

DISEÑO DE UN GEOPORTAL WEB PARA EL CÁLCULO DE COSTES DE CARBURANTE EN EL TRANSPORTE DE LA COSECHA DE ACEITUNA

Sergio Lorente-Sánchez¹, Ángel Marqués-Mateu¹, Gaspar Mora-Navarro¹

¹Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Camino de Vera, S/N, 46022, Valencia. España. serlosan@topo.upv.es, amarques@cgf.upv.es, joamona@cgf.upv.es.

RESUMEN

La reducción en el coste del transporte de la cosecha de aceituna desde la parcela de recolección hasta la almazara repercute directamente en un mayor o menor beneficio económico para el agricultor de olivar en el momento de la transacción final con la almazara. En esta comunicación se propone la creación de un geoportal web con el que puede calcularse la ruta de menor gasto desde el punto de recolección hasta una almazara. La solución proporciona el mínimo coste en el transporte de la cosecha y por tanto un mayor beneficio al agricultor en la transacción final. El geoportal web interactúa internamente con una base de datos espacial diseñada previamente para establecer el coste final que supone el transporte en la ruta obtenida. A partir del modelo de emisiones COPERT, que establece la agencia europea de medio ambiente (EEA), y teniendo en cuenta las anteriores variables, se calcularán los litros de combustible necesarios para realizar la ruta de menor coste. Las tareas de computación realizadas por el geoportal se ejecutan de manera transparente en un entorno multiusuario. Asimismo, el acceso al geoportal se puede realizar desde cualquier dispositivo, fijo o móvil, capaz de procesar documentos HTML.

Palabras clave: Geoportal; Sistema de Información Geográfica; Rutas; Coste; Olivar

ABSTRACT

The olive harvest transport's cost, from the collection point to the oil press plant, directly affects the olive farmer in a greater or lesser economic benefits on the final transaction moment with the oil press plant chief. This study proposes a geoportal web that can obtain the minimum cost route, from the collection point to an oil press plant. The solution gives the lowest cost route on olive harvest transport and consequently, a highest benefit for the farmer on the final transaction. The geoportal web internally interacts with a previously spatial database designed for determine the final cost that transport supposes on the obtained route. Starting from emissions model COPERT, that Europe Environment Agency (EEA) establishes, and the previous variables, it shall calculate the necessary fuel consumption litres for doing the minimum cost route. The geoportal computation tasks will run in a transparent multiuser environment. Moreover, it is posible to access to the geoportal web through the use of fixed or mobile devices that can processes HTML documents.

Keywords: Geoportal; GIS; Routes; Cost; Olive;

1. INTRODUCCIÓN

El 80% de la producción total de aceituna en España se produce en Andalucía (Junta de Andalucía, 2013). Es por tanto, un sector económico de gran importancia en esta comunidad y un factor clave para el conjunto de actividades relacionadas con el olivar, ya sean económicas, laborales o sociales. A nivel local se estima que la población que depende directa o indirectamente del cultivo del olivar se sitúa de media en un 60% en tareas relacionadas con la recogida, transporte o cuidados de este. Se estima que un total de 300 municipios andaluces, tienen como principal actividad económica el cultivo del olivar (Villalba et al. 2014). El presente estudio pretende contribuir a la optimización de una parte de estas tareas y se centra en estimar la ruta de menor coste de transporte de la cosecha de aceituna desde la parcela de recolección a la almazara, lo cual repercute en un mayor beneficio para el agricultor en la transacción con la almazara. Este aspecto puede llegar a suponer para el agricultor un ahorro al final de la temporada de la recogida de hasta 2 litros de combustible por jornada.

La intención del estudio es la creación de una herramienta de acceso libre mediante la realización de un geoportal web. El geoportal web interactúa de forma interna con el sistema de información geográfica (SIG) y con los datos de localización que introduce el usuario, obteniéndose posteriormente la ruta de menor coste de transporte a la almazara de forma gráfica y el coste de forma descriptiva. Esta herramienta permite a cualquier usuario acceder a este servicio y obtener la ruta de menor coste desde su parcela de olivar.

2. BREVE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El cálculo de rutas óptimas es un problema clásico en computación y existen multitud de estudios acerca del tema. Dijkstra (1959) ideó un algoritmo para el cálculo del camino más corto entre los nodos de una estructura de datos de tipo grafo. El algoritmo de Dijkstra como se conoce actualmente es probablemente el primer intento moderno de cálculo de rutas óptimas a través de redes de comunicación que el autor planteó en forma genérica, estimulado probablemente por algunos estudios previos y por el incipiente nacimiento de las redes de ordenadores de la época. Posteriormente han aparecido otros algoritmos más modernos y adaptados a casos especiales, pero el algoritmo de Dijkstra todavía se utiliza en la actualidad en todo tipo de aplicaciones, incluyendo el cálculo de rutas para transporte que es el tema de interés en este trabajo. Los algoritmos modernos de cálculo de rutas están basados en mayor o menor medida en la propuesta de Dijkstra. Los lectores interesados en los avances realizados en esta disciplina pueden obtener más información de diversas fuentes bibliográficas recientes (Li and Klette, 2011; Feng and Watanabe, 2015)

En el caso particular del gasto de combustible en los transportes por carretera la bibliografía no es tan extensa. La herramienta descrita en esta comunicación se ha inspirado en el trabajo de Tavares et al. (2008) quienes proponen un estudio de cálculo de rutas de mínimo coste para el transporte de residuos sólidos urbanos en diferentes ciudades. La precisión de este estudio, no queda evidenciada, pudiendo no ajustarse a la realidad. En cuanto a modelos de emisión y consumo de combustible, existen varios estudios que se aplican en el cálculo de rutas, entre ellos COPERT (Ntziachristos and Samaras, 2000), que estima el consumo de combustible teniendo en cuenta diferentes variables tales como la carga, la pendiente y la velocidad. Por otra parte, el marco legislativo europeo EURO III legislation class (European Commission, 2000), establece la normativa aplicable a cada tipo de vehículo en los transportes de mercancías.

En cuanto a la integración de información geográfica en geoportales existen diferentes estudios como Resch y Zimmer (2013) o Ganning et al. (2014) donde integran diferentes herramientas en entornos web de acceso público y con capacidad de interacción con el usuario. En el primer caso los autores realizan un estudio acerca de los geoportales más usados por la comunidad de usuarios y las características visuales que relacionan a todos ellos, y que por tanto aconseja que cualquier geoportal debería tener. Realiza un gran hincapié en aspectos gráficos de la interfaz del geoportal y como éstas afectan al usuario. Por otra parte, Ganning et al. (2014) establecen un diseño de geoportales web que trabajan internamente con herramientas GIS y que interactúan además con el usuario que está usando el servicio web. La interacción del geoportal web con el usuario, obliga a que la comunicación entre estos dos elementos sea continua y supone una automatización de todos los componentes que componen la arquitectura del geoportal web.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La zona de estudio se sitúa en la parte nororiental de Andalucía, provincia de Jaén concretamente en las comarcas de Sierra de Segura, Sierra de Cazorla y las Villas. Esta zona, está formada por relieves variables que van desde extensos valles fértiles a grandes picos y cadenas montañosas, como las Sierras de Segura y Cazorla. Tiene una elevada altitud media, con un 70% de su superficie por encima de los 800 m, lo que le confiere una acusada personalidad geográfica, donde destacan cumbres que rozan los 2.000 m. A parte de las grandes extensiones de masa forestal, el cultivo del olivar de montaña predomina en el lugar. Aproximadamente, 100.000 hectáreas son de olivar aportando una cantidad de hasta 80 millones de kg de aceite. Entre el 60% y el 70% de la población vive directamente del cultivo del olivar, lo que supone un medio de vida para la población de la zona. Resulta por tanto interesante, el estudio del cálculo de rutas en estas zonas con un relieve variado, y que suponen un medio de vida para 60.000 personas en la zona.



Figura 1. Mapa de situación de las comarcas de Sierra de Segura, Cazorla y Las Villas, provincia de Jaén

4. METODOLOGÍA

En este estudio se propone una aplicación SIG en red especializada en el cálculo de rutas que interactúa con el usuario (que especifica el punto de origen) y con el SIG que proporciona la funcionalidad para el cálculo en sí de la ruta. Todo ello, ha de realizarse de forma automática a partir de unos datos que el propio usuario debe introducir.

El conjunto de datos fundamental para el análisis de rutas es la red de carreteras que a nivel lógico se representa mediante un grafo. Así la red se convierte en un conjunto de nodos conectados entre sí a través de una serie de arcos. A los elementos básicos de la red, arcos y nodos, se les puede asignar una serie de atributos, tanto literales como numéricos, que definen las características de la misma. Cualquiera de estos atributos puede considerarse como impedancia para realizar una ruta.

Por otra parte la integración de esta aplicación SIG en un sitio web, supone la implementación de toda la arquitectura de esta herramienta en un servidor. De esta forma se asegura la disponibilidad de la herramienta en cualquier momento, y la automatización de todos los procesos de cálculo.

El desarrollo de esta herramienta se ha realizado en una serie de pasos que se han integrado conjuntamente. Así la metodología puede dividirse en las fases que se describen a continuación.

4.1 Preparación de la cartografía base

En primer lugar se preparó la cartografía necesaria para el funcionamiento de la herramienta. Así se descargó la información cartográfica referente a la red de carreteras de la zona y a los límites municipales existentes en el sistema de referencia ETRS89 y proyección UTM tal y como establece la normativa actual. Los datos se descargaron de la "Infraestructura de datos espaciales de Andalucía" (ideandalucia.es), que proporciona capas de polilíneas que representan la red de carreteras. A partir de los datos iniciales se realizó un recorte de las carreteras de la zona indicando un área de influencia de 20km alrededor de los municipios existentes. También, se descargaron los modelos digitales del terreno (MDT) con tamaño de celda de 5 metros. A la red de carreteras se le realizó un análisis topológico para detectar y en su caso corregir tramos sin intersectar, tramos duplicados o tramos con longitud menor a un valor mínimo que se estableció en 1m.

Por otra parte se debían obtener datos de geolocalización de las almazaras de la zona. Al no haber sido posible su obtención, se buscaron en las plataformas web de los consejos reguladores de Sierra de Segura y Sierra de Cazorla las direcciones postales de cada una de ellas. Posteriormente, y a partir de un proceso de geocodificación directa se obtuvieron las coordenadas de todas las almazaras de la zona, almacenándose todas ellas en un *Shapefile* de tipo punto. El proceso de geocodificación se automatizó a través de un script en lenguaje de programación Python y el módulo *geopy* 0.9.3 que permite realizar operaciones de geocodificación directa e inversa.

Posteriormente se dividieron las polilíneas originales que formaban la red de carreteras en tramos con longitudes máximas de 50 metros. A continuación, a partir de la combinación de las polilíneas con el MDT de la zona se transformó la red de carreteras en una capa de polilíneas tridimensionales. Es evidente que la división de las polilíneas en segmentos cortos aumenta el volumen de almacenamiento, pero es una operación necesaria para cuantificar la variable de pendiente del terreno de manera que quede reflejada la variabilidad de la elevación del terreno con suficiente resolución.

Por último, para la posterior realización del análisis de rutas es necesario establecer un punto de salida del vehículo. El geoportal web se ha diseñado para que el punto origen sea el centroide de la parcela catastral del usuario, que se obtendrá a partir de la introducción de la referencia catastral. Este proceso se describirá más explícitamente en el apartado 4.3 de esta comunicación. El resultado es un *Shapefile* de tipo punto, con el punto de salida del vehículo.

4.2 Cálculo de Rutas y consumo de combustible

La cartografía base debidamente preparada permite proceder con el estudio del cálculo de rutas. Este proceso se realizó con las herramientas existentes en el entorno de trabajo de ArcGIS, específicamente con la extensión *Network Analyst*. En este punto fue necesario crear un conjunto de datos especiales denominado *Network dataset* con toda la red de carreteras de la zona para realizar el cálculo de la ruta, donde se tendría como impedancia el coste o cantidad de litros consumidos de combustible.

Para establecer el consumo de combustible se utilizó el método COPERT (Ntziachristos and Samaras, 2000), que tiene en cuenta diferentes variables tales como la velocidad, la pendiente del terreno y la carga. La formulación indicada en el resto de este apartado proviene de este trabajo.

El consumo de combustible básicamente se establece en función de la velocidad del vehículo. El estudio tiene en cuenta que el vehículo ha de tener gran capacidad de carga, establecido entre 7.5 y 16 toneladas, diesel, teniendo en cuenta la legislación vigente en EURO III legislation class (European Commission, 1999). Así la expresión inicial del consumo de combustible es la siguiente:

$$FCS = 1068.4 \cdot V^{-0.4905}$$

Donde:

FCS: es el consumo de combustible en g/km

V: es la velocidad media de la vía en km/h

Teniendo en cuenta los diferentes tipos de viales existentes en la red de carreteras, los cuales vienen definidos literalmente en la tabla de atributos de la capa de polilíneas, se les ha asignado una velocidad determinada. Los tipos de vía pueden ser 'Caminos', 'Vías urbanas' y 'Vías interurbanas' a los cuales se les ha asignado unas velocidades de 40, 30 y 60km/h respectivamente.

Sin embargo, para la estimación del consumo de combustible, es necesario tener en cuenta otras variables que afectan al tráfico de vehículos. Entre ellos se encuentran la capacidad de carga del vehículo y la pendiente del terreno. Estos efectos con correctores adimensionales de la expresión inicial del consumo por lo que la expresión ya corregida del consumo sería la siguiente:

$$fc = FCS * LCF * GrCf$$

Donde:

fc: Consumo de combustible corregido

FCS: Consumo de combustible inicial

LCF: Efecto de la carga del vehículo

GrCf: Efecto de la pendiente del terreno

4.2.1 Efecto de la carga del vehículo

En la estimación del consumo de combustible de un vehículo es evidente que la carga del vehículo supone un aumento en el mismo. Por ello ha de tenerse en cuenta la carga de transporte, que en el caso particular de este trabajo es la cosecha de aceituna que ha de llevarse a la almazara de destino.

El factor corrector de la carga para vehículos pesados se establecerá según la siguiente fórmula:

$$LCF = 1 + 0.36 \frac{(LP - 50)}{100}$$

Donde:

LCF: Coeficiente corrector por efecto de la carga del vehículo.

LP: Porcentaje que expresa la cantidad de carga con relación a la capacidad del vehículo. Se tiene en cuenta que el usuario, con la intención de realizar el menor número de viajes posible, aprovechará al máximo la capacidad de carga del vehículo, por lo que este término siempre adquiere valor 100%.

4.2.2 Efecto de la pendiente de la vía

El coeficiente corrector por pendiente de la vía crece o decrece según cuando la pendiente de la vía es positiva o negativa respectivamente. Este coeficiente supone un corrector de magnitud considerable, puesto que ha de recordarse que nos encontramos dentro de la categoría de vehículos altamente pesados con gran capacidad de carga que se encuentran con grandes resistencias a la tracción. El efecto de la pendiente de la vía se obtiene con la siguiente expresión:

$$GrCf = 0.41 * e^{0.18x}$$

Donde:

GrCf: Coeficiente corrector por efecto de la pendiente de la vía

x: Pendiente del terreno en porcentaje. El valor ha de estar entre -15% y +15%

El conjunto de datos de red (*Network dataset*) reseñado en el punto 4.2 permite obtener la pendiente de la vía ya que anteriormente se han transformado las polilíneas de la red de carreteras a polilíneas 3D. Además también diferencia los sentidos de avance en la vía, de tal forma que establece correctamente si en el sentido de avance la pendiente es negativa o por contra positiva.

4.2.3 Asignación del consumo de combustible a cada segmento

Una vez obtenidos todos los coeficientes correctores y por tanto el consumo de carburante ya corregido (fc), resta asignar a cada segmento o tramo de la vía el consumo de combustible necesario para recorrerlo. Tal y como se indicó anteriormente, las polilíneas originales se dividieron en tramos (segmentos rectos) de vía de tal forma que ninguno de ellos fuera mayor de 50m, lo que supone un aumento en la precisión del cálculo del consumo de combustible. La expresión que determina el consumo de combustible en cada tramo es la siguiente:

$$FC = Lseg * fc$$

Donde:

FC: Consumo de combustible para un tramo.

Lseg: Longitud 3D del tramo en Km.

fc: Consumo de combustible corregido.

4.2.4 Obtención de la ruta de menor coste

Obtenido el consumo para cada segmento, restaría obtener la ruta de menor coste (de menor consumo de carburante) desde la parcela de recolección a cualquier almazara de la zona. La ruta de menor coste se obtiene por la expresión:

$$TFC = \min \left(\sum_{k=1}^m FC_k \right)$$

Donde:

TFC: Consumo total de carburante en la ruta.

FC_k: Consumo de combustible en cada tramo

m: número de tramos en la ruta

La extensión *Network Analyst* de ArcGIS realiza este último cálculo de forma automática e interna, estableciendo como impedancia el coste, es decir el consumo de carburante, en cada tramo de la ruta. Tras el cálculo, el software devuelve una capa de líneas en formato *Shapefile* con la ruta de menor coste junto con información acerca del coste necesario para recorrerla. Es necesario para ello establecer anteriormente el punto de salida como punto de incidencia y la capa de almazaras como posibles puntos de instalación de destino en el análisis de rutas.

Todos los procedimientos y cálculos descritos en el presente apartado 4.2 se recogieron en un *script* en el lenguaje de programación Python para que el proceso quedase automatizado y que este pueda interactuar internamente con el geoportal web y por consiguiente con el usuario.

El software ArcGIS a partir del archivo dataset, realiza un estudio acerca de las posibles rutas junto con el coste que supondría la realización de ésta. Es en este archivo donde se encuentra toda la información del coste de todas las posibles rutas. Así tras la localización de la parcela catastral, se procede al estudio de las posibles rutas existentes determinando finalmente la de menor coste.

Con esto cada vez que el usuario introduzca la referencia catastral de la parcela de recolección, el script Python recolectará los datos introducidos por el usuario y realizará todo el cálculo anterior para finalmente mostrar la ruta de menor coste a seguir hasta una de las almazaras.

4.3 Creación del geoportal Web

El objetivo de realizar una herramienta abierta para cualquier usuario supuso la creación de un geoportal Web. El geoportal debe interactuar internamente con el SIG que realiza el cálculo de rutas para posteriormente mostrar al usuario la ruta de menor coste. Debe por tanto ser un proceso automático que devuelva los resultados esperados. En el diseño del geoportal web destacan dos elementos principales: la interfaz de la herramienta web (Figura 2) y el servidor web http. El diagrama de bloques con los elementos de la herramienta se observa en la Figura 3.



Figura 2. Interfaz gráfica de usuario de la aplicación. Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Interface de la web

El interfaz web viene definido por los lenguajes HTML y CSS, tal y como es habitual en la actualidad. A través de estos lenguajes se diseñan los aspectos gráficos. Así se diseñan los diferentes cuadros de texto, con diferentes tonalidades de color, botones y marcos con contenidos. También se integran en este código las diferentes imágenes que pueden aparecer de la web.

Por otra parte, la representación de la cartografía, correspondiente con la ruta de menor coste, se realiza teniendo como base cartográfica WMS de las ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) y de la Dirección Nacional del Catastro. La visualización de la cartografía en el navegador del usuario se ha llevado a cabo con una librería de JavaScript denominada OpenLayers (Hazard, 2011; Perez, 2012) a partir de la cual pueden mostrarse los anteriores servicios WMS y capas con diferentes tipos de geometrías, en este caso la ruta de menor coste.

4.3.2 Servidor web HTTP

La interconexión entre el usuario, el SIG que calcula la ruta y el geoportal web requiere la función de un servidor HTTP que escuche las peticiones y ejecute acciones en consecuencia. En este caso toda la arquitectura del geoportal web se apoya en un servidor web denominado Apache. Este servidor web HTTP utiliza código abierto y se utiliza en varias plataformas como Unix o Windows. Para el funcionamiento de servidor fue necesario configurar el módulo WSGI que permite la creación de entornos web dinámicos a partir del lenguaje de programación Python. Es por tanto necesario configurar y programar el servidor para que recoja los datos que el usuario envía y a continuación se ejecuten los procesos necesarios. Los procesos (*scripts*) que se programaron fueron los siguientes:

a) Petición de coordenadas de la parcela catastral

Se escribió un *script* Python para obtener las coordenadas del centroide de la parcela catastral a partir de la referencia catastral que introdujera el usuario mediante una consulta al servidor del catastro. Este *script* ejecuta la petición y espera hasta obtener respuesta del servidor. Con las coordenadas que este devuelva se crea una geometría de tipo punto que resultará ser el punto de salida del vehículo en la ruta de menor coste.

Además, con dichas coordenadas realiza un zoom en el mapa donde se representará gráficamente la geometría de la ruta de menor coste, de manera que el usuario pueda confirmar que la referencia catastral introducida es correcta.

b) Cálculo de rutas

Este *script* es la piedra angular en la que se fundamenta toda la herramienta. Es capaz de realizar el estudio de la ruta que resulte del menor coste en transporte, a partir de la referencia catastral que el usuario haya introducido que resultará ser el punto de salida.

El *script* importa el módulo *arcpy* que contiene funciones para ejecutar las herramientas existentes en el entorno de trabajo de ArcGIS. El *script* realiza el estudio de las posibles rutas hasta determinar la de menor coste. Este proceso, devuelve la geometría de menor coste en un *Shapefile*, automatizando así el proceso de cálculo de la ruta de menor coste.

c) Transformación de la geometría a GeoJSON

El tercer *script* que se diseñó realiza la transformación de la geometría de la ruta de menor coste a formato GeoJSON. Se trata de un formato abierto diseñado para representar elementos geográficos y sus atributos de forma rápida y sencilla basado en el esquema JavaScript Object Notation, comúnmente conocido como JSON (Basset, 2015). Este formato se está convirtiendo en la actualidad en un estándar *de facto* para la distribución de información geográfica en redes de comunicación. Como anteriormente se ha dicho, ArcGIS realiza el cálculo de la ruta óptima devolviendo una geometría de tipo polilínea que debe representarse en el mapa diseñado con la biblioteca OpenLayers. A partir de la conversión a GeoJSON fue posible representar de la manera más efectiva la ruta de menor coste sobre el mapa. El *script* transforma la geometría de la ruta de menor coste de formato ArcGIS a GeoJSON y la envía al cliente, donde es recogida por OpenLayers y dibujada en el navegador para que el usuario pueda visualizarla.

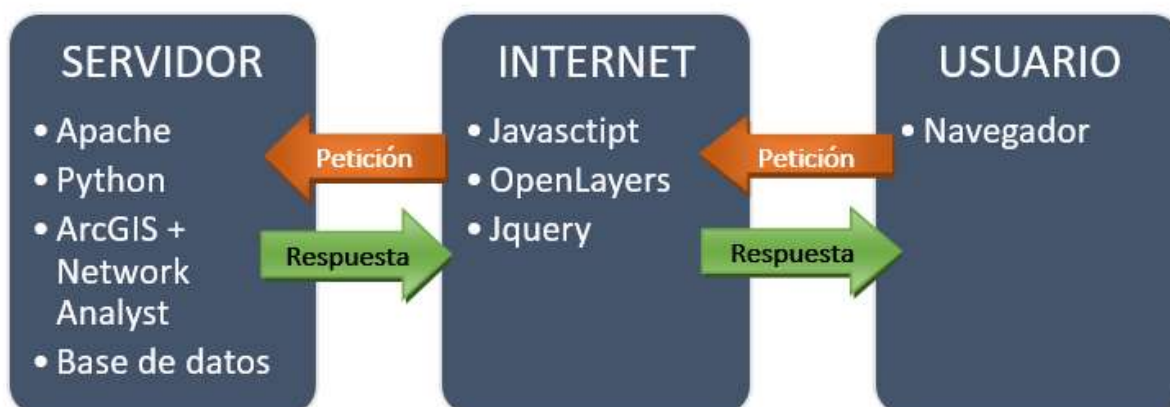


Figura 3. Diagrama de bloques de la aplicación. Fuente: elaboración propia.

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El resultado que se obtiene con esta herramienta es la representación gráfica de la ruta de menor coste junto con la información del coste que supone esta ruta en formato de texto. El valor numérico del coste según el modelo matemático COPERT se obtiene en gramos de combustible consumidos. Para tener una medida del consumo en una unidad más conocida, se pensó en transformar el consumo de combustible a litros. Esta transformación es inmediata teniendo en cuenta que el gasoil tiene una densidad de 0.84 kg/l. A continuación, se presenta como ejemplo el resultado de una ruta existente en la zona de estudio.

El primer paso por parte del usuario es introducir la referencia catastral de la parcela de origen (Figura 2). A partir de una referencia catastral arbitraria, siempre y cuando se encuentre dentro la zona de estudio (por ejemplo "23065A00200262") la aplicación obtendrá la ruta de menor coste a una de las almazaras almacenadas en la capa de puntos correspondiente. Así introduciendo dicha referencia catastral, el servidor

devuelve la representación gráfica de la ruta de menor coste a una almazara de la zona, así como el coste que supone recorrerla.

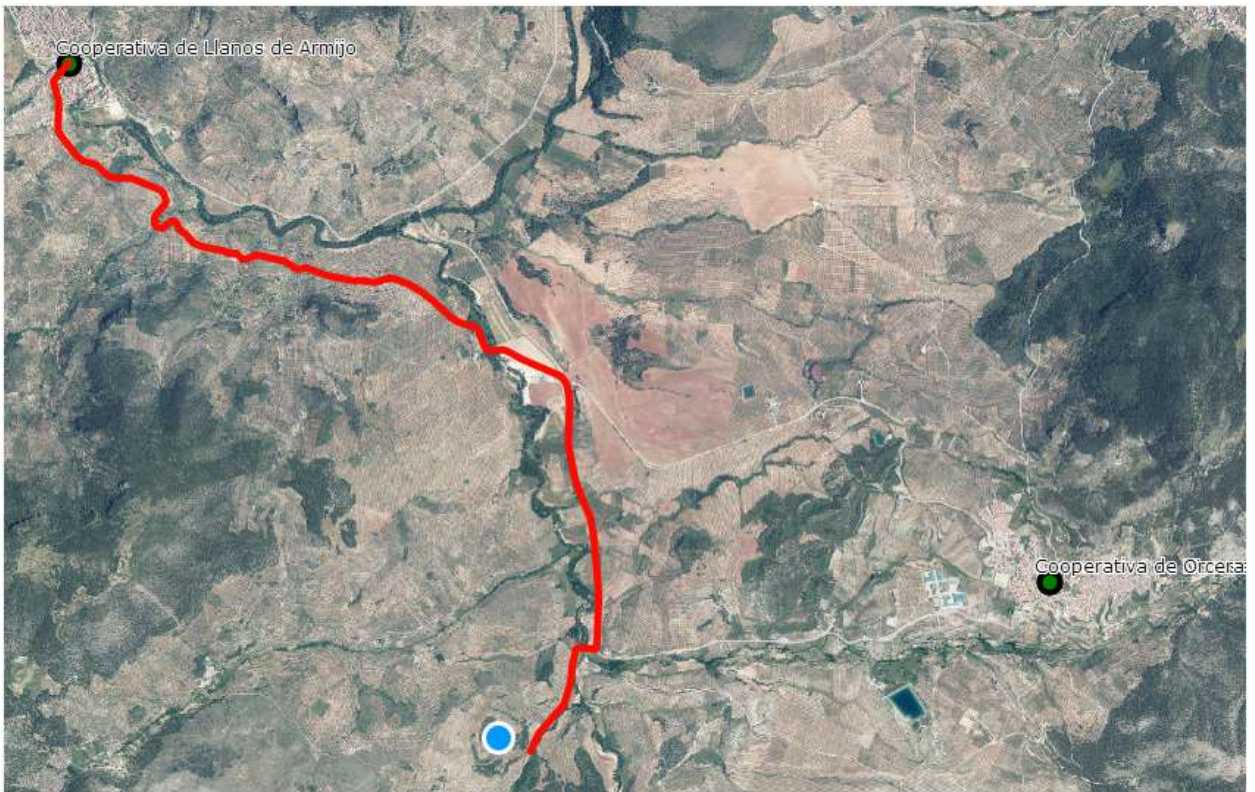


Figura 4. Ruta de menor coste entre dos puntos. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4 se aprecia el recorrido de la ruta desde la parcela catastral hasta una almazara de la zona localizada en una población cercana a 7.1 km. Se observa la alineación exacta entre la capa de carreteras y la ortofoto usada como fondo ya que en todo momento la ruta recorre las carreteras presentes en la imagen aérea. Se comprueba asimismo como el modelo matemático se aplica correctamente, puesto que la ruta tomada como ejemplo, acaba en una almazara de la zona, discurriendo por zonas muy llanas sin grandes pendientes que aumenten el consumo de carburante. La validez del procedimiento se confirma si se tiene en cuenta la existencia de una almazara más cercana situada a 6km de distancia, pero que sin embargo, es necesario recorrer grandes pendientes que aumentan el consumo y que por tanto el análisis ha descartado.

Además de la ruta de coste mínimo, la herramienta devuelve un mensaje con el coste de combustible necesario para recorrerla. En este caso particular, la herramienta devuelve un consumo de 0.72 litros de gasoil, mientras que el consumo para llegar a la cooperativa más cercana espacialmente situada a 6 km que se ha citado anteriormente es de 0.96 l de gasoil según la aplicación.

Se corrobora por tanto, que los scripts, el servidor y la herramienta en su conjunto funcionan correctamente desde el punto de vista del cálculo de rutas con coste mínimo. El primer script devuelve las coordenadas del centroide de la parcela a partir de la referencia catastral indicada en el formulario. En segundo lugar, el script que calcula la ruta de mínimo coste devuelve una geometría con la ruta de mínimo coste junto con el consumo de carburante. Finalmente, el script que transforma la geometría de la ruta a formato GeoJSON también funciona al representarlo gráficamente en el mapa mediante la biblioteca OpenLayers.

6. CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio era realizar un geoportal web para el cálculo de rutas de coste mínimo en el transporte de la cosecha de la aceituna. Uno de los aspectos más importantes es crear a partir de este estudio una herramienta abierta a cualquier usuario conectado a Internet que quiera hacer uso de ella.

Se ha conseguido que el geoportal web interactúe con el usuario y con el SIG para realizar el cálculo de rutas. La automatización de esta interacción ha hecho de esta herramienta un mecanismo eficiente y automático, que devuelve los resultados adecuados y que está disponible en cualquier momento para los usuarios interesados.

Al analizarse los resultados obtenidos en el cálculo de rutas, se corrobora cómo el modelo matemático de consumo aplicado proporciona una solución correcta y factible para el usuario. En este punto hay que hacer constar que el factor pendiente de la vía es determinante en la obtención de la solución final para el usuario.

El interfaz del sitio web resulta agradable, cómodo y fácil de entender para el usuario, lo que supone que la herramienta puede ser utilizada por cualquier usuario, independientemente de sus conocimientos informáticos o técnicos.

Está previsto valorar la posibilidad de recopilar las rutas resultantes en la base de datos, junto con algunos datos de los usuarios, parcelas implicadas, fechas y horas de consulta, características de la propiedad a través de la referencia catastral, etc... Así, tras el funcionamiento del geoportal durante un periodo de tiempo, se podrían hacer trabajos de investigación muy interesantes, incluso minería de datos, para obtener conocimiento geográfico de la manera en que los oliveros usan la herramienta y planifican sus transportes, con resultados que podrían ser muy interesantes para la administración pública y los agentes sociales-económicos implicados.

Esta herramienta contribuye a conseguir unos de los objetivos más importantes para el agricultor, que es la obtención de mayores beneficios económicos o al menos, un menor gasto en los costes de producción. Teniendo en cuenta el ejemplo presentado en el punto 5, la utilización de esta herramienta por el agricultor supondría para este un ahorro de aproximadamente 200 ml de gasoil por transporte, lo que a final de una temporada de recolección puede llegar a suponer hasta 30 litros de gasoil ahorrados.

Por último, debe tenerse en cuenta, que cuanto mayor sea la distancia desde una parcela de recolección a cualquier almazara, debido a la desigual distribución de estas instalaciones, mayor será el coste en el transporte de la cosecha. Por tanto, la utilización de esta herramienta puede llegar a ser muy importante para el agricultor.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Basset, L. (2015). *Introduction to JavaScript Object Notation*. Sebastopol, O'Reilly.
- Dijkstra, E.W. (1956): "A note on two problems on in connexion with graphs", *Numerische Mathematik*, 1, pp. 269-271.
- European Commission (2000): "Directive 1999/96/EC of the European Parliament and of the Council", *Official Journal of the European Communities*, L44, pp. 1-155.
- Feng, J., Watanabe, T. (2015): "*Index and query methods in road networks*". Cham, Springer
- Ganning, J.P., Coffin, S.L., McCall, B. y Carson, K. (2014): "Goals, Challenges, and Capacity of Regional Data Portals in the United States: An Updated Understanding of Long-Standing Discussions", *Journal of Urban Technology*, 21, 4, pp. 125-139.
- Hazzard, E. (2011): *OpenLayers 2.10 beginner's guide*. Birmingham, Packt Publishing.
- Junta de Andalucía (2013). *Productos industriales: aceite de oliva*. <http://www.juntadeandalucia.es/>, 09/04/2016.
- Li F. y Klette R. (2011): "*Euclidean shortest paths. Exact or approximate algorithms*". London, Springer.
- Ntziachristos L., Samaras Z. (2000): "*COPERT III. Computer programme to calculate emissions from road transport*". Copenhagen, European Environment Agency.
- Perez, A.S. (2012): "*OpenLayers cookbook*". Birmingham, Packt Publishing.

Resch, B. y Zimmer, B. (2013): “User Experience Design in Professional Map-Based Geo-Portals”, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2, 4, pp. 1015–1037.

Tavares G., Zsigraiova Z., Semiao V. y Carvalho, M.G. (2009): “Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling”, *Waste Management*, 29, 3, pp. 1176–1185.

Villalba Cabello F., Becerra Benítez F. y Expósito Maestre E. (2014): “Aspectos socioeconómicos del aceite de oliva en Andalucía”.