 98.3 | 180 | 4.8 | 33.9 | 3 | 1 |
| 110 | 417 | 3 | 4 | 6.7 | 16.8 | 147.3 | 268 | 11.4 | 14.3 | 11 | 2 |
| 110 | 254 | 3 | 4 | 6.0 | 10.5 | 178.0 | 288 | 5.9 | 27.6 | 7 | 1 |
| 110 | 252 | 3 | 5 | 4.0 | 35.3 | 427.8 | 660 | 8.3 | 19.8 | 22 | 3 |
| 110 | 274 | 3 | 4 | 3.2 | 19.7 | 204.9 | 360 | 9.6 | 17.0 | 13 | 2 |
| 110 | 355 | 3 | 4 | 3.1 | 1.3 | 39.3 | 72 | 3.3 | 49.1 | 1 | 1 |
| 110 | 454 | 3 | 4 | 3.0 | 10.7 | 93.9 | 168 | 11.4 | 14.3 | 7 | 1 |
| 110 | 304 | 3 | 5 | 2.1 | 3.9 | 52.6 | 92 | 7.4 | 22.2 | 3 | 1 |
| 110 | 356 | 3 | 5 | 1.8 | 2.6 | 24.6 | 36 | 10.5 | 15.6 | 2 | 1 |
| 110 | 357 | 3 | 5 | 1.8 | 1.7 | 29.8 | 48 | 5.7 | 28.7 | 2 | 1 |
| 110 | 342 | 3 | 5 | 1.5 | 5.3 | 107.1 | 196 | 4.9 | 33.1 | 4 | 1 |
| 110 | 339 | 3 | 4 | 1.5 | 0.5 | 14.5 | 24 | 3.4 | 47.6 | 1 | 1 |
| 110 | 376 | 3 | 4 | 1.1 | 4.9 | 95.5 | 148 | 5.2 | 31.7 | 4 | 1 |
| 110 | 216 | 2 | 5 | 5.9 | 56.0 | 603.6 | 1020 | 9.3 | 17.6 | 35 | 4 |
| 110 | 467 | 2 | 3 | 5.2 | 22.3 | 445.4 | 808 | 5.0 | 32.7 | 14 | 2 |
| 110 | 394 | 2 | 4 | 3.7 | 37.2 | 292.5 | 512 | 12.7 | 12.8 | 23 | 3 |
| 110 | 440 | 2 | 5 | 2.0 | 28.6 | 370.8 | 672 | 7.7 | 21.2 | 18 | 2 |
| 110 | 308 | 2 | 4 | 1.8 | 0.8 | 9.7 | 16 | 8.1 | 20.2 | 1 | 1 |
| 110 | 238 | 2 | 3 | 1.4 | 18.9 | 135.7 | 240 | 13.9 | 11.7 | 12 | 2 |
| 110 | 237 | 2 | 3 | 1.2 | 3.7 | 35.0 | 60 | 10.5 | 15.6 | 3 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m ²) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|---------------|-------------------|--------------|--------------|------------------------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| 110 | 368 | 2 | 3 | 1.2 | 3.9 | 81.7 | 132 | 4.7 | 34.7 | 3 | 1 |
| 110 | 441 | 2 | 4 | 1.1 | 26.5 | 235.8 | 412 | 11.3 | 14.5 | 17 | 2 |
| 110 | 381 | 2 | 3 | 1.1 | 6.0 | 96.6 | 160 | 6.2 | 26.5 | 4 | 1 |
| 110 | 354 | 2 | 3 | 1.0 | 4.1 | 70.1 | 112 | 5.9 | 27.7 | 3 | 1 |
| 110 | 429 | 2 | 3 | 1.0 | 2.0 | 16.8 | 32 | 12.0 | 13.6 | 2 | 1 |
| 110 | 292 | 2 | 3 | 1.0 | 8.4 | 133.3 | 240 | 6.3 | 25.9 | 6 | 1 |
| 110 | 250 | 2 | 3 | 1.0 | 6.3 | 59.8 | 108 | 10.6 | 15.5 | 4 | 1 |
| 110 | 403 | 2 | 3 | 0.9 | 14.9 | 174.9 | 272 | 8.5 | 19.2 | 10 | 2 |
| 110 | 350 | 2 | 3 | 0.9 | 0.9 | 18.8 | 36 | 4.9 | 33.7 | 1 | 1 |
| 110 | 281 | 2 | 3 | 0.9 | 9.9 | 73.8 | 136 | 13.3 | 12.2 | 7 | 1 |
| 110 | 363 | 2 | 3 | 0.8 | 3.4 | 71.5 | 128 | 4.7 | 34.7 | 3 | 1 |
| 110 | 298 | 2 | 3 | 0.7 | 1.5 | 27.3 | 48 | 5.6 | 29.0 | 1 | 1 |
| 110 | 457 | 2 | 3 | 0.7 | 2.1 | 17.7 | 32 | 11.8 | 13.9 | 2 | 1 |
| 110 | 364 | 2 | 3 | 0.7 | 2.0 | 28.5 | 52 | 7.1 | 23.0 | 2 | 1 |
| 110 | 385 | 2 | 3 | 0.7 | 7.8 | 110.8 | 200 | 7.0 | 23.3 | 5 | 1 |
| 110 | 386 | 2 | 3 | 0.7 | 7.1 | 94.6 | 176 | 7.5 | 21.7 | 5 | 1 |
| 110 | 351 | 2 | 5 | 0.7 | 4.3 | 67.8 | 124 | 6.3 | 26.1 | 3 | 1 |
| 110 | 360 | 2 | 3 | 0.6 | 2.1 | 55.0 | 100 | 3.9 | 42.3 | 2 | 1 |
| 110 | 379 | 2 | 3 | 0.6 | 1.3 | 17.7 | 32 | 7.4 | 22.0 | 1 | 1 |
| 110 | 319 | 2 | 4 | 0.6 | 4.5 | 47.3 | 88 | 9.6 | 17.1 | 3 | 1 |
| 110 | 358 | 2 | 4 | 0.5 | 2.9 | 31.5 | 48 | 9.1 | 18.1 | 2 | 1 |
| 110 | 313 | 2 | 4 | 0.5 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 46.2 | 1 | 1 |
| 110 | 418 | 2 | 3 | 0.5 | 1.5 | 20.5 | 36 | 7.4 | 21.9 | 1 | 1 |
| 110 | 372 | 2 | 4 | 0.5 | 3.9 | 69.7 | 108 | 5.7 | 28.9 | 3 | 1 |
| 110 | 271 | 2 | 3 | 0.5 | 9.7 | 64.6 | 116 | 15.1 | 10.8 | 6 | 1 |
| 110 | 378 | 2 | 5 | 0.5 | 8.2 | 120.9 | 192 | 6.8 | 24.1 | 6 | 1 |
| 110 | 456 | 2 | 3 | 0.5 | 0.8 | 8.0 | 16 | 10.2 | 16.0 | 1 | 1 |
| 110 | 249 | 2 | 3 | 0.5 | 0.7 | 10.5 | 16 | 7.0 | 23.3 | 1 | 1 |
| 110 | 306 | 2 | 5 | 0.4 | 11.8 | 158.3 | 252 | 7.4 | 22.0 | 8 | 1 |
| 110 | 338 | 2 | 3 | 0.4 | 0.6 | 8.8 | 16 | 7.2 | 22.6 | 1 | 1 |
| 110 | 251 | 2 | 3 | 0.4 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 46.2 | 1 | 1 |
| 110 | 322 | 2 | 4 | 0.4 | 5.5 | 67.5 | 120 | 8.1 | 20.1 | 4 | 1 |
| 110 | 391 | 2 | 3 | 0.3 | 4.5 | 48.8 | 76 | 9.1 | 17.9 | 3 | 1 |
| 110 | 325 | 2 | 4 | 0.3 | 2.4 | 23.7 | 44 | 10.0 | 16.4 | 2 | 1 |
| 110 | 300 | 2 | 4 | 0.3 | 10.1 | 90.1 | 172 | 11.2 | 14.7 | 7 | 1 |
| 110 | 361 | 1 | 2 | 1.4 | 38.4 | 381.9 | 724 | 10.1 | 10.6 | 37 | 4 |
| 110 | 469 | 1 | 2 | 0.8 | 6.0 | 101.0 | 192 | 5.9 | 18.0 | 6 | 1 |
| 110 | 370 | 1 | 2 | 0.8 | 14.8 | 80.1 | 132 | 18.5 | 5.8 | 14 | 2 |
| 110 | 224 | 1 | 2 | 0.8 | 13.6 | 131.3 | 208 | 10.4 | 10.3 | 13 | 2 |
| 110 | 460 | 1 | 2 | 0.8 | 13.5 | 115.9 | 212 | 11.6 | 9.2 | 13 | 2 |
| 110 | 434 | 1 | 2 | 0.6 | 24.0 | 185.8 | 312 | 12.9 | 8.3 | 23 | 3 |
| 110 | 399 | 1 | 5 | 0.6 | 14.9 | 162.1 | 296 | 9.2 | 11.6 | 14 | 2 |
| 110 | 444 | 1 | 5 | 0.6 | 33.8 | 307.8 | 556 | 11.0 | 9.7 | 32 | 4 |
| 110 | 371 | 1 | 2 | 0.6 | 5.9 | 106.7 | 172 | 5.6 | 19.2 | 6 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m2) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|--------------|------------------|------------------|----------------|--------------|
| 110 | 416 | 1 | 5 | 0.5 | 23.1 | 230.9 | 432 | 10.0 | 10.7 | 22 | 3 |
| 110 | 433 | 1 | 3 | 0.5 | 13.7 | 100.9 | 172 | 13.5 | 7.9 | 13 | 2 |
| 110 | 455 | 1 | 2 | 0.5 | 9.3 | 42.3 | 68 | 22.1 | 4.8 | 9 | 1 |
| 110 | 397 | 1 | 2 | 0.5 | 8.4 | 91.9 | 164 | 9.2 | 11.6 | 8 | 1 |
| 110 | 439 | 1 | 4 | 0.4 | 27.1 | 247.1 | 428 | 11.0 | 9.7 | 26 | 3 |
| 110 | 462 | 1 | 2 | 0.4 | 8.7 | 77.7 | 124 | 11.2 | 9.5 | 9 | 1 |
| 110 | 276 | 1 | 2 | 0.4 | 1.6 | 26.5 | 48 | 5.9 | 18.2 | 2 | 1 |
| 110 | 400 | 1 | 5 | 0.4 | 14.4 | 142.4 | 260 | 10.1 | 10.6 | 14 | 2 |
| 110 | 375 | 1 | 5 | 0.4 | 9.3 | 153.3 | 280 | 6.1 | 17.6 | 9 | 1 |
| 110 | 438 | 1 | 2 | 0.4 | 20.2 | 186.9 | 344 | 10.8 | 9.9 | 19 | 2 |
| 110 | 275 | 1 | 2 | 0.4 | 9.0 | 129.0 | 200 | 6.9 | 15.4 | 9 | 1 |
| 110 | 401 | 1 | 2 | 0.4 | 11.5 | 141.6 | 260 | 8.1 | 13.1 | 11 | 2 |
| 110 | 310 | 1 | 4 | 0.4 | 9.2 | 77.0 | 144 | 12.0 | 8.9 | 9 | 1 |
| 110 | 315 | 1 | 2 | 0.4 | 22.4 | 158.8 | 296 | 14.1 | 7.6 | 21 | 3 |
| 110 | 426 | 1 | 2 | 0.3 | 9.2 | 47.5 | 80 | 19.3 | 5.5 | 9 | 1 |
| 110 | 388 | 1 | 2 | 0.3 | 5.1 | 95.1 | 172 | 5.4 | 19.8 | 5 | 1 |
| 110 | 428 | 1 | 2 | 0.3 | 18.6 | 132.2 | 228 | 14.1 | 7.6 | 18 | 2 |
| 110 | 231 | 1 | 3 | 0.3 | 6.9 | 65.1 | 112 | 10.6 | 10.1 | 7 | 1 |
| 110 | 377 | 1 | 2 | 0.3 | 1.9 | 41.3 | 76 | 4.5 | 23.7 | 2 | 1 |
| 110 | 290 | 1 | 2 | 0.3 | 8.6 | 129.7 | 228 | 6.7 | 16.0 | 9 | 1 |
| 110 | 296 | 1 | 3 | 0.3 | 2.7 | 21.7 | 40 | 12.3 | 8.7 | 3 | 1 |
| 110 | 279 | 1 | 2 | 0.3 | 9.4 | 137.2 | 228 | 6.9 | 15.5 | 9 | 1 |
| 110 | 309 | 1 | 2 | 0.3 | 7.1 | 69.3 | 132 | 10.2 | 10.5 | 7 | 1 |
| 110 | 463 | 1 | 2 | 0.3 | 9.3 | 108.8 | 196 | 8.5 | 12.5 | 9 | 1 |
| 110 | 267 | 1 | 5 | 0.3 | 15.7 | 213.6 | 336 | 7.3 | 14.5 | 15 | 2 |
| 110 | 382 | 1 | 2 | 0.3 | 6.4 | 72.6 | 112 | 8.8 | 12.1 | 6 | 1 |
| 110 | 291 | 1 | 3 | 0.3 | 16.4 | 123.7 | 216 | 13.3 | 8.0 | 16 | 2 |
| 110 | 264 | 1 | 3 | 0.3 | 2.6 | 18.5 | 32 | 14.2 | 7.5 | 3 | 1 |
| 110 | 329 | 1 | 2 | 0.3 | 25.4 | 161.6 | 300 | 15.7 | 6.8 | 24 | 3 |
| 110 | 282 | 1 | 5 | 0.3 | 12.2 | 148.2 | 240 | 8.2 | 13.0 | 12 | 2 |
| 110 | 268 | 1 | 3 | 0.3 | 14.1 | 201.4 | 320 | 7.0 | 15.2 | 14 | 2 |
| 110 | 225 | 1 | 2 | 0.3 | 2.7 | 18.1 | 28 | 14.6 | 7.3 | 3 | 1 |
| 110 | 442 | 1 | 2 | 0.3 | 21.2 | 138.9 | 248 | 15.3 | 7.0 | 20 | 3 |
| 110 | 247 | 1 | 2 | 0.3 | 6.7 | 58.1 | 108 | 11.6 | 9.2 | 7 | 1 |
| 110 | 413 | 1 | 2 | 0.3 | 11.2 | 140.3 | 264 | 8.0 | 13.4 | 11 | 2 |
| 110 | 221 | 1 | 2 | 0.3 | 0.8 | 7.7 | 12 | 10.0 | 10.7 | 1 | 1 |
| 110 | 241 | 1 | 2 | 0.3 | 1.3 | 19.8 | 28 | 6.6 | 16.2 | 2 | 1 |
| 110 | 412 | 1 | 2 | 0.3 | 14.6 | 165.7 | 280 | 8.8 | 12.2 | 14 | 2 |
| 110 | 311 | 1 | 5 | 0.3 | 5.3 | 63.7 | 96 | 8.2 | 13.0 | 5 | 1 |
| 110 | 446 | 1 | 2 | 0.3 | 22.5 | 145.3 | 264 | 15.5 | 6.9 | 22 | 3 |
| 110 | 289 | 1 | 5 | 0.3 | 6.8 | 51.9 | 84 | 13.0 | 8.2 | 7 | 1 |
| 110 | 359 | 1 | 2 | 0.3 | 2.6 | 38.3 | 60 | 6.7 | 15.9 | 3 | 1 |
| 110 | 427 | 1 | 2 | 0.3 | 18.2 | 107.6 | 192 | 16.9 | 6.3 | 18 | 2 |
| 110 | 233 | 1 | 2 | 0.3 | 3.3 | 33.0 | 56 | 10.1 | 10.6 | 4 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m ²) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|------------------|------------------|----------------|--------------|
| 110 | 284 | 1 | 2 | 0.3 | 5.0 | 62.8 | 104 | 8.0 | 13.3 | 5 | 1 |
| 110 | 396 | 1 | 3 | 0.3 | 12.6 | 132.8 | 244 | 9.5 | 11.2 | 12 | 2 |
| 110 | 407 | 1 | 2 | 0.3 | 10.1 | 96.6 | 180 | 10.5 | 10.2 | 10 | 2 |
| 110 | 344 | 1 | 5 | 0.2 | 2.4 | 15.3 | 24 | 15.8 | 6.7 | 3 | 1 |
| 110 | 406 | 1 | 2 | 0.2 | 3.2 | 37.0 | 64 | 8.8 | 12.2 | 4 | 1 |
| 110 | 410 | 1 | 2 | 0.2 | 8.0 | 61.0 | 112 | 13.1 | 8.1 | 8 | 1 |
| 110 | 312 | 1 | 5 | 0.2 | 10.9 | 144.0 | 220 | 7.5 | 14.1 | 11 | 2 |
| 110 | 227 | 1 | 2 | 0.2 | 3.4 | 24.8 | 48 | 13.6 | 7.9 | 4 | 1 |
| 110 | 317 | 1 | 4 | 0.2 | 3.1 | 28.1 | 48 | 11.0 | 9.7 | 3 | 1 |
| 110 | 369 | 1 | 2 | 0.2 | 4.5 | 72.6 | 112 | 6.2 | 17.3 | 5 | 1 |
| 110 | 236 | 1 | 2 | 0.2 | 10.8 | 146.5 | 240 | 7.4 | 14.4 | 11 | 2 |
| 110 | 294 | 1 | 4 | 0.2 | 3.2 | 35.5 | 56 | 9.0 | 11.8 | 3 | 1 |
| 110 | 422 | 1 | 2 | 0.2 | 16.8 | 105.5 | 196 | 15.9 | 6.7 | 16 | 2 |
| 110 | 366 | 1 | 5 | 0.2 | 6.5 | 91.8 | 172 | 7.1 | 15.1 | 7 | 1 |
| 110 | 404 | 1 | 2 | 0.2 | 4.5 | 37.3 | 68 | 12.0 | 8.9 | 5 | 1 |
| 110 | 321 | 1 | 5 | 0.2 | 5.3 | 49.5 | 84 | 10.7 | 10.0 | 5 | 1 |
| 110 | 408 | 1 | 2 | 0.2 | 10.8 | 110.1 | 192 | 9.8 | 10.9 | 11 | 2 |
| 110 | 230 | 1 | 2 | 0.2 | 5.2 | 37.0 | 64 | 14.1 | 7.6 | 5 | 1 |
| 110 | 393 | 1 | 2 | 0.2 | 6.7 | 105.1 | 192 | 6.4 | 16.8 | 7 | 1 |
| 110 | 345 | 1 | 2 | 0.2 | 7.6 | 108.3 | 200 | 7.1 | 15.1 | 8 | 1 |
| 110 | 336 | 1 | 5 | 0.2 | 3.2 | 38.1 | 68 | 8.4 | 12.7 | 4 | 1 |
| 110 | 261 | 1 | 3 | 0.2 | 1.9 | 13.7 | 24 | 14.1 | 7.6 | 2 | 1 |
| 110 | 213 | 1 | 2 | 0.2 | 1.1 | 14.5 | 24 | 7.5 | 14.2 | 2 | 1 |
| 110 | 421 | 1 | 2 | 0.2 | 19.0 | 164.3 | 312 | 11.6 | 9.2 | 18 | 2 |
| 110 | 420 | 1 | 2 | 0.2 | 15.3 | 112.1 | 216 | 13.7 | 7.8 | 15 | 2 |
| 110 | 380 | 1 | 2 | 0.2 | 5.6 | 91.6 | 160 | 6.2 | 17.3 | 6 | 1 |
| 110 | 367 | 1 | 2 | 0.2 | 2.7 | 50.1 | 92 | 5.3 | 20.2 | 3 | 1 |
| 110 | 373 | 1 | 2 | 0.2 | 3.4 | 66.1 | 104 | 5.2 | 20.7 | 4 | 1 |
| 110 | 285 | 1 | 2 | 0.2 | 6.7 | 81.6 | 140 | 8.2 | 13.0 | 7 | 1 |
| 110 | 374 | 1 | 2 | 0.2 | 0.0 | 16.8 | 32 | 0.2 | 695.3 | 1 | 1 |
| 110 | 341 | 1 | 5 | 0.2 | 3.8 | 44.3 | 72 | 8.6 | 12.5 | 4 | 1 |
| 110 | 383 | 1 | 2 | 0.2 | 3.2 | 35.3 | 64 | 9.1 | 11.7 | 4 | 1 |
| 110 | 340 | 1 | 4 | 0.2 | 7.0 | 95.1 | 172 | 7.3 | 14.5 | 7 | 1 |
| 110 | 459 | 1 | 2 | 0.2 | 2.7 | 24.0 | 48 | 11.2 | 9.6 | 3 | 1 |
| 110 | 423 | 1 | 2 | 0.2 | 13.7 | 85.1 | 152 | 16.1 | 6.6 | 13 | 2 |
| 110 | 302 | 1 | 2 | 0.2 | 3.6 | 53.3 | 100 | 6.7 | 15.9 | 4 | 1 |
| 110 | 287 | 1 | 2 | 0.2 | 4.8 | 41.1 | 64 | 11.7 | 9.1 | 5 | 1 |
| 110 | 347 | 1 | 2 | 0.2 | 5.5 | 90.3 | 164 | 6.1 | 17.4 | 6 | 1 |
| 110 | 257 | 1 | 2 | 0.2 | 7.2 | 45.3 | 84 | 15.8 | 6.8 | 7 | 1 |
| 110 | 430 | 1 | 2 | 0.2 | 10.3 | 65.9 | 112 | 15.7 | 6.8 | 10 | 2 |
| 110 | 435 | 1 | 3 | 0.2 | 9.6 | 66.9 | 104 | 14.4 | 7.4 | 10 | 2 |
| 110 | 425 | 1 | 2 | 0.2 | 8.6 | 55.8 | 100 | 15.4 | 6.9 | 9 | 1 |
| 110 | 384 | 1 | 2 | 0.2 | 5.6 | 66.6 | 120 | 8.5 | 12.6 | 6 | 1 |
| 110 | 398 | 1 | 2 | 0.2 | 6.4 | 72.3 | 128 | 8.9 | 12.0 | 7 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m ²) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|------------------|------------------|----------------|--------------|
| 110 | 437 | 1 | 2 | 0.2 | 12.8 | 69.9 | 120 | 18.4 | 5.8 | 13 | 2 |
| 110 | 436 | 1 | 2 | 0.2 | 11.1 | 48.0 | 96 | 23.2 | 4.6 | 11 | 2 |
| 110 | 419 | 1 | 2 | 0.2 | 13.3 | 87.3 | 168 | 15.3 | 7.0 | 13 | 2 |
| 110 | 269 | 1 | 2 | 0.2 | 2.8 | 33.3 | 60 | 8.3 | 12.9 | 3 | 1 |
| 110 | 229 | 1 | 2 | 0.2 | 10.6 | 71.7 | 112 | 14.7 | 7.2 | 10 | 2 |
| 110 | 265 | 1 | 3 | 0.2 | 0.4 | 7.7 | 12 | 5.6 | 19.0 | 1 | 1 |
| 110 | 445 | 1 | 3 | 0.2 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 110 | 395 | 1 | 2 | 0.2 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 110 | 212 | 1 | 2 | 0.2 | 1.1 | 14.1 | 20 | 7.8 | 13.7 | 2 | 1 |
| 110 | 273 | 1 | 3 | 0.2 | 1.2 | 17.3 | 28 | 7.0 | 15.2 | 2 | 1 |
| 110 | 465 | 1 | 2 | 0.2 | 9.7 | 60.5 | 116 | 16.0 | 6.7 | 10 | 2 |
| 110 | 277 | 1 | 2 | 0.2 | 4.8 | 49.3 | 92 | 9.7 | 11.0 | 5 | 1 |
| 110 | 390 | 1 | 2 | 0.2 | 2.2 | 25.3 | 44 | 8.8 | 12.1 | 3 | 1 |
| 110 | 327 | 1 | 2 | 0.2 | 8.8 | 68.1 | 128 | 12.9 | 8.3 | 9 | 1 |
| 110 | 242 | 1 | 2 | 0.2 | 4.1 | 29.5 | 44 | 13.8 | 7.8 | 4 | 1 |
| 110 | 333 | 1 | 2 | 0.2 | 3.8 | 51.0 | 92 | 7.5 | 14.3 | 4 | 1 |
| 110 | 432 | 1 | 2 | 0.2 | 0.6 | 8.0 | 16 | 7.8 | 13.7 | 1 | 1 |
| 110 | 405 | 1 | 2 | 0.2 | 11.5 | 69.6 | 116 | 16.5 | 6.5 | 11 | 2 |
| 110 | 362 | 1 | 2 | 0.2 | 2.6 | 39.9 | 60 | 6.4 | 16.7 | 3 | 1 |
| 110 | 452 | 1 | 2 | 0.2 | 1.1 | 10.5 | 16 | 10.7 | 9.9 | 2 | 1 |
| 110 | 461 | 1 | 2 | 0.2 | 6.2 | 54.5 | 104 | 11.5 | 9.3 | 6 | 1 |
| 110 | 415 | 1 | 3 | 0.2 | 3.9 | 23.3 | 40 | 16.6 | 6.4 | 4 | 1 |
| 110 | 218 | 1 | 2 | 0.2 | 1.0 | 11.3 | 16 | 8.6 | 12.4 | 1 | 1 |
| 110 | 316 | 1 | 5 | 0.2 | 3.4 | 32.3 | 48 | 10.5 | 10.2 | 4 | 1 |
| 110 | 278 | 1 | 3 | 0.2 | 2.8 | 20.1 | 32 | 13.7 | 7.8 | 3 | 1 |
| 110 | 314 | 1 | 2 | 0.2 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 110 | 256 | 1 | 2 | 0.2 | 2.2 | 23.8 | 36 | 9.2 | 11.6 | 3 | 1 |
| 110 | 259 | 1 | 3 | 0.2 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 110 | 303 | 1 | 2 | 0.2 | 9.1 | 56.8 | 112 | 16.0 | 6.7 | 9 | 1 |
| 110 | 266 | 1 | 2 | 0.2 | 0.0 | 12.8 | 24 | 0.1 | 786.6 | 1 | 1 |
| 110 | 263 | 1 | 3 | 0.1 | 13.3 | 97.8 | 184 | 13.6 | 7.9 | 13 | 2 |
| 110 | 323 | 1 | 5 | 0.1 | 2.8 | 20.8 | 40 | 13.3 | 8.0 | 3 | 1 |
| 110 | 402 | 1 | 2 | 0.1 | 3.3 | 26.8 | 52 | 12.2 | 8.7 | 4 | 1 |
| 110 | 448 | 1 | 2 | 0.1 | 4.6 | 34.1 | 60 | 13.4 | 8.0 | 5 | 1 |
| 110 | 288 | 1 | 3 | 0.1 | 2.6 | 25.7 | 48 | 10.0 | 10.6 | 3 | 1 |
| 110 | 286 | 1 | 5 | 0.1 | 5.4 | 30.1 | 52 | 17.8 | 6.0 | 6 | 1 |
| 110 | 349 | 1 | 2 | 0.1 | 1.8 | 33.8 | 56 | 5.4 | 19.7 | 2 | 1 |
| 110 | 335 | 1 | 5 | 0.1 | 3.3 | 27.3 | 48 | 12.2 | 8.8 | 4 | 1 |
| 110 | 283 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 110 | 414 | 1 | 2 | 0.1 | 5.4 | 47.9 | 76 | 11.2 | 9.6 | 6 | 1 |
| 110 | 451 | 1 | 2 | 0.1 | 5.0 | 37.5 | 60 | 13.3 | 8.0 | 5 | 1 |
| 110 | 258 | 1 | 3 | 0.1 | 4.1 | 30.5 | 56 | 13.3 | 8.0 | 4 | 1 |
| 110 | 326 | 1 | 2 | 0.1 | 2.5 | 35.7 | 68 | 6.9 | 15.5 | 3 | 1 |
| 110 | 334 | 1 | 5 | 0.1 | 2.6 | 21.7 | 40 | 12.1 | 8.8 | 3 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m2) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|--------------|------------------|------------------|----------------|--------------|
| 110 | 295 | 1 | 5 | 0.1 | 4.5 | 35.1 | 52 | 12.7 | 8.4 | 5 | 1 |
| 110 | 353 | 1 | 2 | 0.1 | 1.3 | 29.7 | 56 | 4.4 | 24.0 | 2 | 1 |
| 110 | 453 | 1 | 2 | 0.1 | 7.9 | 31.7 | 60 | 24.8 | 4.3 | 8 | 1 |
| 110 | 450 | 1 | 2 | 0.1 | 4.3 | 20.5 | 36 | 21.1 | 5.1 | 5 | 1 |
| 110 | 243 | 1 | 2 | 0.1 | 0.8 | 6.0 | 12 | 12.9 | 8.3 | 1 | 1 |
| 110 | 443 | 1 | 3 | 0.1 | 4.5 | 32.3 | 48 | 14.0 | 7.6 | 5 | 1 |
| 110 | 464 | 1 | 2 | 0.1 | 1.3 | 12.8 | 24 | 10.0 | 10.6 | 2 | 1 |
| 110 | 346 | 1 | 5 | 0.1 | 0.9 | 4.0 | 8 | 21.9 | 4.9 | 1 | 1 |
| 110 | 447 | 1 | 2 | 0.1 | 9.1 | 36.5 | 68 | 25.1 | 4.3 | 9 | 1 |
| 110 | 245 | 1 | 2 | 0.1 | 0.7 | 8.5 | 12 | 7.9 | 13.6 | 1 | 1 |
| 110 | 409 | 1 | 4 | 0.1 | 1.5 | 6.0 | 12 | 24.2 | 4.4 | 2 | 1 |
| 110 | 246 | 1 | 2 | 0.1 | 0.2 | 4.8 | 8 | 5.1 | 21.0 | 1 | 1 |
| 110 | 293 | 1 | 3 | 0.1 | 0.3 | 4.8 | 8 | 6.8 | 15.6 | 1 | 1 |
| 110 | 318 | 1 | 2 | 0.1 | 0.9 | 10.8 | 20 | 8.0 | 13.3 | 1 | 1 |
| 110 | 468 | 1 | 2 | 0.1 | 4.2 | 26.5 | 48 | 15.9 | 6.7 | 4 | 1 |
| 110 | 320 | 1 | 2 | 0.1 | 1.5 | 17.7 | 32 | 8.5 | 12.6 | 2 | 1 |
| 110 | 280 | 1 | 3 | 0.1 | 0.8 | 8.8 | 16 | 9.3 | 11.5 | 1 | 1 |
| 110 | 348 | 1 | 2 | 0.1 | 0.4 | 10.8 | 20 | 3.7 | 29.2 | 1 | 1 |
| 110 | 234 | 1 | 2 | 0.1 | 2.9 | 24.6 | 36 | 12.0 | 8.9 | 3 | 1 |
| 110 | 387 | 1 | 4 | 0.1 | 0.7 | 6.0 | 12 | 11.0 | 9.7 | 1 | 1 |
| 110 | 449 | 1 | 2 | 0.1 | 4.3 | 17.7 | 32 | 24.2 | 4.4 | 5 | 1 |
| 110 | 262 | 1 | 3 | 0.1 | 4.2 | 24.0 | 48 | 17.3 | 6.2 | 4 | 1 |
| 110 | 324 | 1 | 2 | 0.1 | 0.7 | 10.8 | 20 | 6.4 | 16.7 | 1 | 1 |
| 110 | 332 | 1 | 5 | 0.1 | 1.7 | 10.0 | 20 | 17.4 | 6.1 | 2 | 1 |
| 110 | 365 | 1 | 4 | 0.1 | 0.6 | 8.0 | 16 | 6.9 | 15.4 | 1 | 1 |
| 110 | 235 | 1 | 2 | 0.1 | 0.2 | 5.7 | 8 | 2.6 | 41.1 | 1 | 1 |
| 110 | 239 | 1 | 2 | 0.1 | 0.1 | 4.0 | 8 | 2.7 | 40.3 | 1 | 1 |
| 110 | 331 | 1 | 5 | 0.1 | 2.7 | 21.0 | 32 | 12.7 | 8.4 | 3 | 1 |
| 110 | 301 | 1 | 2 | 0.1 | 2.4 | 18.0 | 36 | 13.1 | 8.1 | 3 | 1 |
| 110 | 424 | 1 | 2 | 0.1 | 2.0 | 12.5 | 20 | 15.7 | 6.8 | 2 | 1 |
| 110 | 431 | 1 | 2 | 0.1 | 2.4 | 10.5 | 16 | 23.1 | 4.6 | 3 | 1 |
| 110 | 328 | 1 | 4 | 0.1 | 1.3 | 10.0 | 20 | 12.7 | 8.4 | 2 | 1 |
| 110 | 458 | 1 | 2 | 0.1 | 0.9 | 6.8 | 12 | 13.7 | 7.8 | 1 | 1 |
| 110 | 272 | 1 | 2 | 0.1 | 0.1 | 4.0 | 8 | 3.4 | 31.6 | 1 | 1 |
| 110 | 389 | 1 | 2 | 0.1 | 0.8 | 8.0 | 16 | 10.4 | 10.3 | 1 | 1 |
| 110 | 270 | 1 | 3 | 0.1 | 1.7 | 9.7 | 16 | 17.8 | 6.0 | 2 | 1 |
| 110 | 343 | 1 | 5 | 0.1 | 1.7 | 6.0 | 12 | 28.3 | 3.8 | 2 | 1 |
| 110 | 330 | 1 | 5 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 110 | 307 | 1 | 4 | 0.1 | 0.7 | 6.0 | 12 | 11.3 | 9.4 | 1 | 1 |
| 110 | 299 | 1 | 4 | 0.1 | 1.1 | 7.7 | 12 | 14.3 | 7.5 | 2 | 1 |
| 110 | 305 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 110 | 217 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 110 | 466 | 1 | 2 | 0.1 | 0.6 | 4.8 | 8 | 11.9 | 9.0 | 1 | 1 |
| 110 | 392 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m ²) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|------------------|------------------|----------------|--------------|
| 116 | 188 | 3 | 0 | 5.1 | 3.4 | 47.3 | 88 | 7.1 | 22.9 | 3 | 1 |
| 116 | 166 | 2 | 3 | 4.3 | 38.9 | 319.1 | 552 | 12.2 | 13.4 | 24 | 3 |
| 116 | 191 | 2 | 3 | 0.4 | 1.9 | 20.1 | 32 | 9.6 | 17.0 | 2 | 1 |
| 116 | 169 | 1 | 2 | 0.5 | 12.2 | 64.1 | 120 | 19.0 | 5.6 | 12 | 2 |
| 116 | 158 | 1 | 2 | 0.4 | 11.0 | 48.6 | 84 | 22.7 | 4.7 | 11 | 2 |
| 116 | 161 | 1 | 2 | 0.3 | 6.1 | 32.1 | 56 | 18.9 | 5.6 | 6 | 1 |
| 116 | 185 | 1 | 2 | 0.3 | 17.5 | 127.8 | 244 | 13.7 | 7.8 | 17 | 2 |
| 116 | 200 | 1 | 2 | 0.3 | 10.5 | 112.8 | 204 | 9.3 | 11.5 | 10 | 2 |
| 116 | 178 | 1 | 2 | 0.2 | 9.8 | 78.5 | 152 | 12.5 | 8.6 | 10 | 2 |
| 116 | 186 | 1 | 2 | 0.2 | 12.6 | 102.1 | 196 | 12.3 | 8.7 | 12 | 2 |
| 116 | 189 | 1 | 2 | 0.2 | 6.6 | 55.0 | 100 | 12.1 | 8.9 | 7 | 1 |
| 116 | 187 | 1 | 2 | 0.2 | 6.7 | 49.7 | 96 | 13.5 | 7.9 | 7 | 1 |
| 116 | 168 | 1 | 2 | 0.2 | 1.6 | 9.7 | 16 | 16.1 | 6.7 | 2 | 1 |
| 116 | 182 | 1 | 3 | 0.2 | 5.5 | 52.4 | 80 | 10.4 | 10.2 | 6 | 1 |
| 116 | 192 | 1 | 2 | 0.1 | 1.9 | 22.0 | 44 | 8.8 | 12.2 | 2 | 1 |
| 116 | 164 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 162 | 255 | 3 | 0 | 1.5 | 4.2 | 36.5 | 68 | 11.4 | 14.3 | 3 | 1 |
| 162 | 253 | 2 | 3 | 0.8 | 1.9 | 32.5 | 60 | 5.7 | 28.7 | 2 | 1 |
| 162 | 244 | 2 | 3 | 0.7 | 11.9 | 182.7 | 324 | 6.5 | 25.2 | 8 | 1 |
| 162 | 226 | 1 | 2 | 0.3 | 15.9 | 214.5 | 376 | 7.4 | 14.4 | 15 | 2 |
| 162 | 228 | 1 | 2 | 0.2 | 4.7 | 62.4 | 100 | 7.5 | 14.2 | 5 | 1 |
| 162 | 240 | 1 | 2 | 0.2 | 7.0 | 101.6 | 180 | 6.9 | 15.5 | 7 | 1 |
| 162 | 248 | 1 | 2 | 0.2 | 3.9 | 55.8 | 100 | 6.9 | 15.5 | 4 | 1 |
| 162 | 232 | 1 | 2 | 0.2 | 4.9 | 65.1 | 112 | 7.6 | 14.1 | 5 | 1 |
| 162 | 260 | 1 | 2 | 0.1 | 1.3 | 20.8 | 40 | 6.2 | 17.3 | 2 | 1 |
| 177 | 196 | 2 | 0 | 5.2 | 52.8 | 473.6 | 808 | 11.1 | 14.7 | 33 | 4 |
| 177 | 203 | 1 | 2 | 0.6 | 21.0 | 196.0 | 344 | 10.7 | 10.0 | 20 | 3 |
| 177 | 204 | 1 | 2 | 0.2 | 5.5 | 23.8 | 36 | 23.1 | 4.6 | 6 | 1 |
| 177 | 190 | 1 | 2 | 0.2 | 2.0 | 13.3 | 20 | 15.2 | 7.0 | 2 | 1 |
| 177 | 215 | 1 | 2 | 0.2 | 7.3 | 73.6 | 124 | 9.9 | 10.8 | 7 | 1 |
| 177 | 194 | 1 | 2 | 0.1 | 0.5 | 4.8 | 8 | 10.2 | 10.5 | 1 | 1 |
| 177 | 222 | 1 | 2 | 0.1 | 1.8 | 14.1 | 20 | 13.0 | 8.2 | 2 | 1 |
| 177 | 202 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 177 | 223 | 1 | 2 | 0.1 | 1.5 | 10.8 | 20 | 13.6 | 7.8 | 2 | 1 |
| 177 | 219 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 232 | 96 | 2 | 0 | 0.6 | 5.2 | 38.1 | 68 | 13.8 | 11.9 | 4 | 1 |
| 232 | 83 | 1 | 2 | 0.2 | 9.8 | 49.3 | 72 | 20.0 | 5.3 | 10 | 2 |
| 232 | 90 | 1 | 2 | 0.2 | 5.1 | 28.6 | 44 | 17.8 | 6.0 | 5 | 1 |
| 232 | 98 | 1 | 2 | 0.1 | 4.5 | 31.7 | 60 | 14.1 | 7.5 | 5 | 1 |
| 356 | 66 | 2 | 0 | 2.5 | 29.9 | 203.9 | 368 | 14.7 | 11.1 | 19 | 2 |
| 356 | 72 | 1 | 2 | 0.2 | 5.9 | 50.8 | 80 | 11.6 | 9.2 | 6 | 1 |
| 356 | 62 | 1 | 2 | 0.2 | 3.3 | 23.3 | 40 | 14.2 | 7.5 | 4 | 1 |
| 356 | 65 | 1 | 2 | 0.2 | 4.0 | 20.5 | 36 | 19.6 | 5.4 | 4 | 1 |
| 356 | 70 | 1 | 2 | 0.2 | 2.1 | 18.1 | 28 | 11.6 | 9.2 | 2 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m ²) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|------------------|------------------|----------------|--------------|
| 356 | 60 | 1 | 2 | 0.1 | 2.1 | 14.1 | 20 | 14.6 | 7.3 | 2 | 1 |
| 356 | 61 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 426 | 23 | 3 | 0 | 3.3 | 10.6 | 90.3 | 164 | 11.8 | 13.9 | 7 | 1 |
| 426 | 45 | 2 | 3 | 1.6 | 10.9 | 83.7 | 136 | 13.0 | 12.6 | 7 | 1 |
| 426 | 39 | 2 | 3 | 1.1 | 7.7 | 56.6 | 100 | 13.6 | 12.0 | 5 | 1 |
| 426 | 57 | 1 | 2 | 0.8 | 13.1 | 103.4 | 172 | 12.7 | 8.4 | 13 | 2 |
| 426 | 49 | 1 | 2 | 0.4 | 9.2 | 66.6 | 120 | 13.8 | 7.7 | 9 | 1 |
| 426 | 32 | 1 | 2 | 0.3 | 2.8 | 22.8 | 44 | 12.3 | 8.7 | 3 | 1 |
| 426 | 47 | 1 | 2 | 0.2 | 2.8 | 23.8 | 36 | 11.8 | 9.0 | 3 | 1 |
| 426 | 28 | 1 | 2 | 0.2 | 2.1 | 18.1 | 28 | 11.8 | 9.0 | 3 | 1 |
| 426 | 22 | 1 | 3 | 0.2 | 1.6 | 13.7 | 24 | 11.6 | 9.2 | 2 | 1 |
| 426 | 41 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 511 | 156 | 3 | 0 | 23.3 | 39.5 | 846.8 | 1440 | 4.7 | 35.0 | 25 | 3 |
| 511 | 82 | 2 | 3 | 2.5 | 18.0 | 165.3 | 276 | 10.9 | 15.0 | 12 | 2 |
| 511 | 69 | 2 | 3 | 1.9 | 12.1 | 131.6 | 240 | 9.2 | 17.7 | 8 | 1 |
| 511 | 132 | 2 | 3 | 1.1 | 9.1 | 63.3 | 100 | 14.3 | 11.4 | 6 | 1 |
| 511 | 172 | 2 | 3 | 1.1 | 6.8 | 61.3 | 116 | 11.1 | 14.7 | 5 | 1 |
| 511 | 27 | 2 | 3 | 1.0 | 7.3 | 64.6 | 116 | 11.3 | 14.5 | 5 | 1 |
| 511 | 36 | 2 | 3 | 1.0 | 12.0 | 92.2 | 148 | 13.1 | 12.5 | 8 | 1 |
| 511 | 106 | 2 | 3 | 1.0 | 13.1 | 86.1 | 144 | 15.2 | 10.7 | 9 | 1 |
| 511 | 56 | 2 | 3 | 0.9 | 8.9 | 69.7 | 108 | 12.7 | 12.8 | 6 | 1 |
| 511 | 163 | 2 | 3 | 0.7 | 3.2 | 31.5 | 48 | 10.2 | 16.0 | 2 | 1 |
| 511 | 142 | 2 | 3 | 0.6 | 0.6 | 8.5 | 12 | 6.7 | 24.4 | 1 | 1 |
| 511 | 43 | 2 | 3 | 0.6 | 3.1 | 34.6 | 56 | 8.9 | 18.4 | 2 | 1 |
| 511 | 54 | 2 | 3 | 0.5 | 4.2 | 37.5 | 60 | 11.3 | 14.5 | 3 | 1 |
| 511 | 9 | 2 | 3 | 0.5 | 0.8 | 27.8 | 44 | 2.9 | 56.6 | 1 | 1 |
| 511 | 97 | 1 | 3 | 1.0 | 13.1 | 103.9 | 188 | 12.6 | 8.5 | 13 | 2 |
| 511 | 73 | 1 | 2 | 0.7 | 7.5 | 76.4 | 128 | 9.8 | 10.9 | 8 | 1 |
| 511 | 108 | 1 | 3 | 0.5 | 12.4 | 79.9 | 140 | 15.5 | 6.9 | 12 | 2 |
| 511 | 147 | 1 | 2 | 0.5 | 7.7 | 57.6 | 92 | 13.4 | 8.0 | 8 | 1 |
| 511 | 8 | 1 | 3 | 0.5 | 10.8 | 109.4 | 184 | 9.9 | 10.8 | 11 | 2 |
| 511 | 81 | 1 | 2 | 0.4 | 4.9 | 34.3 | 52 | 14.4 | 7.4 | 5 | 1 |
| 511 | 48 | 1 | 2 | 0.3 | 8.1 | 48.8 | 76 | 16.7 | 6.4 | 8 | 1 |
| 511 | 173 | 1 | 2 | 0.3 | 5.1 | 45.9 | 72 | 11.1 | 9.6 | 5 | 1 |
| 511 | 29 | 1 | 2 | 0.3 | 6.4 | 55.0 | 100 | 11.7 | 9.1 | 7 | 1 |
| 511 | 137 | 1 | 2 | 0.3 | 1.3 | 10.8 | 20 | 11.5 | 9.3 | 2 | 1 |
| 511 | 74 | 1 | 2 | 0.3 | 3.7 | 26.1 | 44 | 14.3 | 7.5 | 4 | 1 |
| 511 | 2 | 1 | 3 | 0.3 | 0.4 | 10.8 | 20 | 3.9 | 27.3 | 1 | 1 |
| 511 | 167 | 1 | 2 | 0.3 | 2.2 | 21.3 | 36 | 10.2 | 10.5 | 3 | 1 |
| 511 | 76 | 1 | 3 | 0.3 | 5.5 | 33.3 | 60 | 16.4 | 6.5 | 6 | 1 |
| 511 | 123 | 1 | 3 | 0.3 | 7.8 | 48.1 | 88 | 16.1 | 6.6 | 8 | 1 |
| 511 | 174 | 1 | 2 | 0.3 | 0.7 | 6.0 | 12 | 11.0 | 9.7 | 1 | 1 |
| 511 | 85 | 1 | 2 | 0.3 | 3.2 | 27.8 | 44 | 11.6 | 9.2 | 4 | 1 |
| 511 | 102 | 1 | 2 | 0.3 | 5.0 | 36.1 | 64 | 13.9 | 7.7 | 5 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m ²) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|------------------|------------------|----------------|--------------|
| 511 | 46 | 1 | 3 | 0.3 | 5.9 | 36.5 | 68 | 16.3 | 6.6 | 6 | 1 |
| 511 | 5 | 1 | 2 | 0.2 | 6.6 | 51.1 | 84 | 13.0 | 8.2 | 7 | 1 |
| 511 | 40 | 1 | 2 | 0.2 | 1.7 | 14.5 | 24 | 11.4 | 9.3 | 2 | 1 |
| 511 | 21 | 1 | 2 | 0.2 | 3.3 | 31.0 | 52 | 10.5 | 10.1 | 4 | 1 |
| 511 | 1 | 1 | 3 | 0.2 | 8.6 | 94.1 | 160 | 9.2 | 11.7 | 9 | 1 |
| 511 | 58 | 1 | 2 | 0.2 | 1.7 | 13.3 | 20 | 12.8 | 8.3 | 2 | 1 |
| 511 | 175 | 1 | 2 | 0.2 | 0.8 | 9.7 | 16 | 8.5 | 12.5 | 1 | 1 |
| 511 | 129 | 1 | 2 | 0.2 | 6.9 | 37.8 | 64 | 18.2 | 5.9 | 7 | 1 |
| 511 | 141 | 1 | 2 | 0.2 | 3.9 | 27.7 | 52 | 14.3 | 7.5 | 4 | 1 |
| 511 | 84 | 1 | 2 | 0.2 | 0.6 | 6.8 | 12 | 8.9 | 12.0 | 1 | 1 |
| 511 | 92 | 1 | 2 | 0.2 | 3.9 | 29.3 | 52 | 13.4 | 8.0 | 4 | 1 |
| 511 | 79 | 1 | 3 | 0.2 | 2.4 | 11.7 | 20 | 20.7 | 5.2 | 3 | 1 |
| 511 | 53 | 1 | 2 | 0.2 | 4.4 | 33.8 | 56 | 13.1 | 8.2 | 5 | 1 |
| 511 | 52 | 1 | 2 | 0.2 | 2.8 | 18.5 | 32 | 15.3 | 7.0 | 3 | 1 |
| 511 | 4 | 1 | 3 | 0.2 | 0.5 | 10.0 | 20 | 5.3 | 20.1 | 1 | 1 |
| 511 | 109 | 1 | 2 | 0.2 | 1.4 | 12.5 | 20 | 11.3 | 9.5 | 2 | 1 |
| 511 | 24 | 1 | 2 | 0.2 | 2.7 | 18.1 | 28 | 15.0 | 7.1 | 3 | 1 |
| 511 | 67 | 1 | 2 | 0.2 | 2.9 | 26.5 | 48 | 11.0 | 9.7 | 3 | 1 |
| 511 | 55 | 1 | 2 | 0.2 | 4.5 | 29.0 | 48 | 15.6 | 6.9 | 5 | 1 |
| 511 | 154 | 1 | 3 | 0.2 | 3.9 | 29.0 | 48 | 13.4 | 8.0 | 4 | 1 |
| 511 | 51 | 1 | 2 | 0.2 | 2.9 | 21.0 | 32 | 14.0 | 7.6 | 3 | 1 |
| 511 | 71 | 1 | 2 | 0.1 | 1.2 | 6.8 | 12 | 17.9 | 6.0 | 2 | 1 |
| 511 | 138 | 1 | 2 | 0.1 | 2.1 | 16.1 | 24 | 12.7 | 8.4 | 2 | 1 |
| 511 | 64 | 1 | 2 | 0.1 | 1.4 | 11.7 | 20 | 12.4 | 8.6 | 2 | 1 |
| 511 | 78 | 1 | 2 | 0.1 | 3.4 | 26.1 | 44 | 13.1 | 8.2 | 4 | 1 |
| 511 | 12 | 1 | 3 | 0.1 | 0.1 | 5.7 | 8 | 2.5 | 43.1 | 1 | 1 |
| 511 | 59 | 1 | 2 | 0.1 | 2.6 | 15.7 | 28 | 16.5 | 6.5 | 3 | 1 |
| 511 | 44 | 1 | 2 | 0.1 | 2.6 | 17.3 | 28 | 15.2 | 7.0 | 3 | 1 |
| 511 | 77 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 511 | 7 | 1 | 2 | 0.1 | 1.0 | 11.7 | 20 | 8.3 | 12.8 | 1 | 1 |
| 511 | 130 | 1 | 2 | 0.1 | 1.1 | 9.7 | 16 | 10.9 | 9.8 | 1 | 1 |
| 511 | 75 | 1 | 2 | 0.1 | 1.2 | 13.3 | 20 | 9.2 | 11.6 | 2 | 1 |
| 511 | 38 | 1 | 2 | 0.1 | 0.9 | 10.5 | 16 | 8.6 | 12.4 | 1 | 1 |
| 511 | 110 | 1 | 2 | 0.1 | 1.8 | 14.1 | 20 | 12.9 | 8.3 | 2 | 1 |
| 511 | 63 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 511 | 143 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 547 | 80 | 4 | 0 | 25.9 | 21.4 | 493.7 | 868 | 4.3 | 37.7 | 14 | 2 |
| 547 | 193 | 3 | 4 | 13.0 | 23.1 | 489.9 | 824 | 4.7 | 34.7 | 15 | 2 |
| 547 | 95 | 3 | 4 | 5.9 | 5.0 | 79.7 | 128 | 6.3 | 26.0 | 4 | 1 |
| 547 | 125 | 2 | 3 | 2.4 | 11.8 | 180.7 | 300 | 6.5 | 25.1 | 8 | 1 |
| 547 | 207 | 2 | 3 | 2.1 | 17.4 | 261.8 | 444 | 6.7 | 24.6 | 11 | 2 |
| 547 | 179 | 2 | 3 | 1.9 | 8.3 | 152.6 | 272 | 5.4 | 30.0 | 6 | 1 |
| 547 | 165 | 2 | 3 | 1.8 | 12.4 | 126.5 | 200 | 9.8 | 16.6 | 8 | 1 |
| 547 | 121 | 2 | 3 | 1.4 | 9.9 | 106.6 | 200 | 9.2 | 17.7 | 7 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m2) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|--------------|------------------|------------------|----------------|--------------|
| 547 | 93 | 2 | 3 | 1.2 | 5.8 | 74.1 | 140 | 7.8 | 21.0 | 4 | 1 |
| 547 | 208 | 2 | 3 | 0.8 | 3.2 | 59.6 | 96 | 5.4 | 30.1 | 2 | 1 |
| 547 | 127 | 2 | 3 | 0.8 | 5.9 | 61.1 | 104 | 9.7 | 16.9 | 4 | 1 |
| 547 | 31 | 2 | 4 | 0.6 | 2.6 | 54.3 | 92 | 4.7 | 34.6 | 2 | 1 |
| 547 | 17 | 2 | 4 | 0.6 | 0.6 | 18.1 | 28 | 3.1 | 52.2 | 1 | 1 |
| 547 | 197 | 2 | 3 | 0.6 | 1.2 | 18.1 | 28 | 6.4 | 25.5 | 1 | 1 |
| 547 | 195 | 2 | 3 | 0.5 | 0.4 | 12.5 | 20 | 3.0 | 53.7 | 1 | 1 |
| 547 | 153 | 2 | 3 | 0.3 | 0.8 | 10.8 | 20 | 7.2 | 22.8 | 1 | 1 |
| 547 | 101 | 1 | 4 | 1.3 | 20.2 | 338.5 | 556 | 6.0 | 17.8 | 19 | 2 |
| 547 | 139 | 1 | 2 | 0.4 | 2.8 | 45.8 | 80 | 6.2 | 17.2 | 3 | 1 |
| 547 | 220 | 1 | 2 | 0.4 | 2.7 | 75.6 | 128 | 3.5 | 30.1 | 3 | 1 |
| 547 | 206 | 1 | 2 | 0.4 | 1.9 | 30.8 | 60 | 6.0 | 17.7 | 2 | 1 |
| 547 | 135 | 1 | 2 | 0.3 | 2.3 | 28.5 | 52 | 7.9 | 13.5 | 3 | 1 |
| 547 | 144 | 1 | 2 | 0.3 | 4.9 | 57.1 | 96 | 8.5 | 12.5 | 5 | 1 |
| 547 | 205 | 1 | 2 | 0.3 | 3.9 | 65.9 | 112 | 6.0 | 17.9 | 4 | 1 |
| 547 | 105 | 1 | 2 | 0.3 | 4.6 | 49.1 | 80 | 9.3 | 11.5 | 5 | 1 |
| 547 | 180 | 1 | 2 | 0.3 | 2.1 | 33.3 | 60 | 6.3 | 17.1 | 2 | 1 |
| 547 | 91 | 1 | 2 | 0.3 | 1.0 | 15.7 | 28 | 6.4 | 16.6 | 1 | 1 |
| 547 | 171 | 1 | 2 | 0.3 | 3.2 | 40.6 | 68 | 8.0 | 13.4 | 4 | 1 |
| 547 | 160 | 1 | 2 | 0.3 | 2.9 | 35.0 | 60 | 8.3 | 12.9 | 3 | 1 |
| 547 | 30 | 1 | 2 | 0.3 | 10.9 | 74.1 | 140 | 14.8 | 7.2 | 11 | 2 |
| 547 | 19 | 1 | 4 | 0.2 | 1.2 | 27.8 | 44 | 4.1 | 25.9 | 2 | 1 |
| 547 | 126 | 1 | 2 | 0.2 | 1.1 | 18.0 | 36 | 6.3 | 17.0 | 2 | 1 |
| 547 | 210 | 1 | 2 | 0.2 | 1.3 | 24.1 | 40 | 5.5 | 19.3 | 2 | 1 |
| 547 | 177 | 1 | 2 | 0.2 | 6.0 | 78.4 | 132 | 7.6 | 14.0 | 6 | 1 |
| 547 | 133 | 1 | 2 | 0.2 | 0.4 | 10.8 | 20 | 3.7 | 28.7 | 1 | 1 |
| 547 | 103 | 1 | 2 | 0.2 | 2.8 | 26.1 | 44 | 10.6 | 10.1 | 3 | 1 |
| 547 | 159 | 1 | 2 | 0.2 | 2.6 | 24.1 | 40 | 10.9 | 9.8 | 3 | 1 |
| 547 | 183 | 1 | 2 | 0.2 | 0.8 | 14.5 | 24 | 5.3 | 20.1 | 1 | 1 |
| 547 | 20 | 1 | 4 | 0.2 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 547 | 88 | 1 | 2 | 0.2 | 1.7 | 21.3 | 36 | 7.9 | 13.5 | 2 | 1 |
| 547 | 87 | 1 | 3 | 0.2 | 0.2 | 4.0 | 8 | 4.9 | 21.9 | 1 | 1 |
| 547 | 170 | 1 | 2 | 0.2 | 2.0 | 24.5 | 44 | 8.2 | 13.1 | 2 | 1 |
| 547 | 209 | 1 | 2 | 0.2 | 3.4 | 53.5 | 92 | 6.3 | 16.9 | 4 | 1 |
| 547 | 34 | 1 | 2 | 0.2 | 4.4 | 48.1 | 88 | 9.1 | 11.8 | 5 | 1 |
| 547 | 100 | 1 | 2 | 0.2 | 1.4 | 15.7 | 28 | 8.7 | 12.3 | 2 | 1 |
| 547 | 99 | 1 | 2 | 0.2 | 2.5 | 35.3 | 64 | 7.1 | 15.1 | 3 | 1 |
| 547 | 89 | 1 | 3 | 0.2 | 0.6 | 7.7 | 12 | 8.0 | 13.3 | 1 | 1 |
| 547 | 136 | 1 | 2 | 0.2 | 1.9 | 21.3 | 36 | 9.0 | 11.8 | 2 | 1 |
| 547 | 25 | 1 | 4 | 0.2 | 5.5 | 57.7 | 112 | 9.5 | 11.3 | 6 | 1 |
| 547 | 151 | 1 | 2 | 0.2 | 0.4 | 10.5 | 16 | 3.5 | 30.8 | 1 | 1 |
| 547 | 94 | 1 | 2 | 0.2 | 1.7 | 23.7 | 44 | 7.0 | 15.3 | 2 | 1 |
| 547 | 18 | 1 | 2 | 0.2 | 0.4 | 15.3 | 24 | 2.3 | 45.8 | 1 | 1 |
| 547 | 128 | 1 | 2 | 0.2 | 1.9 | 8.0 | 16 | 23.2 | 4.6 | 2 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m ²) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|---------------|-------------------|--------------|--------------|------------------------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| 547 | 86 | 1 | 2 | 0.2 | 2.2 | 24.1 | 40 | 8.9 | 12.0 | 3 | 1 |
| 547 | 181 | 1 | 2 | 0.2 | 5.3 | 64.6 | 116 | 8.2 | 13.0 | 5 | 1 |
| 547 | 214 | 1 | 2 | 0.2 | 5.8 | 58.8 | 96 | 9.8 | 10.9 | 6 | 1 |
| 547 | 107 | 1 | 2 | 0.2 | 4.3 | 38.1 | 68 | 11.3 | 9.4 | 5 | 1 |
| 547 | 26 | 1 | 4 | 0.2 | 4.7 | 47.7 | 92 | 9.8 | 10.9 | 5 | 1 |
| 547 | 118 | 1 | 2 | 0.2 | 1.3 | 26.6 | 40 | 4.8 | 22.1 | 2 | 1 |
| 547 | 35 | 1 | 2 | 0.2 | 14.3 | 91.5 | 168 | 15.6 | 6.8 | 14 | 2 |
| 547 | 155 | 1 | 2 | 0.1 | 0.4 | 7.7 | 12 | 5.0 | 21.2 | 1 | 1 |
| 547 | 145 | 1 | 3 | 0.1 | 5.9 | 49.1 | 80 | 11.9 | 9.0 | 6 | 1 |
| 547 | 114 | 1 | 2 | 0.1 | 2.4 | 27.0 | 44 | 8.9 | 12.0 | 3 | 1 |
| 547 | 201 | 1 | 2 | 0.1 | 0.9 | 20.1 | 32 | 4.5 | 23.9 | 1 | 1 |
| 547 | 33 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 547 | 198 | 1 | 2 | 0.1 | 2.2 | 32.8 | 64 | 6.6 | 16.2 | 3 | 1 |
| 547 | 176 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 547 | 199 | 1 | 2 | 0.1 | 0.2 | 4.0 | 8 | 4.1 | 26.2 | 1 | 1 |
| 547 | 68 | 1 | 4 | 0.1 | 1.4 | 8.8 | 16 | 15.6 | 6.9 | 2 | 1 |
| 547 | 11 | 1 | 4 | 0.1 | 0.0 | 4.8 | 8 | 0.7 | 147.1 | 1 | 1 |
| 547 | 152 | 1 | 2 | 0.1 | 0.7 | 8.8 | 16 | 7.4 | 14.4 | 1 | 1 |
| 547 | 211 | 1 | 2 | 0.1 | 1.4 | 23.0 | 36 | 6.0 | 17.8 | 2 | 1 |
| 547 | 122 | 1 | 2 | 0.1 | 4.4 | 27.7 | 52 | 15.9 | 6.7 | 5 | 1 |
| 547 | 162 | 1 | 3 | 0.1 | 0.7 | 10.8 | 20 | 6.8 | 15.8 | 1 | 1 |
| 547 | 42 | 1 | 4 | 0.1 | 0.2 | 4.8 | 8 | 3.8 | 27.8 | 1 | 1 |
| 547 | 37 | 1 | 2 | 0.1 | 0.4 | 8.8 | 16 | 4.2 | 25.3 | 1 | 1 |
| 547 | 104 | 1 | 3 | 0.1 | 1.2 | 10.0 | 20 | 12.0 | 8.9 | 2 | 1 |
| 547 | 149 | 1 | 2 | 0.1 | 0.3 | 5.7 | 8 | 4.9 | 21.6 | 1 | 1 |
| 547 | 50 | 1 | 4 | 0.1 | 0.0 | 4.8 | 8 | 0.1 | 1480.4 | 1 | 1 |
| 547 | 184 | 1 | 3 | 0.1 | 0.3 | 9.7 | 16 | 3.3 | 32.2 | 1 | 1 |
| 547 | 10 | 1 | 4 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 616 | 13 | 2 | 0 | 0.5 | 1.8 | 61.9 | 104 | 2.9 | 56.6 | 2 | 1 |
| 616 | 6 | 1 | 2 | 0.2 | 5.8 | 62.4 | 100 | 9.2 | 11.5 | 6 | 1 |
| 616 | 16 | 1 | 2 | 0.1 | 0.1 | 4.8 | 8 | 1.6 | 66.9 | 1 | 1 |
| 632 | 3 | 2 | 0 | 0.4 | 1.8 | 35.8 | 60 | 5.1 | 32.1 | 2 | 1 |
| 632 | 15 | 1 | 2 | 0.2 | 7.8 | 40.0 | 80 | 19.5 | 5.5 | 8 | 1 |
| 632 | 14 | 1 | 2 | 0.2 | 8.6 | 45.8 | 80 | 18.8 | 5.7 | 9 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

Tabla 7.2. Características de las cárcavas que componen la red obtenida a partir del MDT de 2 m de paso de malla.

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m ²) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|---------------|-------------------|--------------|--------------|------------------------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| 1 | 120 | 3 | 0 | 4.1 | 2.6 | 33.3 | 60 | 7.7 | 21.3 | 2 | 1 |
| 1 | 115 | 2 | 3 | 2.1 | 30.6 | 172.4 | 320 | 17.7 | 9.2 | 19 | 2 |
| 1 | 124 | 2 | 3 | 1.4 | 6.1 | 53.5 | 92 | 11.5 | 14.3 | 4 | 1 |
| 1 | 140 | 1 | 2 | 0.7 | 38.4 | 181.5 | 320 | 21.1 | 5.1 | 36 | 4 |
| 1 | 111 | 1 | 2 | 0.4 | 14.0 | 59.8 | 108 | 23.3 | 4.6 | 14 | 2 |
| 1 | 112 | 1 | 2 | 0.3 | 6.5 | 31.3 | 56 | 20.7 | 5.2 | 7 | 1 |
| 1 | 119 | 1 | 2 | 0.3 | 12.5 | 51.0 | 92 | 24.4 | 4.4 | 12 | 2 |
| 1 | 146 | 1 | 3 | 0.2 | 18.1 | 135.1 | 204 | 13.4 | 8.0 | 17 | 2 |
| 1 | 117 | 1 | 2 | 0.2 | 0.5 | 8.0 | 16 | 6.8 | 15.7 | 1 | 1 |
| 1 | 116 | 1 | 2 | 0.2 | 1.2 | 13.7 | 24 | 8.9 | 12.0 | 2 | 1 |
| 1 | 134 | 1 | 2 | 0.2 | 10.3 | 55.0 | 100 | 18.7 | 5.7 | 10 | 2 |
| 1 | 113 | 1 | 3 | 0.2 | 3.4 | 31.3 | 56 | 11.0 | 9.7 | 4 | 1 |
| 1 | 131 | 1 | 2 | 0.1 | 4.7 | 33.9 | 48 | 13.8 | 7.7 | 5 | 1 |
| 70 | 148 | 2 | 0 | 0.4 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 32.7 | 1 | 1 |
| 70 | 157 | 1 | 2 | 0.3 | 11.7 | 119.3 | 212 | 9.8 | 10.9 | 11 | 2 |
| 70 | 150 | 1 | 2 | 0.2 | 7.5 | 63.0 | 116 | 11.9 | 9.0 | 8 | 1 |
| 110 | 337 | 5 | 0 | 69.9 | 23.6 | 737.2 | 1216 | 3.2 | 51.0 | 15 | 2 |
| 110 | 297 | 4 | 5 | 17.0 | 8.5 | 195.1 | 324 | 4.4 | 37.4 | 6 | 1 |
| 110 | 411 | 4 | 5 | 14.8 | 20.9 | 283.7 | 468 | 7.4 | 22.2 | 13 | 2 |
| 110 | 352 | 4 | 5 | 7.0 | 4.7 | 98.3 | 180 | 4.8 | 33.9 | 3 | 1 |
| 110 | 417 | 3 | 4 | 6.7 | 16.8 | 147.3 | 268 | 11.4 | 14.3 | 11 | 2 |
| 110 | 254 | 3 | 4 | 6.0 | 10.5 | 178.0 | 288 | 5.9 | 27.6 | 7 | 1 |
| 110 | 252 | 3 | 5 | 4.0 | 35.3 | 427.8 | 660 | 8.3 | 19.8 | 22 | 3 |
| 110 | 274 | 3 | 4 | 3.2 | 19.7 | 204.9 | 360 | 9.6 | 17.0 | 13 | 2 |
| 110 | 355 | 3 | 4 | 3.1 | 1.3 | 39.3 | 72 | 3.3 | 49.1 | 1 | 1 |
| 110 | 454 | 3 | 4 | 3.0 | 10.7 | 93.9 | 168 | 11.4 | 14.3 | 7 | 1 |
| 110 | 304 | 3 | 5 | 2.1 | 3.9 | 52.6 | 92 | 7.4 | 22.2 | 3 | 1 |
| 110 | 356 | 3 | 5 | 1.8 | 2.6 | 24.6 | 36 | 10.5 | 15.6 | 2 | 1 |
| 110 | 357 | 3 | 5 | 1.8 | 1.7 | 29.8 | 48 | 5.7 | 28.7 | 2 | 1 |
| 110 | 342 | 3 | 5 | 1.5 | 5.3 | 107.1 | 196 | 4.9 | 33.1 | 4 | 1 |
| 110 | 339 | 3 | 4 | 1.5 | 0.5 | 14.5 | 24 | 3.4 | 47.6 | 1 | 1 |
| 110 | 376 | 3 | 4 | 1.1 | 4.9 | 95.5 | 148 | 5.2 | 31.7 | 4 | 1 |
| 110 | 216 | 2 | 5 | 5.9 | 56.0 | 603.6 | 1020 | 9.3 | 17.6 | 35 | 4 |
| 110 | 467 | 2 | 3 | 5.2 | 22.3 | 445.4 | 808 | 5.0 | 32.7 | 14 | 2 |
| 110 | 394 | 2 | 4 | 3.7 | 37.2 | 292.5 | 512 | 12.7 | 12.8 | 23 | 3 |
| 110 | 440 | 2 | 5 | 2.0 | 28.6 | 370.8 | 672 | 7.7 | 21.2 | 18 | 2 |
| 110 | 308 | 2 | 4 | 1.8 | 0.8 | 9.7 | 16 | 8.1 | 20.2 | 1 | 1 |
| 110 | 238 | 2 | 3 | 1.4 | 18.9 | 135.7 | 240 | 13.9 | 11.7 | 12 | 2 |
| 110 | 237 | 2 | 3 | 1.2 | 3.7 | 35.0 | 60 | 10.5 | 15.6 | 3 | 1 |
| 110 | 368 | 2 | 3 | 1.2 | 3.9 | 81.7 | 132 | 4.7 | 34.7 | 3 | 1 |
| 110 | 441 | 2 | 4 | 1.1 | 26.5 | 235.8 | 412 | 11.3 | 14.5 | 17 | 2 |
| 110 | 381 | 2 | 3 | 1.1 | 6.0 | 96.6 | 160 | 6.2 | 26.5 | 4 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m2) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|---------------|-------------------|--------------|--------------|-----------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| 110 | 354 | 2 | 3 | 1.0 | 4.1 | 70.1 | 112 | 5.9 | 27.7 | 3 | 1 |
| 110 | 429 | 2 | 3 | 1.0 | 2.0 | 16.8 | 32 | 12.0 | 13.6 | 2 | 1 |
| 110 | 292 | 2 | 3 | 1.0 | 8.4 | 133.3 | 240 | 6.3 | 25.9 | 6 | 1 |
| 110 | 250 | 2 | 3 | 1.0 | 6.3 | 59.8 | 108 | 10.6 | 15.5 | 4 | 1 |
| 110 | 403 | 2 | 3 | 0.9 | 14.9 | 174.9 | 272 | 8.5 | 19.2 | 10 | 2 |
| 110 | 350 | 2 | 3 | 0.9 | 0.9 | 18.8 | 36 | 4.9 | 33.7 | 1 | 1 |
| 110 | 281 | 2 | 3 | 0.9 | 9.9 | 73.8 | 136 | 13.3 | 12.2 | 7 | 1 |
| 110 | 363 | 2 | 3 | 0.8 | 3.4 | 71.5 | 128 | 4.7 | 34.7 | 3 | 1 |
| 110 | 298 | 2 | 3 | 0.7 | 1.5 | 27.3 | 48 | 5.6 | 29.0 | 1 | 1 |
| 110 | 457 | 2 | 3 | 0.7 | 2.1 | 17.7 | 32 | 11.8 | 13.9 | 2 | 1 |
| 110 | 364 | 2 | 3 | 0.7 | 2.0 | 28.5 | 52 | 7.1 | 23.0 | 2 | 1 |
| 110 | 385 | 2 | 3 | 0.7 | 7.8 | 110.8 | 200 | 7.0 | 23.3 | 5 | 1 |
| 110 | 386 | 2 | 3 | 0.7 | 7.1 | 94.6 | 176 | 7.5 | 21.7 | 5 | 1 |
| 110 | 351 | 2 | 5 | 0.7 | 4.3 | 67.8 | 124 | 6.3 | 26.1 | 3 | 1 |
| 110 | 360 | 2 | 3 | 0.6 | 2.1 | 55.0 | 100 | 3.9 | 42.3 | 2 | 1 |
| 110 | 379 | 2 | 3 | 0.6 | 1.3 | 17.7 | 32 | 7.4 | 22.0 | 1 | 1 |
| 110 | 319 | 2 | 4 | 0.6 | 4.5 | 47.3 | 88 | 9.6 | 17.1 | 3 | 1 |
| 110 | 358 | 2 | 4 | 0.5 | 2.9 | 31.5 | 48 | 9.1 | 18.1 | 2 | 1 |
| 110 | 313 | 2 | 4 | 0.5 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 46.2 | 1 | 1 |
| 110 | 418 | 2 | 3 | 0.5 | 1.5 | 20.5 | 36 | 7.4 | 21.9 | 1 | 1 |
| 110 | 372 | 2 | 4 | 0.5 | 3.9 | 69.7 | 108 | 5.7 | 28.9 | 3 | 1 |
| 110 | 271 | 2 | 3 | 0.5 | 9.7 | 64.6 | 116 | 15.1 | 10.8 | 6 | 1 |
| 110 | 378 | 2 | 5 | 0.5 | 8.2 | 120.9 | 192 | 6.8 | 24.1 | 6 | 1 |
| 110 | 456 | 2 | 3 | 0.5 | 0.8 | 8.0 | 16 | 10.2 | 16.0 | 1 | 1 |
| 110 | 249 | 2 | 3 | 0.5 | 0.7 | 10.5 | 16 | 7.0 | 23.3 | 1 | 1 |
| 110 | 306 | 2 | 5 | 0.4 | 11.8 | 158.3 | 252 | 7.4 | 22.0 | 8 | 1 |
| 110 | 338 | 2 | 3 | 0.4 | 0.6 | 8.8 | 16 | 7.2 | 22.6 | 1 | 1 |
| 110 | 251 | 2 | 3 | 0.4 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 46.2 | 1 | 1 |
| 110 | 322 | 2 | 4 | 0.4 | 5.5 | 67.5 | 120 | 8.1 | 20.1 | 4 | 1 |
| 110 | 391 | 2 | 3 | 0.3 | 4.5 | 48.8 | 76 | 9.1 | 17.9 | 3 | 1 |
| 110 | 325 | 2 | 4 | 0.3 | 2.4 | 23.7 | 44 | 10.0 | 16.4 | 2 | 1 |
| 110 | 300 | 2 | 4 | 0.3 | 10.1 | 90.1 | 172 | 11.2 | 14.7 | 7 | 1 |
| 110 | 361 | 1 | 2 | 1.4 | 38.4 | 381.9 | 724 | 10.1 | 10.6 | 37 | 4 |
| 110 | 469 | 1 | 2 | 0.8 | 6.0 | 101.0 | 192 | 5.9 | 18.0 | 6 | 1 |
| 110 | 370 | 1 | 2 | 0.8 | 14.8 | 80.1 | 132 | 18.5 | 5.8 | 14 | 2 |
| 110 | 224 | 1 | 2 | 0.8 | 13.6 | 131.3 | 208 | 10.4 | 10.3 | 13 | 2 |
| 110 | 460 | 1 | 2 | 0.8 | 13.5 | 115.9 | 212 | 11.6 | 9.2 | 13 | 2 |
| 110 | 434 | 1 | 2 | 0.6 | 24.0 | 185.8 | 312 | 12.9 | 8.3 | 23 | 3 |
| 110 | 399 | 1 | 5 | 0.6 | 14.9 | 162.1 | 296 | 9.2 | 11.6 | 14 | 2 |
| 110 | 444 | 1 | 5 | 0.6 | 33.8 | 307.8 | 556 | 11.0 | 9.7 | 32 | 4 |
| 110 | 371 | 1 | 2 | 0.6 | 5.9 | 106.7 | 172 | 5.6 | 19.2 | 6 | 1 |
| 110 | 416 | 1 | 5 | 0.5 | 23.1 | 230.9 | 432 | 10.0 | 10.7 | 22 | 3 |
| 110 | 433 | 1 | 3 | 0.5 | 13.7 | 100.9 | 172 | 13.5 | 7.9 | 13 | 2 |
| 110 | 455 | 1 | 2 | 0.5 | 9.3 | 42.3 | 68 | 22.1 | 4.8 | 9 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m2) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|---------------|-------------------|--------------|--------------|-----------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| 110 | 397 | 1 | 2 | 0.5 | 8.4 | 91.9 | 164 | 9.2 | 11.6 | 8 | 1 |
| 110 | 439 | 1 | 4 | 0.4 | 27.1 | 247.1 | 428 | 11.0 | 9.7 | 26 | 3 |
| 110 | 462 | 1 | 2 | 0.4 | 8.7 | 77.7 | 124 | 11.2 | 9.5 | 9 | 1 |
| 110 | 276 | 1 | 2 | 0.4 | 1.6 | 26.5 | 48 | 5.9 | 18.2 | 2 | 1 |
| 110 | 400 | 1 | 5 | 0.4 | 14.4 | 142.4 | 260 | 10.1 | 10.6 | 14 | 2 |
| 110 | 375 | 1 | 5 | 0.4 | 9.3 | 153.3 | 280 | 6.1 | 17.6 | 9 | 1 |
| 110 | 438 | 1 | 2 | 0.4 | 20.2 | 186.9 | 344 | 10.8 | 9.9 | 19 | 2 |
| 110 | 275 | 1 | 2 | 0.4 | 9.0 | 129.0 | 200 | 6.9 | 15.4 | 9 | 1 |
| 110 | 401 | 1 | 2 | 0.4 | 11.5 | 141.6 | 260 | 8.1 | 13.1 | 11 | 2 |
| 110 | 310 | 1 | 4 | 0.4 | 9.2 | 77.0 | 144 | 12.0 | 8.9 | 9 | 1 |
| 110 | 315 | 1 | 2 | 0.4 | 22.4 | 158.8 | 296 | 14.1 | 7.6 | 21 | 3 |
| 110 | 426 | 1 | 2 | 0.3 | 9.2 | 47.5 | 80 | 19.3 | 5.5 | 9 | 1 |
| 110 | 388 | 1 | 2 | 0.3 | 5.1 | 95.1 | 172 | 5.4 | 19.8 | 5 | 1 |
| 110 | 428 | 1 | 2 | 0.3 | 18.6 | 132.2 | 228 | 14.1 | 7.6 | 18 | 2 |
| 110 | 231 | 1 | 3 | 0.3 | 6.9 | 65.1 | 112 | 10.6 | 10.1 | 7 | 1 |
| 110 | 377 | 1 | 2 | 0.3 | 1.9 | 41.3 | 76 | 4.5 | 23.7 | 2 | 1 |
| 110 | 290 | 1 | 2 | 0.3 | 8.6 | 129.7 | 228 | 6.7 | 16.0 | 9 | 1 |
| 110 | 296 | 1 | 3 | 0.3 | 2.7 | 21.7 | 40 | 12.3 | 8.7 | 3 | 1 |
| 110 | 279 | 1 | 2 | 0.3 | 9.4 | 137.2 | 228 | 6.9 | 15.5 | 9 | 1 |
| 110 | 309 | 1 | 2 | 0.3 | 7.1 | 69.3 | 132 | 10.2 | 10.5 | 7 | 1 |
| 110 | 463 | 1 | 2 | 0.3 | 9.3 | 108.8 | 196 | 8.5 | 12.5 | 9 | 1 |
| 110 | 267 | 1 | 5 | 0.3 | 15.7 | 213.6 | 336 | 7.3 | 14.5 | 15 | 2 |
| 110 | 382 | 1 | 2 | 0.3 | 6.4 | 72.6 | 112 | 8.8 | 12.1 | 6 | 1 |
| 110 | 291 | 1 | 3 | 0.3 | 16.4 | 123.7 | 216 | 13.3 | 8.0 | 16 | 2 |
| 110 | 264 | 1 | 3 | 0.3 | 2.6 | 18.5 | 32 | 14.2 | 7.5 | 3 | 1 |
| 110 | 329 | 1 | 2 | 0.3 | 25.4 | 161.6 | 300 | 15.7 | 6.8 | 24 | 3 |
| 110 | 282 | 1 | 5 | 0.3 | 12.2 | 148.2 | 240 | 8.2 | 13.0 | 12 | 2 |
| 110 | 268 | 1 | 3 | 0.3 | 14.1 | 201.4 | 320 | 7.0 | 15.2 | 14 | 2 |
| 110 | 225 | 1 | 2 | 0.3 | 2.7 | 18.1 | 28 | 14.6 | 7.3 | 3 | 1 |
| 110 | 442 | 1 | 2 | 0.3 | 21.2 | 138.9 | 248 | 15.3 | 7.0 | 20 | 3 |
| 110 | 247 | 1 | 2 | 0.3 | 6.7 | 58.1 | 108 | 11.6 | 9.2 | 7 | 1 |
| 110 | 413 | 1 | 2 | 0.3 | 11.2 | 140.3 | 264 | 8.0 | 13.4 | 11 | 2 |
| 110 | 221 | 1 | 2 | 0.3 | 0.8 | 7.7 | 12 | 10.0 | 10.7 | 1 | 1 |
| 110 | 241 | 1 | 2 | 0.3 | 1.3 | 19.8 | 28 | 6.6 | 16.2 | 2 | 1 |
| 110 | 412 | 1 | 2 | 0.3 | 14.6 | 165.7 | 280 | 8.8 | 12.2 | 14 | 2 |
| 110 | 311 | 1 | 5 | 0.3 | 5.3 | 63.7 | 96 | 8.2 | 13.0 | 5 | 1 |
| 110 | 446 | 1 | 2 | 0.3 | 22.5 | 145.3 | 264 | 15.5 | 6.9 | 22 | 3 |
| 110 | 289 | 1 | 5 | 0.3 | 6.8 | 51.9 | 84 | 13.0 | 8.2 | 7 | 1 |
| 110 | 359 | 1 | 2 | 0.3 | 2.6 | 38.3 | 60 | 6.7 | 15.9 | 3 | 1 |
| 110 | 427 | 1 | 2 | 0.3 | 18.2 | 107.6 | 192 | 16.9 | 6.3 | 18 | 2 |
| 110 | 233 | 1 | 2 | 0.3 | 3.3 | 33.0 | 56 | 10.1 | 10.6 | 4 | 1 |
| 110 | 284 | 1 | 2 | 0.3 | 5.0 | 62.8 | 104 | 8.0 | 13.3 | 5 | 1 |
| 110 | 396 | 1 | 3 | 0.3 | 12.6 | 132.8 | 244 | 9.5 | 11.2 | 12 | 2 |
| 110 | 407 | 1 | 2 | 0.3 | 10.1 | 96.6 | 180 | 10.5 | 10.2 | 10 | 2 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m2) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|--------------|------------------|------------------|----------------|--------------|
| 110 | 344 | 1 | 5 | 0.2 | 2.4 | 15.3 | 24 | 15.8 | 6.7 | 3 | 1 |
| 110 | 406 | 1 | 2 | 0.2 | 3.2 | 37.0 | 64 | 8.8 | 12.2 | 4 | 1 |
| 110 | 410 | 1 | 2 | 0.2 | 8.0 | 61.0 | 112 | 13.1 | 8.1 | 8 | 1 |
| 110 | 312 | 1 | 5 | 0.2 | 10.9 | 144.0 | 220 | 7.5 | 14.1 | 11 | 2 |
| 110 | 227 | 1 | 2 | 0.2 | 3.4 | 24.8 | 48 | 13.6 | 7.9 | 4 | 1 |
| 110 | 317 | 1 | 4 | 0.2 | 3.1 | 28.1 | 48 | 11.0 | 9.7 | 3 | 1 |
| 110 | 369 | 1 | 2 | 0.2 | 4.5 | 72.6 | 112 | 6.2 | 17.3 | 5 | 1 |
| 110 | 236 | 1 | 2 | 0.2 | 10.8 | 146.5 | 240 | 7.4 | 14.4 | 11 | 2 |
| 110 | 294 | 1 | 4 | 0.2 | 3.2 | 35.5 | 56 | 9.0 | 11.8 | 3 | 1 |
| 110 | 422 | 1 | 2 | 0.2 | 16.8 | 105.5 | 196 | 15.9 | 6.7 | 16 | 2 |
| 110 | 366 | 1 | 5 | 0.2 | 6.5 | 91.8 | 172 | 7.1 | 15.1 | 7 | 1 |
| 110 | 404 | 1 | 2 | 0.2 | 4.5 | 37.3 | 68 | 12.0 | 8.9 | 5 | 1 |
| 110 | 321 | 1 | 5 | 0.2 | 5.3 | 49.5 | 84 | 10.7 | 10.0 | 5 | 1 |
| 110 | 408 | 1 | 2 | 0.2 | 10.8 | 110.1 | 192 | 9.8 | 10.9 | 11 | 2 |
| 110 | 230 | 1 | 2 | 0.2 | 5.2 | 37.0 | 64 | 14.1 | 7.6 | 5 | 1 |
| 110 | 393 | 1 | 2 | 0.2 | 6.7 | 105.1 | 192 | 6.4 | 16.8 | 7 | 1 |
| 110 | 345 | 1 | 2 | 0.2 | 7.6 | 108.3 | 200 | 7.1 | 15.1 | 8 | 1 |
| 110 | 336 | 1 | 5 | 0.2 | 3.2 | 38.1 | 68 | 8.4 | 12.7 | 4 | 1 |
| 110 | 261 | 1 | 3 | 0.2 | 1.9 | 13.7 | 24 | 14.1 | 7.6 | 2 | 1 |
| 110 | 213 | 1 | 2 | 0.2 | 1.1 | 14.5 | 24 | 7.5 | 14.2 | 2 | 1 |
| 110 | 421 | 1 | 2 | 0.2 | 19.0 | 164.3 | 312 | 11.6 | 9.2 | 18 | 2 |
| 110 | 420 | 1 | 2 | 0.2 | 15.3 | 112.1 | 216 | 13.7 | 7.8 | 15 | 2 |
| 110 | 380 | 1 | 2 | 0.2 | 5.6 | 91.6 | 160 | 6.2 | 17.3 | 6 | 1 |
| 110 | 367 | 1 | 2 | 0.2 | 2.7 | 50.1 | 92 | 5.3 | 20.2 | 3 | 1 |
| 110 | 373 | 1 | 2 | 0.2 | 3.4 | 66.1 | 104 | 5.2 | 20.7 | 4 | 1 |
| 110 | 285 | 1 | 2 | 0.2 | 6.7 | 81.6 | 140 | 8.2 | 13.0 | 7 | 1 |
| 110 | 374 | 1 | 2 | 0.2 | 0.0 | 16.8 | 32 | 0.2 | 695.3 | 1 | 1 |
| 110 | 341 | 1 | 5 | 0.2 | 3.8 | 44.3 | 72 | 8.6 | 12.5 | 4 | 1 |
| 110 | 383 | 1 | 2 | 0.2 | 3.2 | 35.3 | 64 | 9.1 | 11.7 | 4 | 1 |
| 110 | 340 | 1 | 4 | 0.2 | 7.0 | 95.1 | 172 | 7.3 | 14.5 | 7 | 1 |
| 110 | 459 | 1 | 2 | 0.2 | 2.7 | 24.0 | 48 | 11.2 | 9.6 | 3 | 1 |
| 110 | 423 | 1 | 2 | 0.2 | 13.7 | 85.1 | 152 | 16.1 | 6.6 | 13 | 2 |
| 110 | 302 | 1 | 2 | 0.2 | 3.6 | 53.3 | 100 | 6.7 | 15.9 | 4 | 1 |
| 110 | 287 | 1 | 2 | 0.2 | 4.8 | 41.1 | 64 | 11.7 | 9.1 | 5 | 1 |
| 110 | 347 | 1 | 2 | 0.2 | 5.5 | 90.3 | 164 | 6.1 | 17.4 | 6 | 1 |
| 110 | 257 | 1 | 2 | 0.2 | 7.2 | 45.3 | 84 | 15.8 | 6.8 | 7 | 1 |
| 110 | 430 | 1 | 2 | 0.2 | 10.3 | 65.9 | 112 | 15.7 | 6.8 | 10 | 2 |
| 110 | 435 | 1 | 3 | 0.2 | 9.6 | 66.9 | 104 | 14.4 | 7.4 | 10 | 2 |
| 110 | 425 | 1 | 2 | 0.2 | 8.6 | 55.8 | 100 | 15.4 | 6.9 | 9 | 1 |
| 110 | 384 | 1 | 2 | 0.2 | 5.6 | 66.6 | 120 | 8.5 | 12.6 | 6 | 1 |
| 110 | 398 | 1 | 2 | 0.2 | 6.4 | 72.3 | 128 | 8.9 | 12.0 | 7 | 1 |
| 110 | 437 | 1 | 2 | 0.2 | 12.8 | 69.9 | 120 | 18.4 | 5.8 | 13 | 2 |
| 110 | 436 | 1 | 2 | 0.2 | 11.1 | 48.0 | 96 | 23.2 | 4.6 | 11 | 2 |
| 110 | 419 | 1 | 2 | 0.2 | 13.3 | 87.3 | 168 | 15.3 | 7.0 | 13 | 2 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m2) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|---------------|-------------------|--------------|--------------|-----------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| 110 | 269 | 1 | 2 | 0.2 | 2.8 | 33.3 | 60 | 8.3 | 12.9 | 3 | 1 |
| 110 | 229 | 1 | 2 | 0.2 | 10.6 | 71.7 | 112 | 14.7 | 7.2 | 10 | 2 |
| 110 | 265 | 1 | 3 | 0.2 | 0.4 | 7.7 | 12 | 5.6 | 19.0 | 1 | 1 |
| 110 | 445 | 1 | 3 | 0.2 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 110 | 395 | 1 | 2 | 0.2 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 110 | 212 | 1 | 2 | 0.2 | 1.1 | 14.1 | 20 | 7.8 | 13.7 | 2 | 1 |
| 110 | 273 | 1 | 3 | 0.2 | 1.2 | 17.3 | 28 | 7.0 | 15.2 | 2 | 1 |
| 110 | 465 | 1 | 2 | 0.2 | 9.7 | 60.5 | 116 | 16.0 | 6.7 | 10 | 2 |
| 110 | 277 | 1 | 2 | 0.2 | 4.8 | 49.3 | 92 | 9.7 | 11.0 | 5 | 1 |
| 110 | 390 | 1 | 2 | 0.2 | 2.2 | 25.3 | 44 | 8.8 | 12.1 | 3 | 1 |
| 110 | 327 | 1 | 2 | 0.2 | 8.8 | 68.1 | 128 | 12.9 | 8.3 | 9 | 1 |
| 110 | 242 | 1 | 2 | 0.2 | 4.1 | 29.5 | 44 | 13.8 | 7.8 | 4 | 1 |
| 110 | 333 | 1 | 2 | 0.2 | 3.8 | 51.0 | 92 | 7.5 | 14.3 | 4 | 1 |
| 110 | 432 | 1 | 2 | 0.2 | 0.6 | 8.0 | 16 | 7.8 | 13.7 | 1 | 1 |
| 110 | 405 | 1 | 2 | 0.2 | 11.5 | 69.6 | 116 | 16.5 | 6.5 | 11 | 2 |
| 110 | 362 | 1 | 2 | 0.2 | 2.6 | 39.9 | 60 | 6.4 | 16.7 | 3 | 1 |
| 110 | 452 | 1 | 2 | 0.2 | 1.1 | 10.5 | 16 | 10.7 | 9.9 | 2 | 1 |
| 110 | 461 | 1 | 2 | 0.2 | 6.2 | 54.5 | 104 | 11.5 | 9.3 | 6 | 1 |
| 110 | 415 | 1 | 3 | 0.2 | 3.9 | 23.3 | 40 | 16.6 | 6.4 | 4 | 1 |
| 110 | 218 | 1 | 2 | 0.2 | 1.0 | 11.3 | 16 | 8.6 | 12.4 | 1 | 1 |
| 110 | 316 | 1 | 5 | 0.2 | 3.4 | 32.3 | 48 | 10.5 | 10.2 | 4 | 1 |
| 110 | 278 | 1 | 3 | 0.2 | 2.8 | 20.1 | 32 | 13.7 | 7.8 | 3 | 1 |
| 110 | 314 | 1 | 2 | 0.2 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 110 | 256 | 1 | 2 | 0.2 | 2.2 | 23.8 | 36 | 9.2 | 11.6 | 3 | 1 |
| 110 | 259 | 1 | 3 | 0.2 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 110 | 303 | 1 | 2 | 0.2 | 9.1 | 56.8 | 112 | 16.0 | 6.7 | 9 | 1 |
| 110 | 266 | 1 | 2 | 0.2 | 0.0 | 12.8 | 24 | 0.1 | 786.6 | 1 | 1 |
| 110 | 263 | 1 | 3 | 0.1 | 13.3 | 97.8 | 184 | 13.6 | 7.9 | 13 | 2 |
| 110 | 323 | 1 | 5 | 0.1 | 2.8 | 20.8 | 40 | 13.3 | 8.0 | 3 | 1 |
| 110 | 402 | 1 | 2 | 0.1 | 3.3 | 26.8 | 52 | 12.2 | 8.7 | 4 | 1 |
| 110 | 448 | 1 | 2 | 0.1 | 4.6 | 34.1 | 60 | 13.4 | 8.0 | 5 | 1 |
| 110 | 288 | 1 | 3 | 0.1 | 2.6 | 25.7 | 48 | 10.0 | 10.6 | 3 | 1 |
| 110 | 286 | 1 | 5 | 0.1 | 5.4 | 30.1 | 52 | 17.8 | 6.0 | 6 | 1 |
| 110 | 349 | 1 | 2 | 0.1 | 1.8 | 33.8 | 56 | 5.4 | 19.7 | 2 | 1 |
| 110 | 335 | 1 | 5 | 0.1 | 3.3 | 27.3 | 48 | 12.2 | 8.8 | 4 | 1 |
| 110 | 283 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 110 | 414 | 1 | 2 | 0.1 | 5.4 | 47.9 | 76 | 11.2 | 9.6 | 6 | 1 |
| 110 | 451 | 1 | 2 | 0.1 | 5.0 | 37.5 | 60 | 13.3 | 8.0 | 5 | 1 |
| 110 | 258 | 1 | 3 | 0.1 | 4.1 | 30.5 | 56 | 13.3 | 8.0 | 4 | 1 |
| 110 | 326 | 1 | 2 | 0.1 | 2.5 | 35.7 | 68 | 6.9 | 15.5 | 3 | 1 |
| 110 | 334 | 1 | 5 | 0.1 | 2.6 | 21.7 | 40 | 12.1 | 8.8 | 3 | 1 |
| 110 | 295 | 1 | 5 | 0.1 | 4.5 | 35.1 | 52 | 12.7 | 8.4 | 5 | 1 |
| 110 | 353 | 1 | 2 | 0.1 | 1.3 | 29.7 | 56 | 4.4 | 24.0 | 2 | 1 |
| 110 | 453 | 1 | 2 | 0.1 | 7.9 | 31.7 | 60 | 24.8 | 4.3 | 8 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m2) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|---------------|-------------------|--------------|--------------|-----------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| 110 | 450 | 1 | 2 | 0.1 | 4.3 | 20.5 | 36 | 21.1 | 5.1 | 5 | 1 |
| 110 | 243 | 1 | 2 | 0.1 | 0.8 | 6.0 | 12 | 12.9 | 8.3 | 1 | 1 |
| 110 | 443 | 1 | 3 | 0.1 | 4.5 | 32.3 | 48 | 14.0 | 7.6 | 5 | 1 |
| 110 | 464 | 1 | 2 | 0.1 | 1.3 | 12.8 | 24 | 10.0 | 10.6 | 2 | 1 |
| 110 | 346 | 1 | 5 | 0.1 | 0.9 | 4.0 | 8 | 21.9 | 4.9 | 1 | 1 |
| 110 | 447 | 1 | 2 | 0.1 | 9.1 | 36.5 | 68 | 25.1 | 4.3 | 9 | 1 |
| 110 | 245 | 1 | 2 | 0.1 | 0.7 | 8.5 | 12 | 7.9 | 13.6 | 1 | 1 |
| 110 | 409 | 1 | 4 | 0.1 | 1.5 | 6.0 | 12 | 24.2 | 4.4 | 2 | 1 |
| 110 | 246 | 1 | 2 | 0.1 | 0.2 | 4.8 | 8 | 5.1 | 21.0 | 1 | 1 |
| 110 | 293 | 1 | 3 | 0.1 | 0.3 | 4.8 | 8 | 6.8 | 15.6 | 1 | 1 |
| 110 | 318 | 1 | 2 | 0.1 | 0.9 | 10.8 | 20 | 8.0 | 13.3 | 1 | 1 |
| 110 | 468 | 1 | 2 | 0.1 | 4.2 | 26.5 | 48 | 15.9 | 6.7 | 4 | 1 |
| 110 | 320 | 1 | 2 | 0.1 | 1.5 | 17.7 | 32 | 8.5 | 12.6 | 2 | 1 |
| 110 | 280 | 1 | 3 | 0.1 | 0.8 | 8.8 | 16 | 9.3 | 11.5 | 1 | 1 |
| 110 | 348 | 1 | 2 | 0.1 | 0.4 | 10.8 | 20 | 3.7 | 29.2 | 1 | 1 |
| 110 | 234 | 1 | 2 | 0.1 | 2.9 | 24.6 | 36 | 12.0 | 8.9 | 3 | 1 |
| 110 | 387 | 1 | 4 | 0.1 | 0.7 | 6.0 | 12 | 11.0 | 9.7 | 1 | 1 |
| 110 | 449 | 1 | 2 | 0.1 | 4.3 | 17.7 | 32 | 24.2 | 4.4 | 5 | 1 |
| 110 | 262 | 1 | 3 | 0.1 | 4.2 | 24.0 | 48 | 17.3 | 6.2 | 4 | 1 |
| 110 | 324 | 1 | 2 | 0.1 | 0.7 | 10.8 | 20 | 6.4 | 16.7 | 1 | 1 |
| 110 | 332 | 1 | 5 | 0.1 | 1.7 | 10.0 | 20 | 17.4 | 6.1 | 2 | 1 |
| 110 | 365 | 1 | 4 | 0.1 | 0.6 | 8.0 | 16 | 6.9 | 15.4 | 1 | 1 |
| 110 | 235 | 1 | 2 | 0.1 | 0.2 | 5.7 | 8 | 2.6 | 41.1 | 1 | 1 |
| 110 | 239 | 1 | 2 | 0.1 | 0.1 | 4.0 | 8 | 2.7 | 40.3 | 1 | 1 |
| 110 | 331 | 1 | 5 | 0.1 | 2.7 | 21.0 | 32 | 12.7 | 8.4 | 3 | 1 |
| 110 | 301 | 1 | 2 | 0.1 | 2.4 | 18.0 | 36 | 13.1 | 8.1 | 3 | 1 |
| 110 | 424 | 1 | 2 | 0.1 | 2.0 | 12.5 | 20 | 15.7 | 6.8 | 2 | 1 |
| 110 | 431 | 1 | 2 | 0.1 | 2.4 | 10.5 | 16 | 23.1 | 4.6 | 3 | 1 |
| 110 | 328 | 1 | 4 | 0.1 | 1.3 | 10.0 | 20 | 12.7 | 8.4 | 2 | 1 |
| 110 | 458 | 1 | 2 | 0.1 | 0.9 | 6.8 | 12 | 13.7 | 7.8 | 1 | 1 |
| 110 | 272 | 1 | 2 | 0.1 | 0.1 | 4.0 | 8 | 3.4 | 31.6 | 1 | 1 |
| 110 | 389 | 1 | 2 | 0.1 | 0.8 | 8.0 | 16 | 10.4 | 10.3 | 1 | 1 |
| 110 | 270 | 1 | 3 | 0.1 | 1.7 | 9.7 | 16 | 17.8 | 6.0 | 2 | 1 |
| 110 | 343 | 1 | 5 | 0.1 | 1.7 | 6.0 | 12 | 28.3 | 3.8 | 2 | 1 |
| 110 | 330 | 1 | 5 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 110 | 307 | 1 | 4 | 0.1 | 0.7 | 6.0 | 12 | 11.3 | 9.4 | 1 | 1 |
| 110 | 299 | 1 | 4 | 0.1 | 1.1 | 7.7 | 12 | 14.3 | 7.5 | 2 | 1 |
| 110 | 305 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 110 | 217 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 110 | 466 | 1 | 2 | 0.1 | 0.6 | 4.8 | 8 | 11.9 | 9.0 | 1 | 1 |
| 110 | 392 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 116 | 188 | 3 | 0 | 5.1 | 3.4 | 47.3 | 88 | 7.1 | 22.9 | 3 | 1 |
| 116 | 166 | 2 | 3 | 4.3 | 38.9 | 319.1 | 552 | 12.2 | 13.4 | 24 | 3 |
| 116 | 191 | 2 | 3 | 0.4 | 1.9 | 20.1 | 32 | 9.6 | 17.0 | 2 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m2) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|--------------|------------------|------------------|----------------|--------------|
| 116 | 169 | 1 | 2 | 0.5 | 12.2 | 64.1 | 120 | 19.0 | 5.6 | 12 | 2 |
| 116 | 158 | 1 | 2 | 0.4 | 11.0 | 48.6 | 84 | 22.7 | 4.7 | 11 | 2 |
| 116 | 161 | 1 | 2 | 0.3 | 6.1 | 32.1 | 56 | 18.9 | 5.6 | 6 | 1 |
| 116 | 185 | 1 | 2 | 0.3 | 17.5 | 127.8 | 244 | 13.7 | 7.8 | 17 | 2 |
| 116 | 200 | 1 | 2 | 0.3 | 10.5 | 112.8 | 204 | 9.3 | 11.5 | 10 | 2 |
| 116 | 178 | 1 | 2 | 0.2 | 9.8 | 78.5 | 152 | 12.5 | 8.6 | 10 | 2 |
| 116 | 186 | 1 | 2 | 0.2 | 12.6 | 102.1 | 196 | 12.3 | 8.7 | 12 | 2 |
| 116 | 189 | 1 | 2 | 0.2 | 6.6 | 55.0 | 100 | 12.1 | 8.9 | 7 | 1 |
| 116 | 187 | 1 | 2 | 0.2 | 6.7 | 49.7 | 96 | 13.5 | 7.9 | 7 | 1 |
| 116 | 168 | 1 | 2 | 0.2 | 1.6 | 9.7 | 16 | 16.1 | 6.7 | 2 | 1 |
| 116 | 182 | 1 | 3 | 0.2 | 5.5 | 52.4 | 80 | 10.4 | 10.2 | 6 | 1 |
| 116 | 192 | 1 | 2 | 0.1 | 1.9 | 22.0 | 44 | 8.8 | 12.2 | 2 | 1 |
| 116 | 164 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 162 | 255 | 3 | 0 | 1.5 | 4.2 | 36.5 | 68 | 11.4 | 14.3 | 3 | 1 |
| 162 | 253 | 2 | 3 | 0.8 | 1.9 | 32.5 | 60 | 5.7 | 28.7 | 2 | 1 |
| 162 | 244 | 2 | 3 | 0.7 | 11.9 | 182.7 | 324 | 6.5 | 25.2 | 8 | 1 |
| 162 | 226 | 1 | 2 | 0.3 | 15.9 | 214.5 | 376 | 7.4 | 14.4 | 15 | 2 |
| 162 | 228 | 1 | 2 | 0.2 | 4.7 | 62.4 | 100 | 7.5 | 14.2 | 5 | 1 |
| 162 | 240 | 1 | 2 | 0.2 | 7.0 | 101.6 | 180 | 6.9 | 15.5 | 7 | 1 |
| 162 | 248 | 1 | 2 | 0.2 | 3.9 | 55.8 | 100 | 6.9 | 15.5 | 4 | 1 |
| 162 | 232 | 1 | 2 | 0.2 | 4.9 | 65.1 | 112 | 7.6 | 14.1 | 5 | 1 |
| 162 | 260 | 1 | 2 | 0.1 | 1.3 | 20.8 | 40 | 6.2 | 17.3 | 2 | 1 |
| 177 | 196 | 2 | 0 | 5.2 | 52.8 | 473.6 | 808 | 11.1 | 14.7 | 33 | 4 |
| 177 | 203 | 1 | 2 | 0.6 | 21.0 | 196.0 | 344 | 10.7 | 10.0 | 20 | 3 |
| 177 | 204 | 1 | 2 | 0.2 | 5.5 | 23.8 | 36 | 23.1 | 4.6 | 6 | 1 |
| 177 | 190 | 1 | 2 | 0.2 | 2.0 | 13.3 | 20 | 15.2 | 7.0 | 2 | 1 |
| 177 | 215 | 1 | 2 | 0.2 | 7.3 | 73.6 | 124 | 9.9 | 10.8 | 7 | 1 |
| 177 | 194 | 1 | 2 | 0.1 | 0.5 | 4.8 | 8 | 10.2 | 10.5 | 1 | 1 |
| 177 | 222 | 1 | 2 | 0.1 | 1.8 | 14.1 | 20 | 13.0 | 8.2 | 2 | 1 |
| 177 | 202 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 177 | 223 | 1 | 2 | 0.1 | 1.5 | 10.8 | 20 | 13.6 | 7.8 | 2 | 1 |
| 177 | 219 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 232 | 96 | 2 | 0 | 0.6 | 5.2 | 38.1 | 68 | 13.8 | 11.9 | 4 | 1 |
| 232 | 83 | 1 | 2 | 0.2 | 9.8 | 49.3 | 72 | 20.0 | 5.3 | 10 | 2 |
| 232 | 90 | 1 | 2 | 0.2 | 5.1 | 28.6 | 44 | 17.8 | 6.0 | 5 | 1 |
| 232 | 98 | 1 | 2 | 0.1 | 4.5 | 31.7 | 60 | 14.1 | 7.5 | 5 | 1 |
| 356 | 66 | 2 | 0 | 2.5 | 29.9 | 203.9 | 368 | 14.7 | 11.1 | 19 | 2 |
| 356 | 72 | 1 | 2 | 0.2 | 5.9 | 50.8 | 80 | 11.6 | 9.2 | 6 | 1 |
| 356 | 62 | 1 | 2 | 0.2 | 3.3 | 23.3 | 40 | 14.2 | 7.5 | 4 | 1 |
| 356 | 65 | 1 | 2 | 0.2 | 4.0 | 20.5 | 36 | 19.6 | 5.4 | 4 | 1 |
| 356 | 70 | 1 | 2 | 0.2 | 2.1 | 18.1 | 28 | 11.6 | 9.2 | 2 | 1 |
| 356 | 60 | 1 | 2 | 0.1 | 2.1 | 14.1 | 20 | 14.6 | 7.3 | 2 | 1 |
| 356 | 61 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 426 | 23 | 3 | 0 | 3.3 | 10.6 | 90.3 | 164 | 11.8 | 13.9 | 7 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m2) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|---------------|-------------------|--------------|--------------|-----------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| 426 | 45 | 2 | 3 | 1.6 | 10.9 | 83.7 | 136 | 13.0 | 12.6 | 7 | 1 |
| 426 | 39 | 2 | 3 | 1.1 | 7.7 | 56.6 | 100 | 13.6 | 12.0 | 5 | 1 |
| 426 | 57 | 1 | 2 | 0.8 | 13.1 | 103.4 | 172 | 12.7 | 8.4 | 13 | 2 |
| 426 | 49 | 1 | 2 | 0.4 | 9.2 | 66.6 | 120 | 13.8 | 7.7 | 9 | 1 |
| 426 | 32 | 1 | 2 | 0.3 | 2.8 | 22.8 | 44 | 12.3 | 8.7 | 3 | 1 |
| 426 | 47 | 1 | 2 | 0.2 | 2.8 | 23.8 | 36 | 11.8 | 9.0 | 3 | 1 |
| 426 | 28 | 1 | 2 | 0.2 | 2.1 | 18.1 | 28 | 11.8 | 9.0 | 3 | 1 |
| 426 | 22 | 1 | 3 | 0.2 | 1.6 | 13.7 | 24 | 11.6 | 9.2 | 2 | 1 |
| 426 | 41 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 511 | 156 | 3 | 0 | 23.3 | 39.5 | 846.8 | 1440 | 4.7 | 35.0 | 25 | 3 |
| 511 | 82 | 2 | 3 | 2.5 | 18.0 | 165.3 | 276 | 10.9 | 15.0 | 12 | 2 |
| 511 | 69 | 2 | 3 | 1.9 | 12.1 | 131.6 | 240 | 9.2 | 17.7 | 8 | 1 |
| 511 | 132 | 2 | 3 | 1.1 | 9.1 | 63.3 | 100 | 14.3 | 11.4 | 6 | 1 |
| 511 | 172 | 2 | 3 | 1.1 | 6.8 | 61.3 | 116 | 11.1 | 14.7 | 5 | 1 |
| 511 | 27 | 2 | 3 | 1.0 | 7.3 | 64.6 | 116 | 11.3 | 14.5 | 5 | 1 |
| 511 | 36 | 2 | 3 | 1.0 | 12.0 | 92.2 | 148 | 13.1 | 12.5 | 8 | 1 |
| 511 | 106 | 2 | 3 | 1.0 | 13.1 | 86.1 | 144 | 15.2 | 10.7 | 9 | 1 |
| 511 | 56 | 2 | 3 | 0.9 | 8.9 | 69.7 | 108 | 12.7 | 12.8 | 6 | 1 |
| 511 | 163 | 2 | 3 | 0.7 | 3.2 | 31.5 | 48 | 10.2 | 16.0 | 2 | 1 |
| 511 | 142 | 2 | 3 | 0.6 | 0.6 | 8.5 | 12 | 6.7 | 24.4 | 1 | 1 |
| 511 | 43 | 2 | 3 | 0.6 | 3.1 | 34.6 | 56 | 8.9 | 18.4 | 2 | 1 |
| 511 | 54 | 2 | 3 | 0.5 | 4.2 | 37.5 | 60 | 11.3 | 14.5 | 3 | 1 |
| 511 | 9 | 2 | 3 | 0.5 | 0.8 | 27.8 | 44 | 2.9 | 56.6 | 1 | 1 |
| 511 | 97 | 1 | 3 | 1.0 | 13.1 | 103.9 | 188 | 12.6 | 8.5 | 13 | 2 |
| 511 | 73 | 1 | 2 | 0.7 | 7.5 | 76.4 | 128 | 9.8 | 10.9 | 8 | 1 |
| 511 | 108 | 1 | 3 | 0.5 | 12.4 | 79.9 | 140 | 15.5 | 6.9 | 12 | 2 |
| 511 | 147 | 1 | 2 | 0.5 | 7.7 | 57.6 | 92 | 13.4 | 8.0 | 8 | 1 |
| 511 | 8 | 1 | 3 | 0.5 | 10.8 | 109.4 | 184 | 9.9 | 10.8 | 11 | 2 |
| 511 | 81 | 1 | 2 | 0.4 | 4.9 | 34.3 | 52 | 14.4 | 7.4 | 5 | 1 |
| 511 | 48 | 1 | 2 | 0.3 | 8.1 | 48.8 | 76 | 16.7 | 6.4 | 8 | 1 |
| 511 | 173 | 1 | 2 | 0.3 | 5.1 | 45.9 | 72 | 11.1 | 9.6 | 5 | 1 |
| 511 | 29 | 1 | 2 | 0.3 | 6.4 | 55.0 | 100 | 11.7 | 9.1 | 7 | 1 |
| 511 | 137 | 1 | 2 | 0.3 | 1.3 | 10.8 | 20 | 11.5 | 9.3 | 2 | 1 |
| 511 | 74 | 1 | 2 | 0.3 | 3.7 | 26.1 | 44 | 14.3 | 7.5 | 4 | 1 |
| 511 | 2 | 1 | 3 | 0.3 | 0.4 | 10.8 | 20 | 3.9 | 27.3 | 1 | 1 |
| 511 | 167 | 1 | 2 | 0.3 | 2.2 | 21.3 | 36 | 10.2 | 10.5 | 3 | 1 |
| 511 | 76 | 1 | 3 | 0.3 | 5.5 | 33.3 | 60 | 16.4 | 6.5 | 6 | 1 |
| 511 | 123 | 1 | 3 | 0.3 | 7.8 | 48.1 | 88 | 16.1 | 6.6 | 8 | 1 |
| 511 | 174 | 1 | 2 | 0.3 | 0.7 | 6.0 | 12 | 11.0 | 9.7 | 1 | 1 |
| 511 | 85 | 1 | 2 | 0.3 | 3.2 | 27.8 | 44 | 11.6 | 9.2 | 4 | 1 |
| 511 | 102 | 1 | 2 | 0.3 | 5.0 | 36.1 | 64 | 13.9 | 7.7 | 5 | 1 |
| 511 | 46 | 1 | 3 | 0.3 | 5.9 | 36.5 | 68 | 16.3 | 6.6 | 6 | 1 |
| 511 | 5 | 1 | 2 | 0.2 | 6.6 | 51.1 | 84 | 13.0 | 8.2 | 7 | 1 |
| 511 | 40 | 1 | 2 | 0.2 | 1.7 | 14.5 | 24 | 11.4 | 9.3 | 2 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m2) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|---------------|-------------------|--------------|--------------|-----------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| 511 | 21 | 1 | 2 | 0.2 | 3.3 | 31.0 | 52 | 10.5 | 10.1 | 4 | 1 |
| 511 | 1 | 1 | 3 | 0.2 | 8.6 | 94.1 | 160 | 9.2 | 11.7 | 9 | 1 |
| 511 | 58 | 1 | 2 | 0.2 | 1.7 | 13.3 | 20 | 12.8 | 8.3 | 2 | 1 |
| 511 | 175 | 1 | 2 | 0.2 | 0.8 | 9.7 | 16 | 8.5 | 12.5 | 1 | 1 |
| 511 | 129 | 1 | 2 | 0.2 | 6.9 | 37.8 | 64 | 18.2 | 5.9 | 7 | 1 |
| 511 | 141 | 1 | 2 | 0.2 | 3.9 | 27.7 | 52 | 14.3 | 7.5 | 4 | 1 |
| 511 | 84 | 1 | 2 | 0.2 | 0.6 | 6.8 | 12 | 8.9 | 12.0 | 1 | 1 |
| 511 | 92 | 1 | 2 | 0.2 | 3.9 | 29.3 | 52 | 13.4 | 8.0 | 4 | 1 |
| 511 | 79 | 1 | 3 | 0.2 | 2.4 | 11.7 | 20 | 20.7 | 5.2 | 3 | 1 |
| 511 | 53 | 1 | 2 | 0.2 | 4.4 | 33.8 | 56 | 13.1 | 8.2 | 5 | 1 |
| 511 | 52 | 1 | 2 | 0.2 | 2.8 | 18.5 | 32 | 15.3 | 7.0 | 3 | 1 |
| 511 | 4 | 1 | 3 | 0.2 | 0.5 | 10.0 | 20 | 5.3 | 20.1 | 1 | 1 |
| 511 | 109 | 1 | 2 | 0.2 | 1.4 | 12.5 | 20 | 11.3 | 9.5 | 2 | 1 |
| 511 | 24 | 1 | 2 | 0.2 | 2.7 | 18.1 | 28 | 15.0 | 7.1 | 3 | 1 |
| 511 | 67 | 1 | 2 | 0.2 | 2.9 | 26.5 | 48 | 11.0 | 9.7 | 3 | 1 |
| 511 | 55 | 1 | 2 | 0.2 | 4.5 | 29.0 | 48 | 15.6 | 6.9 | 5 | 1 |
| 511 | 154 | 1 | 3 | 0.2 | 3.9 | 29.0 | 48 | 13.4 | 8.0 | 4 | 1 |
| 511 | 51 | 1 | 2 | 0.2 | 2.9 | 21.0 | 32 | 14.0 | 7.6 | 3 | 1 |
| 511 | 71 | 1 | 2 | 0.1 | 1.2 | 6.8 | 12 | 17.9 | 6.0 | 2 | 1 |
| 511 | 138 | 1 | 2 | 0.1 | 2.1 | 16.1 | 24 | 12.7 | 8.4 | 2 | 1 |
| 511 | 64 | 1 | 2 | 0.1 | 1.4 | 11.7 | 20 | 12.4 | 8.6 | 2 | 1 |
| 511 | 78 | 1 | 2 | 0.1 | 3.4 | 26.1 | 44 | 13.1 | 8.2 | 4 | 1 |
| 511 | 12 | 1 | 3 | 0.1 | 0.1 | 5.7 | 8 | 2.5 | 43.1 | 1 | 1 |
| 511 | 59 | 1 | 2 | 0.1 | 2.6 | 15.7 | 28 | 16.5 | 6.5 | 3 | 1 |
| 511 | 44 | 1 | 2 | 0.1 | 2.6 | 17.3 | 28 | 15.2 | 7.0 | 3 | 1 |
| 511 | 77 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 511 | 7 | 1 | 2 | 0.1 | 1.0 | 11.7 | 20 | 8.3 | 12.8 | 1 | 1 |
| 511 | 130 | 1 | 2 | 0.1 | 1.1 | 9.7 | 16 | 10.9 | 9.8 | 1 | 1 |
| 511 | 75 | 1 | 2 | 0.1 | 1.2 | 13.3 | 20 | 9.2 | 11.6 | 2 | 1 |
| 511 | 38 | 1 | 2 | 0.1 | 0.9 | 10.5 | 16 | 8.6 | 12.4 | 1 | 1 |
| 511 | 110 | 1 | 2 | 0.1 | 1.8 | 14.1 | 20 | 12.9 | 8.3 | 2 | 1 |
| 511 | 63 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 511 | 143 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 547 | 80 | 4 | 0 | 25.9 | 21.4 | 493.7 | 868 | 4.3 | 37.7 | 14 | 2 |
| 547 | 193 | 3 | 4 | 13.0 | 23.1 | 489.9 | 824 | 4.7 | 34.7 | 15 | 2 |
| 547 | 95 | 3 | 4 | 5.9 | 5.0 | 79.7 | 128 | 6.3 | 26.0 | 4 | 1 |
| 547 | 125 | 2 | 3 | 2.4 | 11.8 | 180.7 | 300 | 6.5 | 25.1 | 8 | 1 |
| 547 | 207 | 2 | 3 | 2.1 | 17.4 | 261.8 | 444 | 6.7 | 24.6 | 11 | 2 |
| 547 | 179 | 2 | 3 | 1.9 | 8.3 | 152.6 | 272 | 5.4 | 30.0 | 6 | 1 |
| 547 | 165 | 2 | 3 | 1.8 | 12.4 | 126.5 | 200 | 9.8 | 16.6 | 8 | 1 |
| 547 | 121 | 2 | 3 | 1.4 | 9.9 | 106.6 | 200 | 9.2 | 17.7 | 7 | 1 |
| 547 | 93 | 2 | 3 | 1.2 | 5.8 | 74.1 | 140 | 7.8 | 21.0 | 4 | 1 |
| 547 | 208 | 2 | 3 | 0.8 | 3.2 | 59.6 | 96 | 5.4 | 30.1 | 2 | 1 |
| 547 | 127 | 2 | 3 | 0.8 | 5.9 | 61.1 | 104 | 9.7 | 16.9 | 4 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m2) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|---------------|-------------------|--------------|--------------|-----------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| 547 | 31 | 2 | 4 | 0.6 | 2.6 | 54.3 | 92 | 4.7 | 34.6 | 2 | 1 |
| 547 | 17 | 2 | 4 | 0.6 | 0.6 | 18.1 | 28 | 3.1 | 52.2 | 1 | 1 |
| 547 | 197 | 2 | 3 | 0.6 | 1.2 | 18.1 | 28 | 6.4 | 25.5 | 1 | 1 |
| 547 | 195 | 2 | 3 | 0.5 | 0.4 | 12.5 | 20 | 3.0 | 53.7 | 1 | 1 |
| 547 | 153 | 2 | 3 | 0.3 | 0.8 | 10.8 | 20 | 7.2 | 22.8 | 1 | 1 |
| 547 | 101 | 1 | 4 | 1.3 | 20.2 | 338.5 | 556 | 6.0 | 17.8 | 19 | 2 |
| 547 | 139 | 1 | 2 | 0.4 | 2.8 | 45.8 | 80 | 6.2 | 17.2 | 3 | 1 |
| 547 | 220 | 1 | 2 | 0.4 | 2.7 | 75.6 | 128 | 3.5 | 30.1 | 3 | 1 |
| 547 | 206 | 1 | 2 | 0.4 | 1.9 | 30.8 | 60 | 6.0 | 17.7 | 2 | 1 |
| 547 | 135 | 1 | 2 | 0.3 | 2.3 | 28.5 | 52 | 7.9 | 13.5 | 3 | 1 |
| 547 | 144 | 1 | 2 | 0.3 | 4.9 | 57.1 | 96 | 8.5 | 12.5 | 5 | 1 |
| 547 | 205 | 1 | 2 | 0.3 | 3.9 | 65.9 | 112 | 6.0 | 17.9 | 4 | 1 |
| 547 | 105 | 1 | 2 | 0.3 | 4.6 | 49.1 | 80 | 9.3 | 11.5 | 5 | 1 |
| 547 | 180 | 1 | 2 | 0.3 | 2.1 | 33.3 | 60 | 6.3 | 17.1 | 2 | 1 |
| 547 | 91 | 1 | 2 | 0.3 | 1.0 | 15.7 | 28 | 6.4 | 16.6 | 1 | 1 |
| 547 | 171 | 1 | 2 | 0.3 | 3.2 | 40.6 | 68 | 8.0 | 13.4 | 4 | 1 |
| 547 | 160 | 1 | 2 | 0.3 | 2.9 | 35.0 | 60 | 8.3 | 12.9 | 3 | 1 |
| 547 | 30 | 1 | 2 | 0.3 | 10.9 | 74.1 | 140 | 14.8 | 7.2 | 11 | 2 |
| 547 | 19 | 1 | 4 | 0.2 | 1.2 | 27.8 | 44 | 4.1 | 25.9 | 2 | 1 |
| 547 | 126 | 1 | 2 | 0.2 | 1.1 | 18.0 | 36 | 6.3 | 17.0 | 2 | 1 |
| 547 | 210 | 1 | 2 | 0.2 | 1.3 | 24.1 | 40 | 5.5 | 19.3 | 2 | 1 |
| 547 | 177 | 1 | 2 | 0.2 | 6.0 | 78.4 | 132 | 7.6 | 14.0 | 6 | 1 |
| 547 | 133 | 1 | 2 | 0.2 | 0.4 | 10.8 | 20 | 3.7 | 28.7 | 1 | 1 |
| 547 | 103 | 1 | 2 | 0.2 | 2.8 | 26.1 | 44 | 10.6 | 10.1 | 3 | 1 |
| 547 | 159 | 1 | 2 | 0.2 | 2.6 | 24.1 | 40 | 10.9 | 9.8 | 3 | 1 |
| 547 | 183 | 1 | 2 | 0.2 | 0.8 | 14.5 | 24 | 5.3 | 20.1 | 1 | 1 |
| 547 | 20 | 1 | 4 | 0.2 | 0.0 | 2.8 | 4 | 3.5 | 30.2 | 1 | 1 |
| 547 | 88 | 1 | 2 | 0.2 | 1.7 | 21.3 | 36 | 7.9 | 13.5 | 2 | 1 |
| 547 | 87 | 1 | 3 | 0.2 | 0.2 | 4.0 | 8 | 4.9 | 21.9 | 1 | 1 |
| 547 | 170 | 1 | 2 | 0.2 | 2.0 | 24.5 | 44 | 8.2 | 13.1 | 2 | 1 |
| 547 | 209 | 1 | 2 | 0.2 | 3.4 | 53.5 | 92 | 6.3 | 16.9 | 4 | 1 |
| 547 | 34 | 1 | 2 | 0.2 | 4.4 | 48.1 | 88 | 9.1 | 11.8 | 5 | 1 |
| 547 | 100 | 1 | 2 | 0.2 | 1.4 | 15.7 | 28 | 8.7 | 12.3 | 2 | 1 |
| 547 | 99 | 1 | 2 | 0.2 | 2.5 | 35.3 | 64 | 7.1 | 15.1 | 3 | 1 |
| 547 | 89 | 1 | 3 | 0.2 | 0.6 | 7.7 | 12 | 8.0 | 13.3 | 1 | 1 |
| 547 | 136 | 1 | 2 | 0.2 | 1.9 | 21.3 | 36 | 9.0 | 11.8 | 2 | 1 |
| 547 | 25 | 1 | 4 | 0.2 | 5.5 | 57.7 | 112 | 9.5 | 11.3 | 6 | 1 |
| 547 | 151 | 1 | 2 | 0.2 | 0.4 | 10.5 | 16 | 3.5 | 30.8 | 1 | 1 |
| 547 | 94 | 1 | 2 | 0.2 | 1.7 | 23.7 | 44 | 7.0 | 15.3 | 2 | 1 |
| 547 | 18 | 1 | 2 | 0.2 | 0.4 | 15.3 | 24 | 2.3 | 45.8 | 1 | 1 |
| 547 | 128 | 1 | 2 | 0.2 | 1.9 | 8.0 | 16 | 23.2 | 4.6 | 2 | 1 |
| 547 | 86 | 1 | 2 | 0.2 | 2.2 | 24.1 | 40 | 8.9 | 12.0 | 3 | 1 |
| 547 | 181 | 1 | 2 | 0.2 | 5.3 | 64.6 | 116 | 8.2 | 13.0 | 5 | 1 |
| 547 | 214 | 1 | 2 | 0.2 | 5.8 | 58.8 | 96 | 9.8 | 10.9 | 6 | 1 |

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CÁRCAVAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

| Cuenca | Canal | Orden | Orden vertido | A. desaguada (ha) | Desnivel (m) | Longitud (m) | Área (m2) | Pendiente (%) | Distancia (m) | Nº barreras | Nº diques |
|--------|-------|-------|---------------|-------------------|--------------|--------------|-----------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| 547 | 107 | 1 | 2 | 0.2 | 4.3 | 38.1 | 68 | 11.3 | 9.4 | 5 | 1 |
| 547 | 26 | 1 | 4 | 0.2 | 4.7 | 47.7 | 92 | 9.8 | 10.9 | 5 | 1 |
| 547 | 118 | 1 | 2 | 0.2 | 1.3 | 26.6 | 40 | 4.8 | 22.1 | 2 | 1 |
| 547 | 35 | 1 | 2 | 0.2 | 14.3 | 91.5 | 168 | 15.6 | 6.8 | 14 | 2 |
| 547 | 155 | 1 | 2 | 0.1 | 0.4 | 7.7 | 12 | 5.0 | 21.2 | 1 | 1 |
| 547 | 145 | 1 | 3 | 0.1 | 5.9 | 49.1 | 80 | 11.9 | 9.0 | 6 | 1 |
| 547 | 114 | 1 | 2 | 0.1 | 2.4 | 27.0 | 44 | 8.9 | 12.0 | 3 | 1 |
| 547 | 201 | 1 | 2 | 0.1 | 0.9 | 20.1 | 32 | 4.5 | 23.9 | 1 | 1 |
| 547 | 33 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 547 | 198 | 1 | 2 | 0.1 | 2.2 | 32.8 | 64 | 6.6 | 16.2 | 3 | 1 |
| 547 | 176 | 1 | 2 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 547 | 199 | 1 | 2 | 0.1 | 0.2 | 4.0 | 8 | 4.1 | 26.2 | 1 | 1 |
| 547 | 68 | 1 | 4 | 0.1 | 1.4 | 8.8 | 16 | 15.6 | 6.9 | 2 | 1 |
| 547 | 11 | 1 | 4 | 0.1 | 0.0 | 4.8 | 8 | 0.7 | 147.1 | 1 | 1 |
| 547 | 152 | 1 | 2 | 0.1 | 0.7 | 8.8 | 16 | 7.4 | 14.4 | 1 | 1 |
| 547 | 211 | 1 | 2 | 0.1 | 1.4 | 23.0 | 36 | 6.0 | 17.8 | 2 | 1 |
| 547 | 122 | 1 | 2 | 0.1 | 4.4 | 27.7 | 52 | 15.9 | 6.7 | 5 | 1 |
| 547 | 162 | 1 | 3 | 0.1 | 0.7 | 10.8 | 20 | 6.8 | 15.8 | 1 | 1 |
| 547 | 42 | 1 | 4 | 0.1 | 0.2 | 4.8 | 8 | 3.8 | 27.8 | 1 | 1 |
| 547 | 37 | 1 | 2 | 0.1 | 0.4 | 8.8 | 16 | 4.2 | 25.3 | 1 | 1 |
| 547 | 104 | 1 | 3 | 0.1 | 1.2 | 10.0 | 20 | 12.0 | 8.9 | 2 | 1 |
| 547 | 149 | 1 | 2 | 0.1 | 0.3 | 5.7 | 8 | 4.9 | 21.6 | 1 | 1 |
| 547 | 50 | 1 | 4 | 0.1 | 0.0 | 4.8 | 8 | 0.1 | 1480.4 | 1 | 1 |
| 547 | 184 | 1 | 3 | 0.1 | 0.3 | 9.7 | 16 | 3.3 | 32.2 | 1 | 1 |
| 547 | 10 | 1 | 4 | 0.1 | 0.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 21.3 | 1 | 1 |
| 616 | 13 | 2 | 0 | 0.5 | 1.8 | 61.9 | 104 | 2.9 | 56.6 | 2 | 1 |
| 616 | 6 | 1 | 2 | 0.2 | 5.8 | 62.4 | 100 | 9.2 | 11.5 | 6 | 1 |
| 616 | 16 | 1 | 2 | 0.1 | 0.1 | 4.8 | 8 | 1.6 | 66.9 | 1 | 1 |
| 632 | 3 | 2 | 0 | 0.4 | 1.8 | 35.8 | 60 | 5.1 | 32.1 | 2 | 1 |
| 632 | 15 | 1 | 2 | 0.2 | 7.8 | 40.0 | 80 | 19.5 | 5.5 | 8 | 1 |
| 632 | 14 | 1 | 2 | 0.2 | 8.6 | 45.8 | 80 | 18.8 | 5.7 | 9 | 1 |