

Trabajo Fin de Máster

FOTOINTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS SIG PARA EL
ESTUDIO DE LA DINÁMICA DE USOS DEL SUELO
Y EL CÁLCULO DE RUTAS DE SENDERISMO EN
EL TERRITORIO DE ARGOVEJO (LEÓN)

PHOTO-INTERPRETATION AND GIS ANALYSIS
FOR LAND USE DYNAMICS ASSESSMENT AND
TREKKING ROUTES DESIGN IN ARGOVEJO
(LEÓN)

Autor

Francisco Fernández Tejerina

Director

Juan de la Riva Fernández

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

2017

TRABAJO FIN DE MÁSTER

FOTOINTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS SIG PARA EL ESTUDIO DE LA DINÁMICA DE USOS DEL SUELO Y EL CÁLCULO DE RUTAS DE SENDERISMO EN EL TERRITORIO DE ARGOVEJO (LEÓN)

Francisco Fernández Tejerina

Director: Juan Ramón de la Riva Fernández

Máster Universitario en

Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del territorio: sistemas de información geográfica y teledetección

Diciembre de 2017



Universidad
Zaragoza

**Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio**



Resumen

En este trabajo se aborda el análisis y cartografía de la evolución de los usos del suelo del territorio de Argovejo (León) en tres fechas diferentes (1956, 1977 y 2014) mediante análisis visual por fotointerpretación de imágenes fotográficas con ayuda de herramientas informáticas de edición. Se podrá observar cómo, en un periodo de tiempo relativamente corto, se han producido cambios drásticos ligados principalmente al éxodo rural, provocado por la baja rentabilidad de las tierras de cultivo y de la ganadería. Una vez que se ha concienciado a la población de este abandono, en el trabajo también se propone un proyecto para la construcción de una ruta de senderismo y mejorar de este modo la economía local. La ruta se ha calculado mediante herramientas de SIG (Sistemas de Información Geográfica), de tal manera que se ha obtenido el recorrido de menor coste de construcción, evitando las fuertes pendientes y los terrenos de densa vegetación. Además de este itinerario, se plantea la construcción de un chozo de montaña, en el que puedan dormir y comer los visitantes. Para dar una visión más real del recorrido, se presenta un vuelo en 3D del área de estudio.

Palabras Clave: Usos del suelo, fotointerpretación, SIG, ruta, turismo.

Abstract

In this work we intend to present the evolution of land use in the territory of Argovejo (León) on three different dates (1956, 1977 and 2014). It will be possible to observe how, in a relatively short period of time, very drastic changes have taken place, mainly linked to the rural exodus, caused by the low profitability of the arable land and livestock. Once the population has been made aware of this abandonment, in this work also proposes a project for the construction of a hiking route and thus improve the local economy. The route has been calculated using GIS (Geographic Information Systems) tools, in such a way that the route with the lowest construction cost has been obtained, avoiding steep slopes and dense vegetation. In addition to this itinerary, the construction of a mountain hut is proposed, in which visitors can sleep and eat. To give a more realistic view of the route, we present a flight in 3D.

Key Words: Ground uses, photointerpretation, GIS, route, tourism.

Índice

1.	Introducción	pág. 1
1.1.	Justificación	pág. 1
1.2.	Antecedentes	pág. 3
2.	Objetivos	pág. 4
2.1.	Objetivo principal.....	pág. 4
2.2.	Objetivos secundarios	pág. 4
3.	Materiales y métodos.....	pág. 5
3.1.	Área de estudio	pág. 6
3.2.	Fuentes de información	pág. 6
3.3.	Metodología	pág. 7
3.3.1.	Fotointerpretación y cartografía de los usos del suelo.....	pág. 7
3.3.2.	Cálculo de la ruta más óptima	pág. 12
3.3.3.	Localización más idónea para edificar un chozo	pág. 15
3.3.4.	Creación de la animación 3D	pág. 17
4.	Resultados y discusión.....	pág. 17
4.1.	Evolución de los usos del suelo de Argovejo	pág. 17
4.1.1.	Los usos del suelo en 1956	pág. 17
4.1.2.	Los usos del suelo en 1977	pág. 21
4.1.3.	Los usos del suelo en 2014	pág. 21
4.1.4.	Análisis comparativo	pág. 24
4.2.	Ruta óptima de bajo coste de construcción y animación 3D	pág. 24
5.	Conclusiones	pág. 30
6.	Referencias bibliográficas	pág. 32
7.	Anexo I.....	pág. 34
8.	Anexo II	pág. 39

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se va a estudiar, inicialmente, la evolución que han experimentado los usos del suelo de Argovejo desde mediados del siglo XX hasta la actualidad. Antes de continuar, se debe especificar qué se entiende por “uso del suelo”: “las acciones, actividades e intervenciones que las personas realizan sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla” (FAO/UNEP, 1999); por otra parte, el término uso del suelo es utilizado a menudo para referir a los distintos tipos de ocupación de la tierra, habitualmente mediante zonificaciones, es decir, en relación con el tipo de vegetación que predomina. De esta manera, nosotros entendemos por uso del suelo una combinación entre ambas definiciones, en la que nos regiremos de acuerdo a la primera descripción a la hora de cartografiar las tierras de cultivo y el núcleo de población, usos del suelo que son utilizados directamente por los habitantes; por otro lado, nos referimos a la segunda definición a la hora de catalogar el resto de superficies, como la roca, la roca arbolada, la vegetación de ribera, los terrenos sin vegetación y los matorrales; además, existen otras categorías, más propiamente de uso-ocupación del uso, que hacen referencia a las dos descripciones planteadas anteriormente, como los pastos, los prados y los bosques, en los cuales, además de describirse por el tipo de vegetación, también son superficies en las que se puede desarrollar un uso del suelo ganadero y forestal, respectivamente.

Para realizar una correcta evolución de los usos del suelo de Argovejo, nos hemos ayudado de imágenes satelitales y de las imágenes tomadas en los vuelos americanos de 1956 y 1977, además de la ortofotografía del PNOA de máxima actualidad. Mediante la herramienta de ArcGIS se han editado sobre cada imagen los tipos de usos de suelo que se han observado, utilizando una leyenda similar a la del SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España).

Otra parte del trabajo consistirá en el diseño de una ruta circular de senderismo, que se ha calculado a partir de herramientas SIG, teniendo en cuenta la pendiente y la ocupación-uso del territorio calculada previamente en la cartografía de usos del suelo de 2014. De esta manera, hemos obtenido como resultado un recorrido óptimo y de bajo coste a la hora de construir. Una vez que se ha calculado el itinerario a seguir, hemos elaborado una cartografía en la que también se muestran aspectos esenciales del recorrido como la dificultad, la época recomendada para realizarla, el perfil topográfico, etc.

También añadiremos a la cartografía de las rutas un vuelo 3D y la ubicación más idónea para construir un chozo. En este punto, consideramos importante definir la palabra “chozo”, que aunque puede parecer obvio su significado, dependiendo de la zona, recibe un nombre u otro. Teniendo en cuenta la definición impuesta por la RAE (Real Academia Española), un chozo es una “cabaña pequeña”, definida como “construcción rústica pequeña, de materiales pobres, destinada a refugio o vivienda”. Nosotros queremos profundizar en la definición y entendemos que un chozo es una cabaña, ubicada en la montaña, que antiguamente era utilizada por los pastores a modo de vivienda, pero que en la actualidad tiene finalidad turística y busca proporcionar refugio a quien lo necesite, sin llegar a ser habitado.

1.1. Justificación

Consideramos que se trata de un trabajo muy interesante, especialmente porque nos permite comprender cómo era la vida en los pueblos hace 60 años. Nos hace darnos cuenta y reflexionar sobre la situación en la que vivían nuestros antepasados. Se pone en evidencia la gran transformación que han sufrido los usos del suelo en la montaña oriental leonesa, en nuestro caso, en Argovejo.

A través de este trabajo queremos establecer una crítica y ayudar a mejorar la economía local con la creación de rutas de senderismo. Se pretende hacerles llegar a los lectores, especialmente a los mandatarios de los ayuntamientos que, aunque la ganadería y la agricultura ya no son rentables y no sirven de sustento a las familias, a través de la construcción de rutas de senderismo se pueden aprovechar los recursos naturales y crear de este modo puestos de trabajo directos, como guías turísticos, e indirectos, como los ligados a la hostelería. También puede servir como modelo para el resto de pueblos de la zona y conseguir de esta manera poner en valor los recursos turísticos de toda la montaña.

Este trabajo también es de gran utilidad para poder desarrollar el proyecto. Una vez que conocemos la ocupación de los usos del suelo en la actualidad es más sencillo poder trazar una ruta de senderismo por un lugar descampado y sin obstáculos frente a un lugar de frondosa vegetación o roquedo. Gracias a las herramientas SIG podemos crear el proyecto de una ruta que no pase por un terreno de gran pendiente ni densa vegetación, para que el proceso de abrir la senda sea el de menor coste posible.

Otra razón que justifica la elaboración de esta ruta de senderismo es dar a conocer el espectacular paisaje de Argovejo, haciendo especial mención de lugares por los que pasa la ruta y que hemos catalogado como puntos de interés turístico:

- Campera de Los Janos: Pequeña pradera, situada a la falda del Pico Jano (1.812 m) y desde la que se tienen unas vistas espectaculares del Embalse de Riaño y de Picos de Europa.

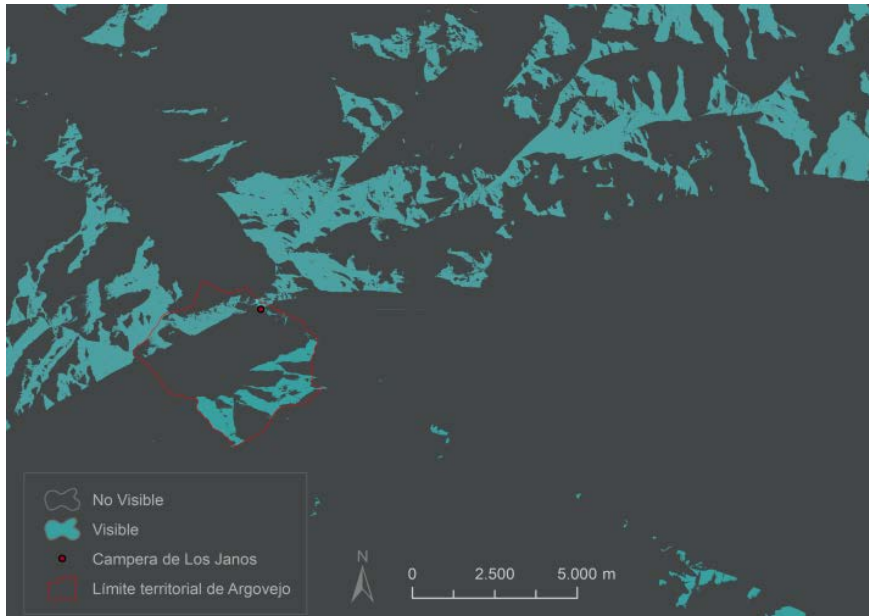


Figura 1. Visibilidad desde La Campera de Los Janos.

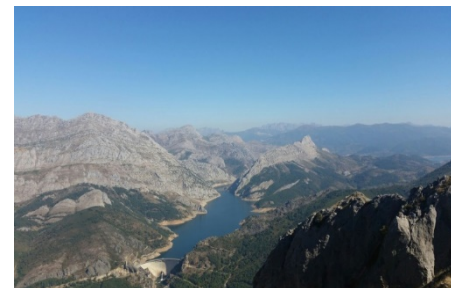


Figura 2. Vistas reales de la figura 1, en dirección norte.

- Tejos de Acebedo: Ejemplares milenarios de tejo (*Taxus baccata*), que destacan por su autenticidad y rareza, ya que son muy difíciles de ver en la montaña oriental leonesa.



Figura 3. Tejo de Acebedo.

- Nacimiento del río: Paraje situado en pleno hayedo, que merece ser visitado por su fácil acceso y fastuosa estampa que conforman la unión de las hayas y del río.



Figura 4. Nacimiento del río de Argovejo en otoño.

- El Pilón: Se trata de una gran pared, con forma de letra “V”, en cuyo vértice el agua ha erosionado la roca formando una pequeña hendidura. Es un lugar de alto interés geológico al tratarse de una adaptación de un valle de escorrentía a través de un sinclinal.



Figura 5. Vista de El Pilón.

1.2. Antecedentes

En cuanto a autores que hayan investigado y estudiado la evolución de los usos del suelo de Argovejo, poca cosa se puede añadir debido a que es un pueblo aislado del que nunca anteriormente se ha realizado un estudio en profundidad. Sí es verdad que podemos encontrar estudios menos específicos y con menor detalle que recogen información de los usos del suelo de toda España. Es el caso de los elaborados por el SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España), que aunque sus mapas no sean válidos para nuestro estudio, nos inspiramos en su leyenda de los usos del suelo construida en función del tipo de vegetación predominante.

También encontramos trabajos similares, en cuanto a los usos del suelo se refiere, en los realizados en el proyecto CLC - Corine Land Cover (IGN, 2012), que conforma una base de datos numéricos y geográficos de las coberturas y de los usos del territorio europeo. Sin embargo, la escala de trabajo CLC es 1:100.000, por lo que consideramos que no muestra el detalle que deseamos para nuestro trabajo y solo nos ha servido como mera orientación a la hora de catalogar las superficies.

Otro referente que se puede mencionar es el Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, en cuyo visor SIGPAC (Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas), (MAPAMA, 2017) no solo nos hemos apoyado para cartografiar las parcelas de cultivos, sino que también nos ha sido de gran ayuda para delimitar los usos del suelo forestal.

La idea de estructurar y separar los resultados en períodos históricos se ha inspirado en un libro de

Lasanta Martínez (1990), en el que se estudian los cambios de uso del suelo en las montañas de España. También han servido de ayuda a la hora de redactar los resultados, otras publicaciones que aluden a estudios de otras regiones y que, aunque no describan los usos del suelo de Argovejo, su estructura y contenido refieren a territorios con características similares (Agudo, 2004; García, 1999).

Respecto a trabajos en los que se calculan rutas con el menor costo posible, a partir de la cobertura vegetal y de las pendientes, sí existen estudios. Pero estos trabajos son de rutas de otros lugares, y del territorio de Argovejo nunca anteriormente se habían utilizado las herramientas SIG para calcular el recorrido de una senda, ya que únicamente hay una ruta señalizada (PR-Puerto de Tejedo) y su itinerario transcurre por una vereda que existía mucho antes de que se desarrollaran estas tecnologías.

Para la idea de encontrar la ubicación más idónea en la que construir un chozo de montaña a partir del mapa de los usos del suelo, al igual que lo sucedido con la ruta, tampoco existen precedentes de utilizar Sistemas de Información Geográfica para buscar dicho emplazamiento. Pero sí que se ha utilizado una metodología similar para otros proyectos, como por ejemplo, para buscar el emplazamiento idóneo de vertederos en la Comunidad Foral de Navarra. En nuestro caso, nos hemos ayudado de la asignatura “Análisis Espacial Ráster”, cursada en el presente máster, en la que resolvimos ejercicios en los que se planteaba la construcción de infraestructuras atendiendo a criterios como la pendiente, el tipo de cubierta y las áreas que más insolación recibían.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo principal

El territorio de Argovejo ha cambiado muy drásticamente en las últimas décadas, pasando de un terreno útil y provechoso, a uno de desuso y abandono, para el que se deben buscar alternativas que contribuyan a generar puestos de trabajo y permitan su recuperación demográfica.

La realización de este trabajo, que tiene un claro propósito académico, tiene por objetivo analizar cartográficamente la dinámica de los usos del suelo de Argovejo desde 1956 hasta la actualidad. Íntimamente unido a ello, se persigue dar a conocer esta evolución en el uso-ocupación del suelo a todos los lectores, especialmente a la población de la montaña oriental leonesa, la idea de que, aunque en Argovejo y alrededores la ganadería y la agricultura ya no son rentables ni un medio de vida viable, existen otras alternativas como el turismo.

En este sentido último, se persigue también en este trabajo el objetivo de diseñar de una ruta circular de senderismo con la que, de hacerse realidad, no solo buscamos dar a conocer los lugares de mayor interés del territorio estudiado, sino que también tratamos de mejorar la economía local con la creación de puestos de trabajo, tanto de forma directa con empleos de guías turísticos, como indirectamente, a través de la mejora de la hostelería.

2.2. Objetivos secundarios

- Dar a conocer cómo ha evolucionado el territorio de Argovejo en las últimas décadas
- Concienciar a los más jóvenes de que la vida en los pueblos no está perdida.
- Conocer los usos del suelo de Argovejo en la actualidad, con el fin de aprovechar dicha información para la prevención de incendios y para la construcción de caminos e infraestructuras.
- Servir de modelo a otros núcleos de población cercanos, con el fin de mejorar la economía de la zona.
- Dar a conocer el papel del geógrafo y mostrar la gran utilidad de las herramientas SIG, que permiten trazar rutas de senderismo con el menor coste de construcción posible.
- Diseñar un recorrido turístico a través del cual se puedan visitar todos los lugares de mayor interés paisajístico y ambiental del área de estudio.
- Planificar la ubicación de un refugio en la montaña, que evite, a turistas y a la población local, tener que dormir al aire libre y sirva como escala a la hora de realizar rutas.
- Mostrar la utilidad y el realismo que proporciona una visualización 3D.

De esta manera, trabajaremos sobre un área de 1.696 ha, que queda delimitada en el Noroeste por el Río Esla; al Norte por la Peña de Los Janos, compartiendo terrenos de servidumbres con las Salas; al Noreste Pico Los Caballos; al Este los Zarapicos y Peña Blanca, dando vista para el pueblo de Remolina; en el Sureste el área está delimitada por Pico Cerroso, que da vista para Ocejo de La Peña; al Sur, Peña Rionda y Pico Moro (Peña de Aleje); al Suroeste Pico Aguasalio, pico de Argovejo que linda con Villayandre; y por el Oeste, el Pilón.

Se trata de una demarcación sitiada en una zona montañosa con cotas comprendidas entre los 1000 y 1838 m de altitud, de relieves abruptos en su mayor parte. La roca predominante es la caliza, muy fácil de diferenciar por tener un color grisáceo y una cumbre menos erosionada que el resto de unidades. Una característica de estas montañas es la abundancia de pedregales que encontramos en las faldas de dichos relieves. Además de las montañas, que se disponen en forma de corona actuando como límite natural, dentro de la demarcación también encontramos pequeños valles originados por el paso del río Achín, que se alternan con los bosques. Las formaciones vegetales arbóreas predominantes en Argovejo son muy variadas, pero debemos mencionar las que mayor importancia tienen en cuanto a ocupación se refiere, tales como el haya (*Fagus sylvatica*), propicio de la umbría, el roble albar (*Quercus petrae*) y el roble común (*Quercus robur*) en la solana. También destacan árboles como argümenos (*Sorbus aucuparia*), abedules (*Betula pendula*) y encinas (*Quercus ilex*), y los enebros (*Junipers thurifera*). Para catalogar estas especies, nos hemos ayudado de un libro (Oria de Rueda y Díez, 2008) en el que se recogen las formaciones vegetales de Castilla y León.

La unidad más representativa del área de estudio y que da nombre al territorio es el núcleo de población, situado en la zona central, en un valle de los mencionados previamente. Al igual que el resto de pueblos de la montaña leonesa, Argovejo ha visto cómo en las últimas décadas su población ha disminuido considerablemente. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2016), en 2016 Argovejo tenía una población de 56 habitantes, muy lejos de los más de 200 que habitaban en el pueblo en el siglo pasado; que como se podrá observar posteriormente en la evolución de los usos del suelo, la población, tanto de manera directa como indirecta, es el principal factor de los cambios producidos.

3.2. Fuentes de información

Para poder realizar la evolución de los usos del suelo se ha necesitado una cartografía base de cada año estudiado, sobre la que después se han editado las diferentes categorías de ocupación.

Para el año 1956 hemos precisado de la imagen CyL_1956_125cm_etr89_pan_hu30_h50_0105, del 20 de mayo, tomada en el Vuelo General de España de 1956, conocido coloquialmente como “Vuelo Americano del 56”, que fueron los primeros vuelos completos con fotografías aéreas y llevados a cabo por el Ejército del Aire de España y la Fuerza Aérea de Estados Unidos entre 1956 y 1957. Dicha imagen ha sido descargada del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL, 2014). También hemos descargado de esta página los siguientes fotogramas individuales, ya que a diferencia del mosaico, están sin georreferenciar y su resolución es mayor:

- CHD_1957_hu30_H50_0105_fot_07A-43313_W.tif.
- CHD_1957_hu30_H50_0105_fot_07A-43314_W.tif.
- CHD_1957_hu30_H50_0105_fot_08A-43189_E.tif.
- CHD_1957_hu30_H50_0105_fot_08A-43191_E.tif.

La base cartográfica utilizada para el año 1977 (ITACyL, 2012-13), al igual que la imagen de 1956, se ha descargado del ITACyL y fue tomada en el vuelo americano del 77. Hemos utilizado 4 ortofotos:

- IRyDA_1977-83_50cm_OF_pan-etr8_hu30_H10_0105_1-2
- IRyDA_1977-83_50cm_OF_pan-etr8_hu30_H10_0105_1-3
- IRyDA_1977-83_50cm_OF_pan-etr8_hu30_H10_0105_2-2
- IRyDA_1977-83_50cm_OF_pan-etr8_hu30_H10_0105_2-3

Para el año 2014, han sido necesarios varios tipos de información. Por un lado, se ha utilizado la ortofotografía del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, IGN, 2004) de máxima actualidad, correspondiente a mayo de 2014. La imagen se ha descargado de IGN (2014):

- PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30_h50_0105.ecw

Por otra parte, también hemos considerado oportuno trabajar con imágenes satelitales, de modo que, desde el servicio USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS, 2017), se han descargado dos imágenes del Landsat-8:

- Imagen del 15 de mayo de 2014 (LC08_L1TP_203030_20140515_20170422_01_T1)
 - LC08_L1TP_203030_20140515_20170422_01_T1_sr_aerosol
 - LC08_L1TP_203030_20140515_20170422_01_T1_sr_band1
 - LC08_L1TP_203030_20140515_20170422_01_T1_sr_band2
 - LC08_L1TP_203030_20140515_20170422_01_T1_sr_band3
 - LC08_L1TP_203030_20140515_20170422_01_T1_sr_band4
 - LC08_L1TP_203030_20140515_20170422_01_T1_sr_band5
 - LC08_L1TP_203030_20140515_20170422_01_T1_sr_band6
 - LC08_L1TP_203030_20140515_20170422_01_T1_sr_band7
- Imagen del 3 de enero de 2015 (LC08_L1TP_202030_20150103_20170415_01_T1)
 - LC08_L1TP_203030_20150103_20170415_01_T1_sr_aerosol
 - LC08_L1TP_203030_20150103_20170415_01_T1_sr_band1
 - LC08_L1TP_203030_20150103_20170415_01_T1_sr_band2
 - LC08_L1TP_203030_20150103_20170415_01_T1_sr_band3
 - LC08_L1TP_203030_20150103_20170415_01_T1_sr_band4
 - LC08_L1TP_203030_20150103_20170415_01_T1_sr_band5
 - LC08_L1TP_203030_20150103_20170415_01_T1_sr_band6
 - LC08_L1TP_203030_20150103_20170415_01_T1_sr_band7

A mayores de estas imágenes, se han utilizado visores online, como IBERPIX (2017), Google Earth (2017) y Corine Land Cover (CLC, 2012).

También se ha trabajado con las direcciones y servicios WMS (Warehouse Management System) del Catastro (MHFP, 2016) y del SIGPAC (MAPAMA, 2017), que se han cargado desde ArcGis con la finalidad de ayudar en el proceso de fotointerpretación y cuyos enlaces, recogidos en el apartado de bibliografía, se han obtenido de la página del Ministerio de Hacienda y Función Pública del Gobierno de España y del MAPAMA, respectivamente.

Además, ha sido de gran ayuda y necesidad el MDT05_105, (Modelo Digital del Terreno), que hemos descargado de (IGN, 2015). Se ha elegido este modelo digital de elevaciones debido a que, al ser el de menor escala, es el que más detalle presentaba del área de estudio.

Toda esta información, ha sido trabajada y manipulada por los siguientes programas: ArcGis 10.3, ArcCatalog, ArcScene y Adobe Illustrator.

3.3. Metodología

3.3.1. Fotointerpretación y cartografía de los usos del suelo de Argovejo.

En primer lugar, debido a la complejidad y dificultad que supone entender todos los pasos que se han seguido para llegar al resultado de evolución de los usos del suelo de Argovejo, en el Anexo 1, se adjunta un esquema (Figura 39) en el que se recogen los principales procesos realizados.

El primer paso llevado a cabo en la elaboración del trabajo ha sido descargar las imágenes necesarias. Como nuestro objetivo era realizar un estudio de la evolución de los usos del suelo, debíamos conseguir imágenes de diferente fecha en el tiempo, por lo que hemos optado por las fotografías aéreas

del Vuelo Americano de 1956 y 1977 y la ortofotografía del PNOA 2014, citadas anteriormente. También hemos descargado imágenes satelitales de Landsat-8, a las que le hemos tenido que aplicar la herramienta “Composite Bands” para unir todas las bandas en una sola imagen. En cuanto a la elección de la fecha de las imágenes satelitales, buscamos aquellas que se acercaran a la época en la que se capturó la ortofotografía del PNOA de 2014 y, al mismo tiempo, estas imágenes no podían tener nubes ni ruidos que entorpecieran la fotointerpretación. De esta manera, descargamos la imagen del 15 de mayo de 2014. Además, se consideró oportuno descargar una imagen perteneciente a una época del año opuesta, para poder realizar un estudio temporal de la fenología, comparando un mismo punto en fechas diferentes. Estos requisitos los cumplía la imagen del 3 de enero de 2015.

Al visualizar la fotografía aérea del Vuelo del 56 observamos que se trataba de un mosaico de varias imágenes y que, en la parte donde existía la unión de los fotogramas, la resolución perdía nitidez. Para poder manejar mejor estas fotografías aéreas, realizamos un “clip” para reducir el tamaño y para poder estudiar la sección en la que se producía el desenfoque, nos ayudamos de las fotografías aéreas sin georreferenciar, que son las imágenes originales obtenidas directamente del avión y que, al no ser alteradas por ningún proceso, nos ofrecen una visión nítida.

Una vez cargada la ortofotografía del PNOA en ArcGIS, hemos dibujado con el editor el marco de trabajo. Seguidamente, al cargar la ortofoto del 56, nos encontramos con el primer problema debido a que no se superpone sobre las otras pese a que todas están supuestamente georreferenciadas y en el mismo sistema de coordenadas. Mediante la herramienta de “Georreferencing” y tomando como imagen de referencia el PNOA, hemos establecido puntos de control, clicando en primer lugar sobre la imagen a corregir y, en segundo lugar, sobre la tomada como referencia. Para conseguir un resultado idóneo y satisfactorio es importante que los puntos de control se ubiquen en lugares que no lleven a equívocos, tales como cruces de caminos y carreteras, y evitar aquellos puntos relacionados con ríos y vegetación, que, aunque puedan parecer muy claros, son elementos que cambian con el tiempo. También es importante la distribución de los puntos, siendo lo correcto repartirlos por el fotograma.

La corrección de la imagen se ha solucionado con un total de 66 puntos de control con el modelo de transformación “Spline”. Hemos elegido este sistema debido a la simplicidad de su construcción y exactitud de evaluación y porque es capaz de aproximar formas complejas mediante un ajuste de curvas; además, era el que mejor se ajustaba y menos error generaba.

Total RMS Error: Forward:0							
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y
<input checked="" type="checkbox"/>	52	328303,482427	4750242,216032	328436,176042	4750162,101923	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	53	327588,825040	4750707,335081	327672,754585	4750596,403104	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	54	326157,661647	4751723,957701	326166,787337	4751686,951639	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	55	325830,541826	4751662,853642	325806,494672	4751692,507900	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	56	326299,143752	4751266,845754	326345,108041	4751218,955703	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	57	327131,838179	4752301,094720	327113,322876	4752287,067527	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	58	326843,699924	4752495,194178	326798,706205	4752508,722657	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	59	326419,204654	4753031,852778	326433,408385	4752978,223414	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	60	326820,247945	4752125,831306	326805,889546	4752106,816463	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	61	328693,698086	4753951,650292	328826,656513	4753841,419446	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	62	328354,375929	4754666,684182	328470,879413	4754515,711420	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	63	328276,369252	4754330,053850	328451,119408	4754175,939438	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	64	327248,934770	4754479,004253	327242,987599	4754481,692550	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	65	327706,928089	4753927,791358	327653,489462	4753861,463879	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	66	328168,750956	4752984,840305	328307,916038	4752961,122036	0	0

Figura 7. Tabla de puntos de control.

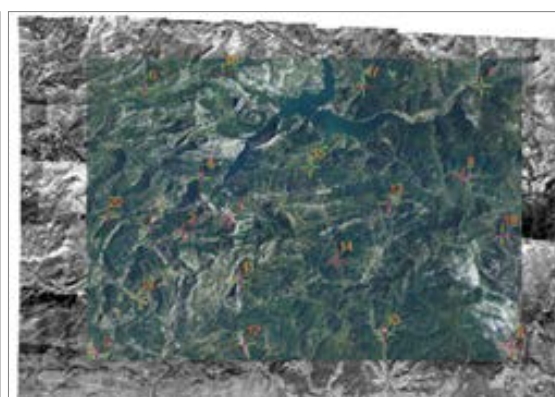


Figura 8. Puntos de georreferenciación.

Con las imágenes ya ortorectificadas hemos procedido a editar los usos del suelo de cada año. Desde ArcCatalog hemos creado una geodatabase (Usos_Suelo) y un *feature class* para cada año estudiado, en las que hemos incorporado las mismas capas para todas con el fin de poder observar la evolución.

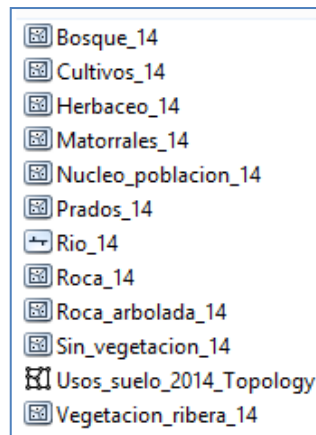


Figura 9. Capas creadas para los usos del suelo de 2014.

La leyenda se ha elaborado tomando como referencia la existente para el SIOSE (IGN, 2012) y adaptándola a las necesidades que nos ha planteado el estudio, obteniendo como resultado lo siguiente:

- Bosque: Pertenecen a esta categoría todas aquellas áreas del territorio en las que la vegetación predominante son árboles.
- Terreno herbáceo (Pastos): Ambientes naturales en los que predomina la vegetación herbácea.
- Prados: Terrenos herbáceos, que son regados y segados para obtener pastos para el ganado.
- Matorrales: En esta categoría incluimos todas aquellas formaciones vegetales leñosas que no sean árboles, desde las especies que crecen a nivel superficial, como las sabinas rastreras (*Juniperus Sabina*), y las plantas intermedias como los brezos (*Erica arborea*) y las escobas (*Cytisus scoparius*), hasta ejemplares que alcanzan alturas de más de 2 m, como los piornos (*Cytisus oromediterraneus*), entre otras.
- Roca arbolada: Unidad en la que se alternan rocas y árboles con una tendencia dispersa.
- Roca: Terrenos ocupados por materiales sólidos compuestos de uno o más minerales en los que las formaciones vegetales son prácticamente inexistentes. Coinciden con las partes más elevadas del área de estudio.
- Vegetación de ribera: Pequeñas unidades formadas por árboles que crecen en las orillas de los cauces y otras zonas de elevada humedad.
- Tierras de cultivo: Terrenos que han sido objeto de siembra y de los que se espera obtener un beneficio.
- Sin vegetación: Como su propio nombre indica, son aquellos terrenos, que no son roca pero que tampoco albergan ningún tipo de vegetación, sino que están ocupados por tierra descubierta, arenas o improductivos.
- Núcleo de población: Conjunto de al menos diez edificaciones que estén formando calles, plazas y otras vías urbanas (INE, 2017).
- Río: Elemento que apenas ocupa superficie y que no se ha tenido en cuenta a la hora de calcular las estadísticas, pero que hemos considerado oportuno cartografiar para tomar dicha capa como elemento de referencia.
- Límite de Argovejo: Marco de trabajo, que delimita el territorio de Argovejo.

Los diferentes usos del suelo se han cartografiado desde ArcGIS 10.3, con la herramienta del “editor”. Hemos comenzado por la imagen más reciente, debido a que es la de mayor calidad y fiabilidad y nos ha servido para averiguar, por descarte, el tipo de ocupación que había en alguna sección de las imágenes del Vuelo Americano. También decidimos editar primero los usos del suelo de la actualidad porque contábamos con las imágenes de satélite de Landsat 8 y, especialmente, por el buen conocimiento experto del área de trabajo. De tal manera, a la hora de editar los usos del suelo para el año 2014, nos guiamos en primer lugar y mayoritariamente, por dibujar cada una de las superficies que observábamos en la imagen colocada de fondo, atendiendo a criterios como el conocimiento de campo, el color, la textura, la forma y la época del año. Para fotointerpretar los años 1956 y 1977, al ser imágenes en blanco y negro, se han seguido criterios de brillo, contraste, textura, forma y localización. En segundo lugar, en menor medida, para catalogar los usos del suelo de 2014 nos apoyamos en in-

formación satelital, que nos permitió distinguir alguna superficie gracias a la combinación de bandas. Pero este sistema de distinción de superficies a través de la teledetección ha sido utilizado únicamente para áreas concretas de mayor tamaño, debido a que hemos preferido dar mayor peso a la fotointerpretación de fotogramas aéreos al tener un buen conocimiento del área de estudio.

Para el reconocimiento tuvimos en cuenta las pautas establecidas por Chuvieco (2008), que este autor representa en un sistema piramidal donde la base es el criterio temporal. Sin embargo, antes de esta norma hemos establecido, en la base de dicha pirámide el criterio de verdad terreno, lo que implica un conocimiento visual-personal del área estudiada.

El criterio temporal se valora gracias al análisis multitemporal, donde se analiza una misma cubierta en función de la radiancia-reflectividad o de su calendario fenológico. Para ello se debe conocer el calendario estacional de las especies siendo muy propio para la identificación de las variaciones agrícolas o forestales. En el nivel superior al expuesto anteriormente, equivalente al criterio espacial complejo, se localizan el patrón espacial, la localización y las sombras que se pueden observar en la imagen y su entorno; es decir, observando los elementos vecinos. El siguiente nivel en sentido ascendente es el criterio espacial simple que incluye la textura, el tamaño y la forma. La textura ayuda a identificar la heterogeneidad espacial, diferenciando la lisa y la rugosa. El nivel superior de la pirámide está ocupado por el criterio espectral, es decir, el tono, el brillo y el color. El primero se identifica gracias a la radiancia recibida por el sensor (ND), es decir, los tonos más oscuros indican las áreas que el sensor recibió una débil radiancia y los tonos más claros indican las áreas cuando aquella es más alta. El color, aplicando las combinaciones de bandas que hemos considerado necesarias, permite observar las variaciones cromáticas.

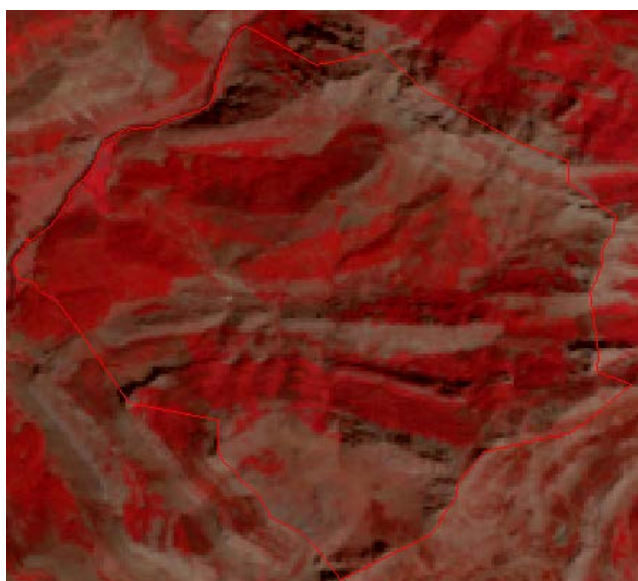


Figura 10. Imagen Landsat de mayo de 2014
(Combinación RGB 5-4-3)



Figura 11. Imagen Landsat de mayo de 2014
(Combinación RGB 7-4-1)

A todos estos criterios de clasificación explicados anteriormente, debemos añadir un minucioso y costoso trabajo de campo por el territorio estudiado. Se han llevado a cabo más de 15 jornadas de campo, a las que habría que sumar las realizadas previamente a la elección del proyecto. El trabajo de campo, en el que se ha aprovechado para fotografiar cada rincón, nos ha permitido distinguir con mayor facilidad los diferentes usos del suelo.

Una vez terminado el proceso de edición de cada tipo de cubierta, hemos eliminado aquellos polígonos cuyo umbral quedaba por debajo de lo establecido. Dicho con otras palabras más tecnicadas, calculamos la Unidad Mínima Cartografiada (UMC), que es la unidad más pequeña de superficie que puede ser delimitada en un mapa y que se calcula en función de la escala de trabajo que hayamos escogido. Tras haber presentado el mapa, el tamaño que más se ajustaba a nuestro propósito era la escala

de 1:20.000. Por lo tanto, de acuerdo a los cálculos realizados a partir de los 0,2 mm perceptibles al ojo humano y en un área mínima cartografiable de 4x4 mm (Velásquez et al, 2004), todos aquellos polígonos que eran inferiores o iguales a 6,4 (Tabla 2, Anexo I), 6.400 metros en nuestro caso, no eran percibidos y dificultaban la distinción por parte del usuario cuando se observaran en formato analógico, por lo que para lograr coherencia hemos optado por suprimirlos. Para ello, desde la tabla de atributos de cada capa, hemos acudido al campo de “SHAPE_Area”, que recoge en metros la superficie que ocupa cada polígono y que ha sido calculado automáticamente por ArcGIS. A continuación, mediante una selección por atributos, hemos realizado una consulta SQL con la expresión de la Figura 12.

```
SELECT * FROM Matorrales WHERE:
[SHAPE_Area] <=6.400
```

Figura 12. Expresión para calcular la UMC.

OBJECTID *	SHAPE *	SHAPE_Length	SHAPE_Area
211	Polygon	1,815958	0,087576
561	Polygon	9,342979	0,815749
444	Polygon	21,744747	0,858002
562	Polygon	13,965073	1,332736
445	Polygon	24,810411	1,346848
400	Polygon	13,283682	1,99305
446	Polygon	22,530943	2,288464
6	Polygon	12,114583	2,360818
447	Polygon	30,614313	2,532475
448	Polygon	34,08066	3,493455
449	Polygon	38,103671	4,615789
39	Polygon	32,406523	5,272409
29	Polygon	17,114556	5,384166
31	Polygon	20,37656	10,290352
28	Polygon	36,359623	10,714934

Figura 13. Polígonos seleccionados con la expresión.

Después eliminamos todos los polígonos seleccionados. Este proceso lo hemos repetido para cada capa hasta obtener los polígonos superiores a 6.400 m². En el siguiente paso realizado creamos una topología para cada año estudiado. Esta herramienta nos permitió encontrar las erratas originadas en el proceso de edición. A cada una de estas topologías se le aplicaron las siguientes normas:

- Must Not Overlap With: Muestra error cuando capas de diferente tipología se superponen.

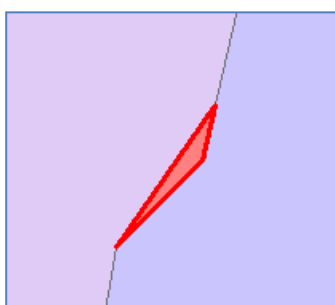


Figura 14. Error de superposición

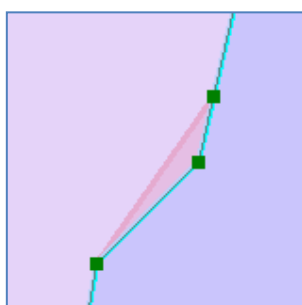


Figura 15. Proceso de corrección

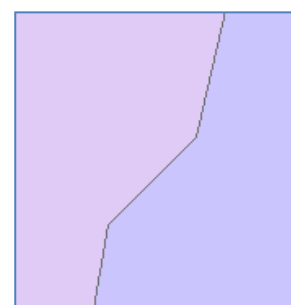


Figura 16. Error corregido

- Must not overlap: Regla que nos muestra como error aquellos polígonos en donde una capa se superpone sobre otra de su misma categoría. Esta herramienta nos ha permitido encontrar las erratas originadas en el proceso de edición.
- Must Not Have Gaps: Nos indica aquellas superficies en las que existen huecos porque no han sido cartografiadas.

Tras validar la topología y observar los errores, hemos corregido las erratas o bien con la herramienta del editor o marcando el fallo como excepción en aquellos casos en donde el error era prácticamente insignificante y no influía en el resultado.

Una vez aplicadas las normas topológicas obtuvimos diferentes resultados según la fecha de estudio. La causa principal de muchos de estos errores, de pequeña magnitud, se debía a que al trabajar con una escala de trabajo tan pequeña y cartografiar pequeñas áreas, al utilizar la función de repaso

automático del editor, muchos salientes no eran bordeados y se originaban errores de superposición. Para los usos del suelo de 2014 apenas cometimos errores en la edición (16 errores, 0 excepciones). La topología obtenida para la cartografía de 1977 nos informó de un total de 63 errores, 1 de los cuales marcados como excepción. A la hora de cartografiar los usos de 1956, se cometieron 87 errores, especialmente de superposición de capas, que aunque muchos de ellos no eran visibles a la escala de trabajo elegida para exportar el mapa, decidimos corregirlos para obtener el área de ocupación de cada tipología más exacta posible. Cinco de estos errores fueron marcados como excepción al no presentar ningún fallo.

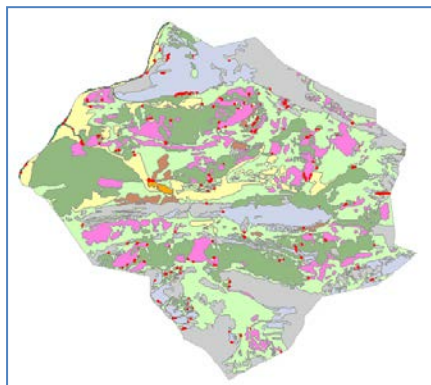


Figura 17. Topología de 1956

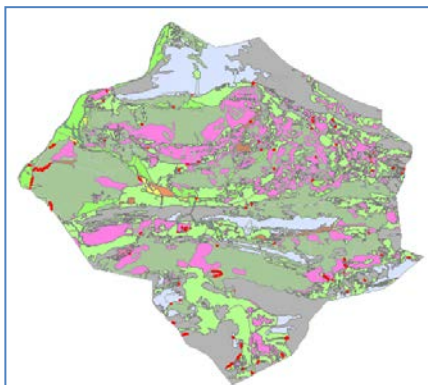


Figura 18. Topología de 1977

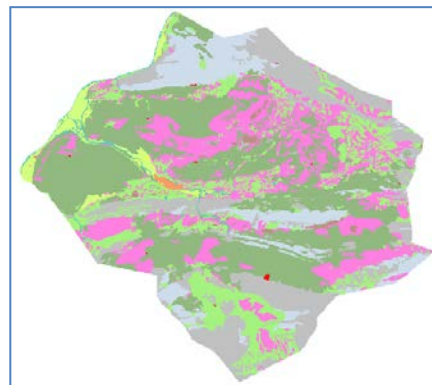


Figura 19. Topología de 2014

Con los polígonos ya corregidos, desde la tabla de atributos generamos las estadísticas y calculamos el área de cada una de las categorías de los usos del suelo. De este modo, se exportaron los resultados a un documento Excel, desde el cual se calcularon, por años, los totales y los porcentajes.

Antes de exportar los 3 mapas resultantes, hemos incorporado la toponimia más relevante del territorio con el objetivo de ayudar al lector en la localización y poder concretar mejor en la explicación. Finalmente, hemos añadido los elementos esenciales de un mapa, tales como el norte, la escala, la leyenda, las coordenadas geográficas, el título, el subtítulo y el *data frame* (marco de trabajo, de pequeño tamaño, en el que incluimos un mapa para facilitar al lector el área de localización).

Mediante el programa Adobe Illustrator hemos elaborado un mural, incluido en el apartado de resultados, en el que, además de las tres cartografías realizadas, hemos agregado gráficos, imágenes y textos.

3.3.2. Cálculo de la ruta más óptima

Finalizado el proceso de fotointerpretación de los usos del suelo de Argovejo, se procedió a calcular la ruta de senderismo. En primer lugar, se ha planteado el proyecto y las normativas por las que debía regirse el itinerario de la ruta, con el objetivo de construir un recorrido óptimo y que fuera lo más asequible posible a la hora de construir. Partimos de la lógica de que era más sencillo trazar el recorrido por lugares con poca pendiente y limpios de vegetación, que dificultara la señalización del recorrido, que no por zonas en cuesta y con densos follajes, en los que además de marcar el trazado a seguir, se debería incorporar maquinaria de desbroce.

Una vez planteado el ejercicio, pasamos a realizarlo desde el Model Builder con el objetivo de poder usarlo para otros proyectos (Figura 45, en Anexo II). Se han necesitado las siguientes capas:

- “MDT05-105”: Modelo Digital del Terreno correspondiente con el territorio de Argovejo.
- “Cobertura”: Capa que recoge los usos del suelo de 2014.
- “Puntos_interes”: Ubicación de los lugares de interés de la ruta.
- “Camino_Argovejo”: Capa creada para trazar el recorrido de la ruta por los caminos cuando existiera la posibilidad y reducir de esta manera el coste de construcción.

El primer paso fue descargar del IGN el MDT señalado previamente. Hemos elegido este modelo digital de elevaciones porque es el que más detalle presenta al ser el de menor escala. Después, con

ArcGIS y tomando como referencia la ortofotografía del PNOA de 2014, hemos situado los puntos de interés en el mapa. El siguiente paso ha sido calcular la pendiente, en grados. Para ello hemos utilizado la función de “Slope” del bloque de Spatial Analyst. Al resultado obtenido de hemos aplicado un “re-classify” para reclasificarlo en valores de acuerdo a los criterios establecidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 1982).

Tabla 1. Clasificación de pendientes según el IGAC.

Pendiente en %	Clasificación
0 - 3	Plana o ligeramente plana
3 - 7	Ligeramente plana y ligeramente ondulada
7 - 12	Ondulada, inclinada
12 - 25	Fuertemente inclinada, fuertemente ondulada
25 - 50	Fuertemente quebrada
50 - 75	Escarpada
> 75	Muy escarpada

Por otra parte, hemos realizado un “Merge” para recoger todos los usos del suelo del año 2014 en una sola tabla de atributos. El resultado se ha rasterizado, y junto con la capa de pendientes reclasificada anteriormente, se les ha aplicado la función “Weighted Overlay” con los siguientes criterios:

Raster	% Influence	Field	Scale Value
reclas_slope_porc	60	Value	
		0	1
		3	1
		7	2
		12	3
		25	5
		50	7
		75	NODATA
		NODATA	NODATA
cobertura_raster	40	Clase	
		Vegetación de ribe	1
		Bosque	1
		Matorrales	6
		Roca arbolada	4
		Herbaceo	1
		Prados	NODATA
		Cultivos	NODATA
		Pueblo	1
		Roca	9

Figura 20. Ponderaciones establecidas para calcular la ruta.

La influencia entre la pendiente y la cobertura del suelo se ha dividido en un porcentaje del 60% frente al 40%, otorgando mayor protagonismo a la primera debido a que hemos considerado que para marcar una senda en un territorio como el de Argovejo, de fuertes pendientes y desniveles, se debería dar un poco más de importancia a este criterio.

En cuanto a los subcriterios, en una escala del 1 al 9, se ha indicado la preferencia con la que se deseaba que pasara la ruta. Los valores cercanos a 1 son los más favorables, y los “no data” para aquellos por los que no debía pasar el itinerario.

En los valores de la pendiente reclasificados de acuerdo al IGAC, se ha asignado un peso mínimo de 1 a las pendientes inferiores al 7%. A partir de este valor, se han ido incrementando los valores hasta 7. Los valores reclasificados como porcentajes superiores al 75%, se han eliminado asignando “NODATA” con el objetivo de evitar que la ruta discurriera por dichas superficies.

Para la ponderación y asignación de pesos a las capas de la cobertura, hemos asignado valores de 1 a aquellas zonas por las que se podría trazar una ruta sin ningún inconveniente y su coste de construcción fuera bajo. Tales superficies son el terreno herbáceo y el pueblo, que no suponen un obstáculo a la hora de construir el itinerario. También hemos asignado valor 1 a la vegetación de ribera y a los bosques, que aunque en otras circunstancias podrían ser un inconveniente, ayudándonos del criterio de “verdad terreno” y conociendo bien el territorio, los bosques, al estar compuestos principalmente de robles y hayas maduros, especies dominantes que imposibilitan el desarrollo de especies de menor porte, constituyen un área que no dificulta el marcaje de la ruta. Además, aunque los bosques en algún

tramo por los que pase el diseño del recorrido presenten una zona de vegetación espesa que aumente el coste de construcción de la ruta, se ha decidido conservar este peso de 1 porque pese a que se eleve ligeramente la dificultad de marcar la senda, se ganaría en valor paisajístico, ya que la ruta no solo pasaría por terrenos herbáceos. Por su parte, la vegetación de ribera, tampoco supone un impedimento debido a que, en primer lugar, esta superficie apenas interviene en el recorrido al existir caminos ya construidos cerca del río en donde crece mayoritariamente este tipo de vegetación. En segundo lugar, el suelo se encuentra limpio porque sus principales formaciones son chopos que crecen separados entre sí. Además, construir una ruta por dichas superficies, puede ser una ventaja en el futuro a la hora de realizar el recorrido, puesto que el arbolado proporciona sombra a los caminantes.

Continuando con las ponderaciones, hemos asignado el valor máximo de 9 a la superficie de roca, para evitar en lo posible que la ruta pasara por esta categoría de ocupación. En cuanto a los matorrales, hemos considerado que habría que evitarlos siempre que se pudiera, pero que sí era necesario que la ruta pasara por ellos, solamente habría que desbrozar un pequeño sendero. Por eso le hemos asignado un valor medio alto de 6. Para la roca arbolada, el valor a ponderar es de 4, por ser una superficie intermedia entre bosque y roca.

Por último, las superficies ocupadas por cultivos y prados, constituyen un terreno por el que la construcción de una ruta no supondría un coste elevado. Sin embargo, al tratarse de propiedades privadas, se deben descartar asignándolas valor de “NODATA”.

Una vez obtenidas las ponderaciones, se procedió a calcular la ruta que supusiera el menor coste de construcción entre el punto de inicio y el primer punto de interés. Con las funciones “Cost Distance” y “Cost Back Link”, añadimos como input el punto de inicio de la ruta, y como coste la capa generada en el proceso anterior del “Weighted Overlay”, obteniendo en la primera función el área de la ruta de menor coste entre los dos puntos y para la segunda, obtuvimos como resultado la siguiente celda en el camino de menor coste.

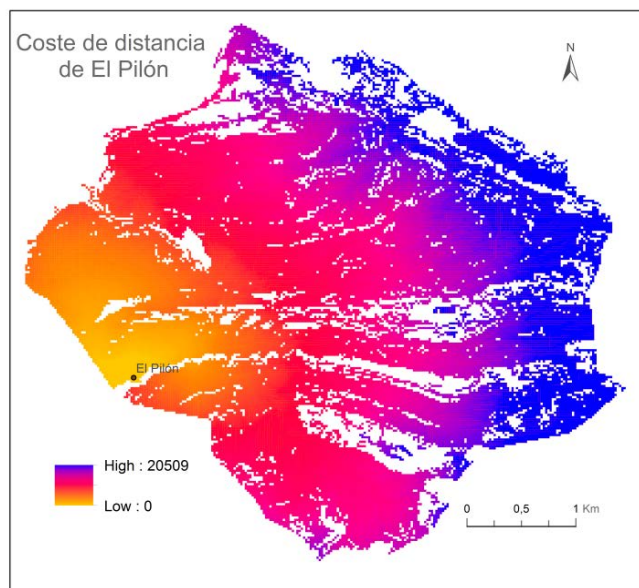


Figura 21. Cost Distance de El Pílon

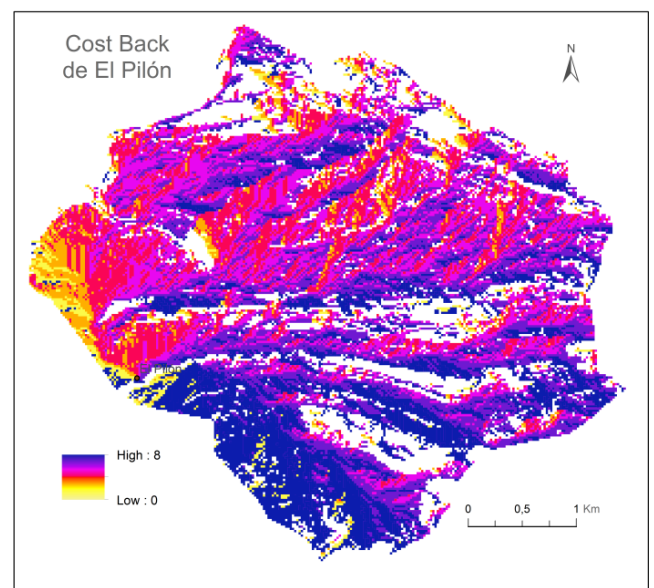


Figura 22. Cost Back Link de El Pílon

Después, con un “Cost Path”, añadiendo como *input* el punto de interés al que se debía dirigir la ruta y como costes las capas calculadas en los procesos previos, hemos obtenido el primer tramo de la ruta. Este proceso se ha repetido cambiando el *input* de entrada y el *output* de salida hasta obtener el recorrido completo.

Con el itinerario de la ruta completado, hemos convertido las rutas ráster en formato vectorial a través de un “Raster to Polyline”. Observando el resultado con la ortoimagen del PNOA de 2014 de fondo, nos hemos dado cuenta de que tanto el primer tramo de la ruta como el final, no discurrían por caminos ya establecidos. Esto se debe a que dichos caminos no fueron trazados por las zonas de menor

pendiente, pero como ya estaban realizados y nuestro objetivo era encontrar la ruta de menor coste de construcción, mediante el editor hemos adaptado el recorrido a los caminos ya creados.

Como uno de los objetivos del trabajo era crear una cartografía de rutas destinada principalmente al turista, hemos realizado un perfil topográfico del recorrido. Para ello, era necesario un TIN (Red de Triangulación Irregular). A su vez, para crear un TIN debíamos contar con capas que nos permitieran su construcción, como la capa de “Ríos.shp” editada en los usos del suelo o las curvas de nivel de 10 metros obtenidas con la función de “Surface”. Después, desde “Create Tin” y “Edit TIN” para incorporar los ríos y las isolíneas, se ha generado el modelo TIN (Figura 46, en Anexo II). Por otra parte, desde el bloque de “3d Analyst Tools” de ArcGis, hemos aplicado a las rutas un “Interpolate Shape” para darles un aspecto en 3d y ajustar el recorrido a un modelo digital de elevaciones, en nuestro caso, al TIN. Finalmente, con la herramienta de 3d Analyst y clicando sobre la ruta, hemos obtenido el perfil topográfico.

Seguidamente procedimos a calcular otros aspectos de suma importancia a la hora de crear una cartografía con fines turísticos, como la longitud, el desnivel y el tiempo necesario para superar el camino. La distancia se obtuvo desde las propiedades de la capa de la ruta generada, mientras que el desnivel se logró a partir del perfil topográfico. Para calcular el tiempo necesario en recorrer la ruta, nos ayudamos de los criterios establecidos por la FEDME (Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada), en los que se expone que la velocidad media a considerar debe ser de 4 km/hora, a lo que se debe añadir otra hora más cada 300 metros de desnivel. También nos informa de que si es una ruta de largo recorrido (más de 50 km), se deben añadir otros criterios, pero no es nuestro caso. Realizando una regla de tres indicando que si 4 km se hacían en 1 hora, 12,5 se realizarían en “X”, obtuvimos como resultado 3 horas y 10 minutos. A este resultado le sumamos las 2 horas y 10 minutos obtenidos de los 640 m de desnivel existentes, de tal manera que el tiempo estimado para recorrer la ruta sería de 5 horas y 20 minutos. Se debe señalar que esta indicación es aproximada y que debe tomarse como mera orientación, ya que resulta muy difícil calcular el tiempo exacto, porque dependiendo de la condición física de cada caminante el intervalo puede ser inferior o superior.

3.3.3. Localización más idónea para edificar un chozo

Una vez que conocimos cómo era la distribución de la cobertura de la superficie del territorio de Argovejo, procedimos a buscar la ubicación más aceptable para construir un chozo de montaña. Consideramos oportuno y de gran utilidad proponer, tanto a los turistas como a la población local, un alojamiento en plena naturaleza. Para ello, partimos del supuesto de que el chozo de montaña no podía ubicarse en pendientes superiores al 7%. Decidimos aplicar este límite de acuerdo al IGAC, que ha realizado trabajos con pendientes similares a las que presenta nuestro trabajo. Según el IGAC, las pendientes con porcentajes inferiores al 7% son planas o con una ligera ondulación, por lo que hemos considerado este umbral como un área idónea para construir la cabaña.

Otra restricción que impusimos fue que el chozo no podía ubicarse en una parcela privada, ya que se trata de una infraestructura pública, que debía ubicarse en terreno común. Tampoco era factible ni objetivo construir a menos de 1 km del pueblo, ya que uno de los objetivos era buscar un emplazamiento en plena naturaleza, y al construirlo en las inmediaciones del pueblo perdería interés y atractivo. Para facilitar su construcción, consideramos que debía ubicarse en un terreno herbáceo, con el fin de evitar las superficies de roca y las áreas de vegetación con porte leñoso, que significarían tener que desbrozar el terreno además de su construcción.

Otro requisito que consideramos fundamental es que el chozo debía ubicarse en una zona próxima a una fuente de agua potable, al menos en un radio de 350 m, ya que es un recurso fundamental para la práctica de ejercicio y necesario para cocinar. Por último, y teniendo en cuenta las constantes heladas que se producen en el territorio a lo largo del invierno, propusimos que debía instalarse en un lugar orientado al sol (E, SE, SW y S).

Para calcular el área de ubicación más idónea, al igual que para la obtención de las rutas de menor coste de construcción, se ha utilizado el Model Builder de ArcGis para facilitar el trabajo y poder utilizar el modelo para otros proyectos (Figura 47, en Anexo II).

Se han utilizado las siguientes capas:

- “Parcelas”: Capa que se corresponde con las tierras de cultivo de 1956 y que se ha obtenido a partir de la cartografía del Catastro.
- “Herbáceo” o “pastos”: Capa obtenida en el proceso de fotointerpretación de los usos del suelo de Argovejo de 2014.
- “Núcleo_población”: Pueblo de Argovejo editado al cartografiar los usos del suelo en 2014.
- “Marco”: Límite territorial de Argovejo.
- “Fuentes”: Capa que recoge la ubicación de los manantiales permanentes y de agua potable del territorio estudiado. Creada a partir de la ortofoto del PNOA de 2014 y conocimientos adquiridos en salidas de campo.
- “MDT05_105”: Modelo Digital del Terreno.

En primer lugar, realizamos un “erase” entre las parcelas y el marco de trabajo y obtuvimos toda el área de Argovejo que no es propiedad privada y en la que, en teoría, sin contar las demás normas impuestas, se podría edificar. Realizamos un clip entre la capa obtenida anteriormente “area_sin_parcelas” y “herbaceo” y obtuvimos “sinparcelas_herbaceo”. Después efectuamos un Buffer de 1000 m al núcleo de población y al resultado le aplicamos la función “erase” para quedarnos con el área válida. También se realizó un buffer de 350 m a la capa de “fuentes”.

Mediante la función de “intersect” se han cargado las 3 capas obtenidas en los procesos previos y se han obtenido las entidades que se superponían en todas las capas, siendo el resultado la capa denominada “inters_area_valida”. Le aplicamos la función “feature to raster” para rasterizarlo.

Por otra parte, hemos realizado un recorte del MDE05_105 con la herramienta “extract by mask” y quedarnos únicamente con el área de estudio. Acudimos a la función “slope” con la que se ha calculado la pendiente en porcentajes, y el resultado se ha reclasificado con un “reclassify” de acuerdo a los valores del IGAC. Se debe volver a reclasificar el resultado, y esta vez, se han dado valores de 1 a las pendientes inferiores o iguales al 7% y valores de *No Data* a las pendientes restantes.

Después se ha aplicado al MDE recortado la función de “aspect”, con la que se ha calculado la orientación de todas las pendientes. Pero como solo eran necesarias las más expuestas al sol, mediante un “reclassify” hemos reordenado los valores quedándonos únicamente con las orientaciones E, SE, S y SW.

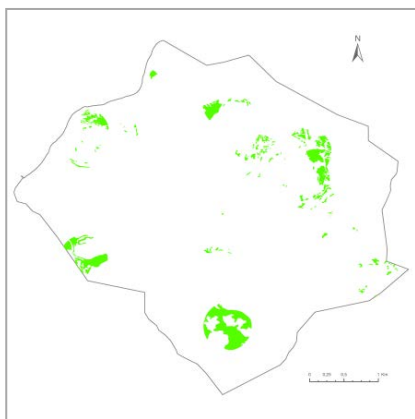


Figura 23. Área sin parcelas en terreno herbáceo y a >1 km del pueblo.

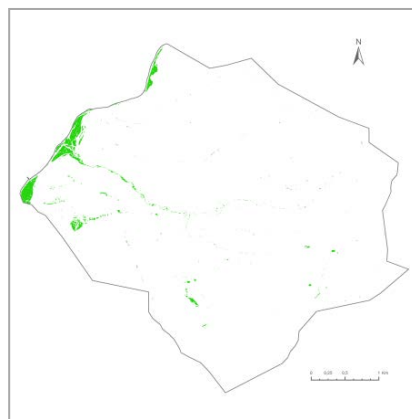


Figura 24. Pendientes válidas (inferiores al 7%).

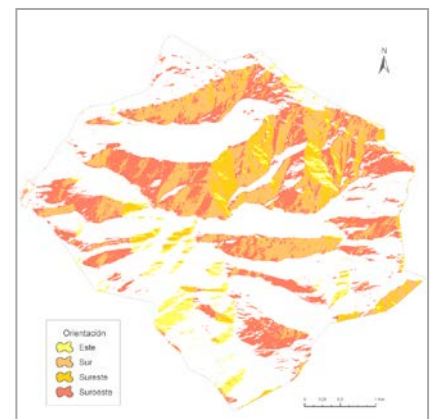


Figura 25. Orientaciones válidas.

Finalmente, para unir todos los requisitos se ha utilizado la calculadora ráster, en la que se han multiplicado todos los resultados de las áreas consideradas como óptimas para construir.

3.3.4. Creación de la animación 3D

Cargamos en ArcGis la ortofotografía del PNOA de 2014 y el MDE-05-0105 correspondientes al área de estudio. Añadimos las capas que queremos que aparezcan en la visualización 3D, tales como el recorrido de la ruta y la ubicación del chozo calculados en los procesos anteriores. Mediante la herramienta de “Interpolate shape”, transformamos las capas a 3 dimensiones tomando como referencia el modelo digital de elevaciones. Este proceso también lo hemos aplicado a otras capas (Montañeros, barca y caballos), que hemos creado para dar una visión más real al video.

Por otra parte, desde el módulo de ArcScene, programa con el que hemos realizado la visualización en 3D, añadimos el MDE y, en propiedades, hemos seleccionado la opción de “floating”. Desde “Rendering” activamos los efectos y jugamos con la barra del optimizador hasta que conseguimos el mejor resultado. En el apartado de “Display”, elegimos la convolución cúbica. Este proceso lo hemos vuelto a repetir con la imagen del PNOA, de tal forma que la ortofotografía se ha ajustado al modelo digital de elevación obteniendo su forma. Para poder trabajar mejor y liberar información, retiramos el MDE. Desde las propiedades de la capa, en “General/Calculate from extent” hemos activado el “Enable Animated Rotation”, dando un valor de 1 con el fin de aumentar ligeramente el relieve, pero a la vez, no exagerar las medidas originales. También cargamos las otras capas, y aplicamos la opción de floating a cada una de ellas para que se superpongan sobre el MDE. El siguiente paso fue descargar de la página <https://3dwarehouse.sketchup.com/?hl=es> la simbología que más se ajustara a las capas que teníamos. Posteriormente, desde la herramienta de “Graphics”, creamos una línea, y seleccionándola, le indicamos “Move Layer Along Path” para conseguir que el barco se desplazara. Finalmente, desde “Animation”, hemos utilizado la cámara para tomar capturas a lo largo de la ruta y lograr de este modo la animación en 3D.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evolución de los usos del suelo de Argovejo

Una vez finalizado el proceso de análisis visual y edición de los usos del suelo para cada fecha estudiada, hemos obtenido tres mapas en tamaño A-3 (Usos del suelo de Argovejo en 1956, en 1977 y en 2014, Figuras 26 a 28). Todos los mapas contienen la misma leyenda, con las mismas categorías y los mismos colores con el objetivo de facilitar un análisis evolutivo, a excepción del año 1956, en el que no se incluye la categoría de “Prados” debido a que no existía dicha ocupación en esa fecha.

4.1.1. Los usos del suelo en 1956

En este período, el territorio de Argovejo está muy cambiado respecto a la situación actual. Como podemos observar en la Figura 26, por el año 1956 predominaba el paisaje de pastos (31,5%). La causa principal se puede atribuir a diversos factores, como el sobrepastoreo, que impedía que los matorrales y los bosques crecieran, y el control llevado a cabo por la población local con el objetivo de mantener limpio los accesos a las fincas y aprovechar dichas formaciones vegetales como combustibles y encendajes para el hogar. También llama la atención el elevado protagonismo que tenían las tierras de cultivo (6%). Con una extensión de 104 hectáreas, los cultivos de Argovejo en el año 1956 se extendían por todos los fondos de valle e incluso en terrazas construidas en zonas de elevada pendiente. Tenían la obligación de cultivar el mayor número de hectáreas posibles con el fin de paliar con el hambre y dar de comer al ganado. Sin embargo, la superficie cultivada no se extendía por tanto terreno como el que ocupaba en otros pueblos cercanos durante estas fechas. Se puede atribuir a la dificultad de plantar impuesta por el relieve montañoso y abrupto. Otra de las causas que justifican este elevado número de plantaciones es que en la década de los 50, no existían los puestos de trabajo que conocemos en la actualidad y el empleo se limitaba a la ganadería y agricultura de subsistencia.

Referimos algunos comentarios orales de habitantes del lugar que conocieron el territorio en 1956:

“Se sembraban todo tipo de productos, como lentejas y garbanzos en El Castro y La Pisa; patatas de secano en Vega, Remanganes y la Pisa. Las patatas de regadío se ubicaban en aquellos terrenos cercanos a cauces, tales como Pereda y La Serna. Otros productos también muy culti-

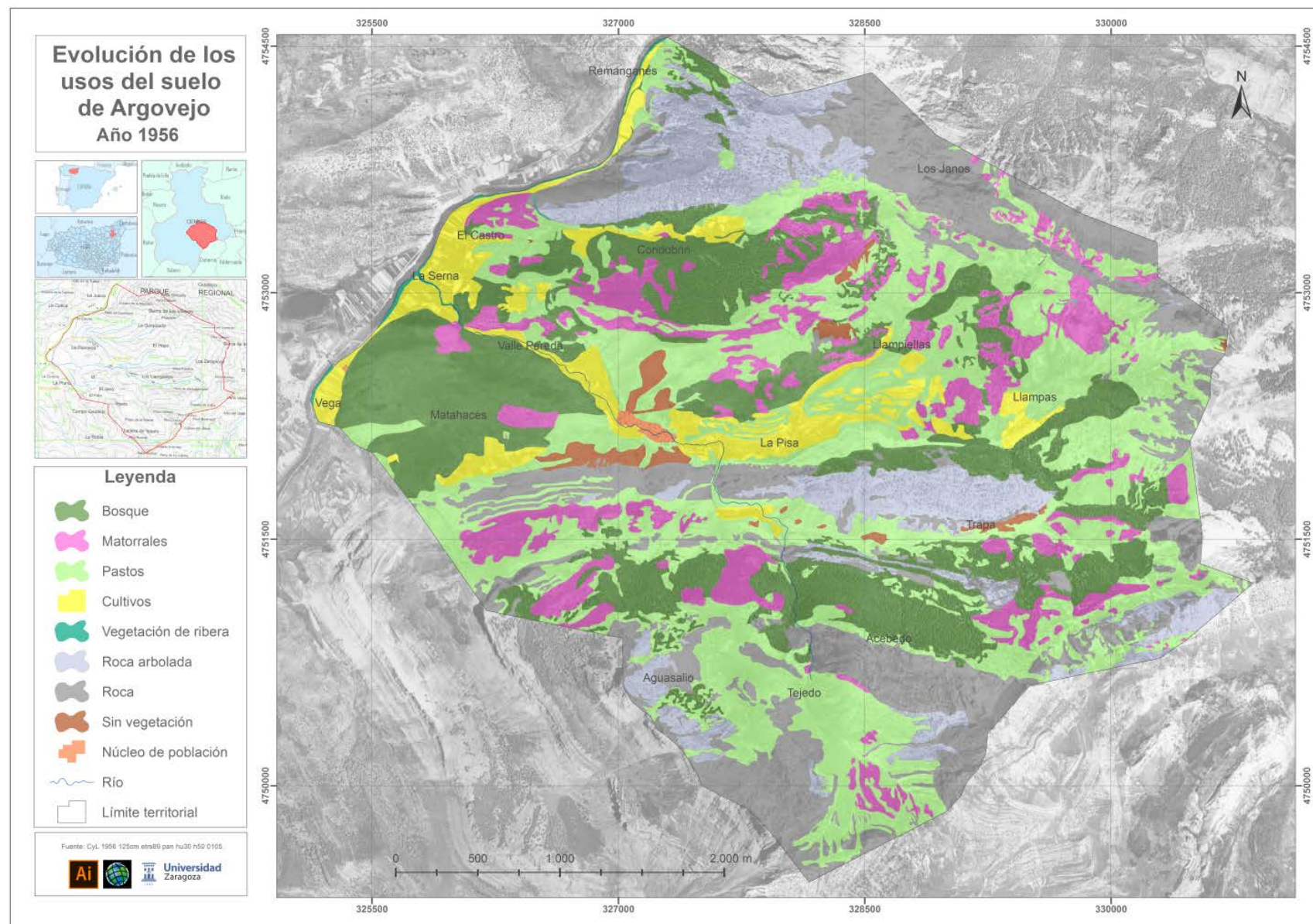


Figura 26. Usos del suelo de Argovejo en 1956.

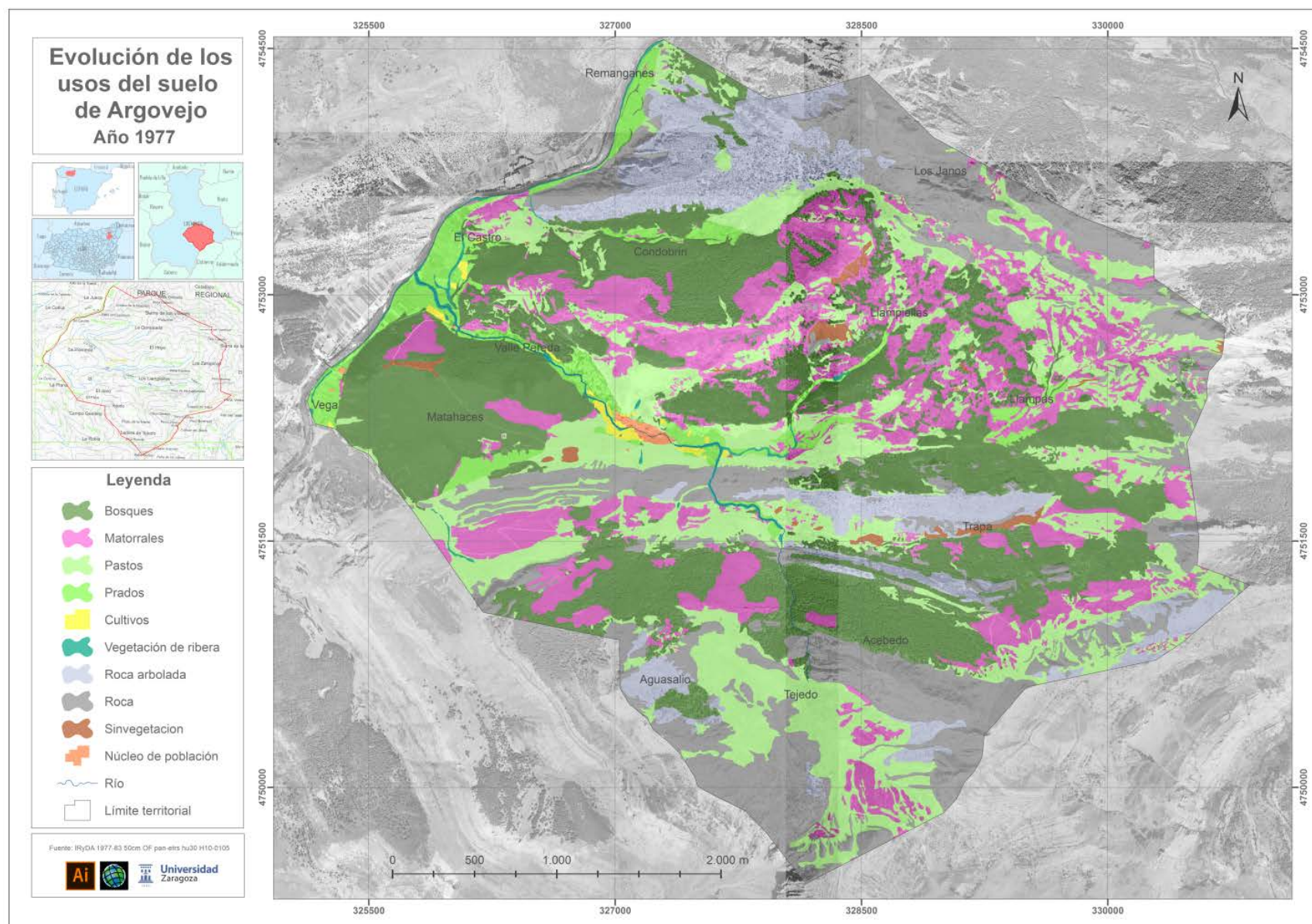


Figura 27. Usos del suelo de Argovejo en 1977.

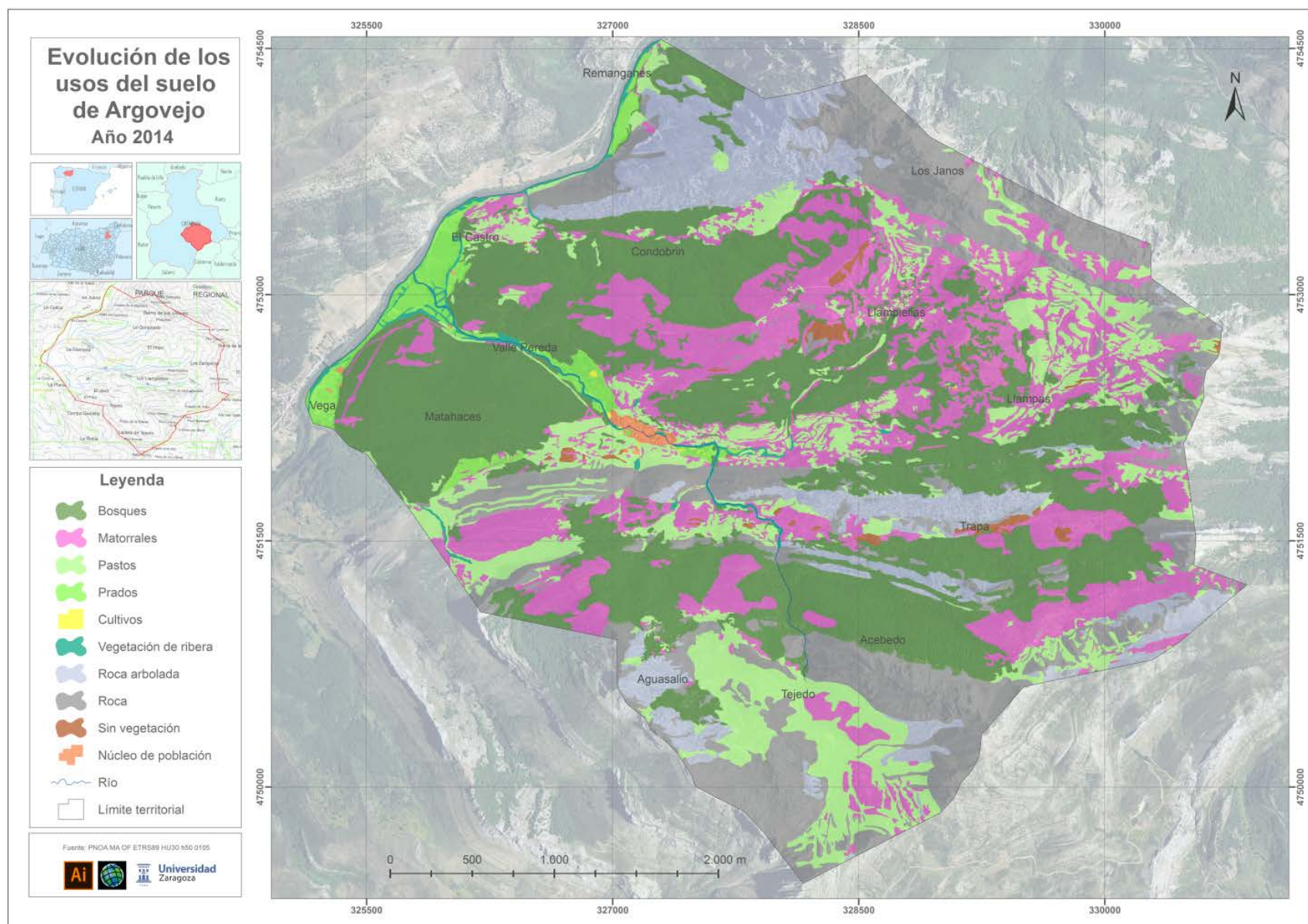


Figura 28. Usos del suelo de Argovejo en 2014.

vados eran el trigo, el centeno y la cebada, extendidos por todo el territorio. Se araban todas las tierras posibles. Se rotaban los cultivos para obtener más beneficios: un año se sembraba trigo y el otro garbanzos y lentejas. El año en el que se sembraba trigo, la plantación se realizaba por San Miguel, por lo que el ganado no podía pastar estos prados y tenía que pacer en los pastos de montaña. Pero cuando se sembraban lentejas y garbanzos, el ganado podía pastar en libertad hasta la primavera”.

También merece la pena mencionar la categoría de uso de suelo sin vegetación, que aunque no supone nada de ocupación respecto al total (1,2%), se distribuye por los alrededores del núcleo de población. Se debe a que era una zona de constante contacto con el ganado, que después de pacer por el campo, volvía a las cuadras situadas en el pueblo, lo que impedía el desarrollo de la vegetación.

El uso de suelo catalogado como bosque es el segundo más extendido en el año 1956, con 370 ha. Sin embargo, esta cifra es ridícula si la comparamos con las casi 570 ha de 2014, y es que los bosques de Argovejo se encontraban en una situación complicada, en la que ningún árbol se protegía. El impacto era mayor ya que la población de la villa era superior a la actual y de cada casa se iba a cortar leña con el fin de pasar los fríos inviernos. Un caso particular era lo del hayedo de Acebedo, en el que se hacían presupuestos: El guarda marcaba unos árboles, que posteriormente eran cortados. Esta madera se vendía al dueño de una fábrica situada en Argovejo. Los árboles también sufrieron durante estos años la poda incontrolada de sus ramas verdes con el fin de alimentar al ganado.

4.1.2. Los usos del suelo en 1977

Aunque el primer año estudiado solo dista de este período 21 años, es un intervalo de tiempo en el que se ha producido una gran transformación, ligada principalmente a la reducción de la población, ya que gran parte de los habitantes de Argovejo emigraron a otros lugares en busca de trabajo.

Por esta fecha se dejan de cultivar las tierras a causa de su baja rentabilidad, y los pocos agricultores que quedaron se centraban en los huertos de árboles frutales y en las pequeñas huertas de regadío cercanas al pueblo.

Como se puede observar en la Figura 27, en el año 1977 se produce –respecto al año 1956– una reducción considerable de las tierras de cultivo y de los pastos, quedando en valores del 0,3% y del 21,6%, respectivamente, muy lejos del 31,6% y 6% de 1956.

El uso de suelo más beneficiado es el catalogado como “prados”, que como ya se indicó anteriormente, surge del abandono de las tierras de cultivo y ocupa aquellos territorios herbáceos que se riegan y siegan para obtener un pasto para el ganado. Se ubican en zonas relativamente llanas, con disponibilidad de agua. Los prados ocupan 66,49 ha, y destacan los ubicados en el Valle Pereda, Vega, Reman-ganes y Matahaces. Además de los prados, también se han visto beneficiados los matorrales y los bosques. Los primeros han pasado de las 180 ha de 1956 a las casi 285 ha de 1977, mientras que los árboles han crecido en 110 ha.

4.1.3. Los usos del suelo en 2014

Como se puede apreciar en la Figura 28, la ocupación del suelo del territorio de Argovejo en 2014 se puede describir como un terreno salvaje, en el que predominan los bosques y los matorrales, junto con los paisajes de roca y de roca arbolada, en donde las tierras de cultivo son casi inexistentes y los prados y los terrenos herbáceos van perdiendo superficie a favor de las formaciones vegetales más frondosas.

El uso de suelo forestal es el mayor beneficiado, ocupando casi 570 ha. El escaso número de habitantes, la falta de ganado y los impedimentos que los agentes medioambientales imponen a la hora de cortar un árbol, han sido los principales causantes de la expansión de los bosques. Sí comparamos la fotografía aérea de 1956 con la actual, apreciamos una clara expansión de bosques y matorrales ligados a las causas expuestas anteriormente.

Un caso muy particular es el de los hayedos, aglomeraciones que cada vez ocupan más terreno. La causa principal se debe a que el haya (*Fagus sylvatica*), es una especie que genera tanta sombra que

evita que otros árboles se desarrollen. Dentro del territorio de Argovejo nos encontramos con 5 bosques:

- Matahaces: Bosque en el que su especie arbórea predominante es el roble albar (*Quercus petraea*). La ladera orientada hacia el norte, en donde la humedad es mayor, crece un pequeño hayedo. El conjunto del bosque tiene una forma más o menos circular.
- Condobrín: Es un bosque mixto en el que predominan hayas y robles, pero también es fácil encontrarnos con abedules (*Betula Pendula*), argumenos (*Sorbus aucuparia*) y acebos (*Ilex aquifolium*). Al igual que Matahaces, es coto de caza y sirve de abastecimiento de leña.
- Acebedo: Hayedo del que antiguamente sí se extraía madera pero que actualmente está en desuso debido a su acceso complicado. Además de hayas, también destacan especies como los tejos (*Taxus baccata*), y olmos de montaña (*Ulmus glabra*).
- Aguasalio: Bosque de hayas que debido a su difícil acceso solo es usado para fines turísticos.
- Las Janezas-Llampiellas: Está unido al bosque de Llampas y separado del de Condobrín por una densa masa de matorrales y brezos. Se trata de una ladera expuesta a la solana recubierta de robles.

En cuanto al uso de suelo catalogado como matorrales, debemos decir que se desarrolla de forma dispersa por todo el área. Pese a que muchas zonas de matorrales que se observaban en las imágenes del Vuelo Americano ya no existen en la ortofotografía del PNOA debido a que han sido invadidas por vegetación arbórea, la tendencia de los matorrales ha sido de expandirse y ocupar aquellas tierras y prados que se encuentran en desuso. De tal manera, los matorrales se constituyen en 2014 como el segundo área más extensa, con 350 hectáreas del total, muy lejos de las 180 hectáreas de 1956.

Pero no solo los usos del suelo forestal y de matorrales han cambiado, también el agrario se ha visto reducido. Cada año, a medida que la población anciana fallece, se van extinguiendo las pocas huertas que quedan en las cercanías del pueblo. Actualmente solo subsisten media docena de huertas, con una ocupación total de media hectárea, en la que se cultivan multitud de productos de regadío y secano para autoabastecimiento. La tendencia es plantar árboles frutales, que sin un excesivo cuidado se pueden obtener beneficios.

Los prados también se han reducido y actualmente solo ocupan 37,8 hectáreas. Estos terrenos, constituidos por fincas particulares que se siegan con el fin de recoger la hierba y alimentar al ganado cuando la situación meteorológica no permita a la ganadería comer al aire libre, se ubican en la margen del río Esla, desde Vega hasta Remanganes, pasando por La Serna y El Castro, además de los localizados en las inmediaciones de Matahaces y en el Valle Pereda.

El terreno herbáceo también ha disminuido en los últimos años. Ha pasado de suponer el 31,6% del total de los usos del suelo de Argovejo en 1956 a solo representar un 14,7% en 2014. Esta categoría está constituida por el área que bordea el pueblo de Argovejo, todas aquellas zonas cercanas a la montaña y que sirven de pasto a la fauna salvaje y a la doméstica, y lugares que antiguamente se sembraban y ahora no, pero que siguen conservando el porte herbáceo como elemento principal. En este apartado también incluimos La Prada de Los Janos y los antiguos prados de Llampiellas y El Puerto de Tejedo. Este último, que apenas ha cambiado en los últimos 60 años, se trata de un inmenso territorio de pastos localizado en plena montaña de Argovejo. Tiene un relieve más o menos llano y dispone de agua para el ganado.

Otro uso de suelo que ha experimentado cambios significativos a pequeña escala es el núcleo de población. Pese a que en 1956 la población de Argovejo era muy superior a la actual, el área ocupada por construcciones que hemos tenido en cuenta a la hora de delimitar este uso de suelo, ha aumentado en una hectárea: 4,25 hectáreas en 2014 frente a las 3 ha de 1956. Este cambio sorprendente se debe a la construcción de dos naves de ganado y del polideportivo. También influye que muchas de las viviendas que antiguamente estaban habitadas, actualmente solo son ruinas abandonadas dentro del núcleo de población, y las casas nuevas se construyen en la periferia.

Este triple mapa nos permite comparar los resultados, estudiar la evolución en un simple vistazo, y observar los grandes cambios que se han producido en el territorio de Argovejo en los últimos 60 años, sin necesidad de cambiar de documento.

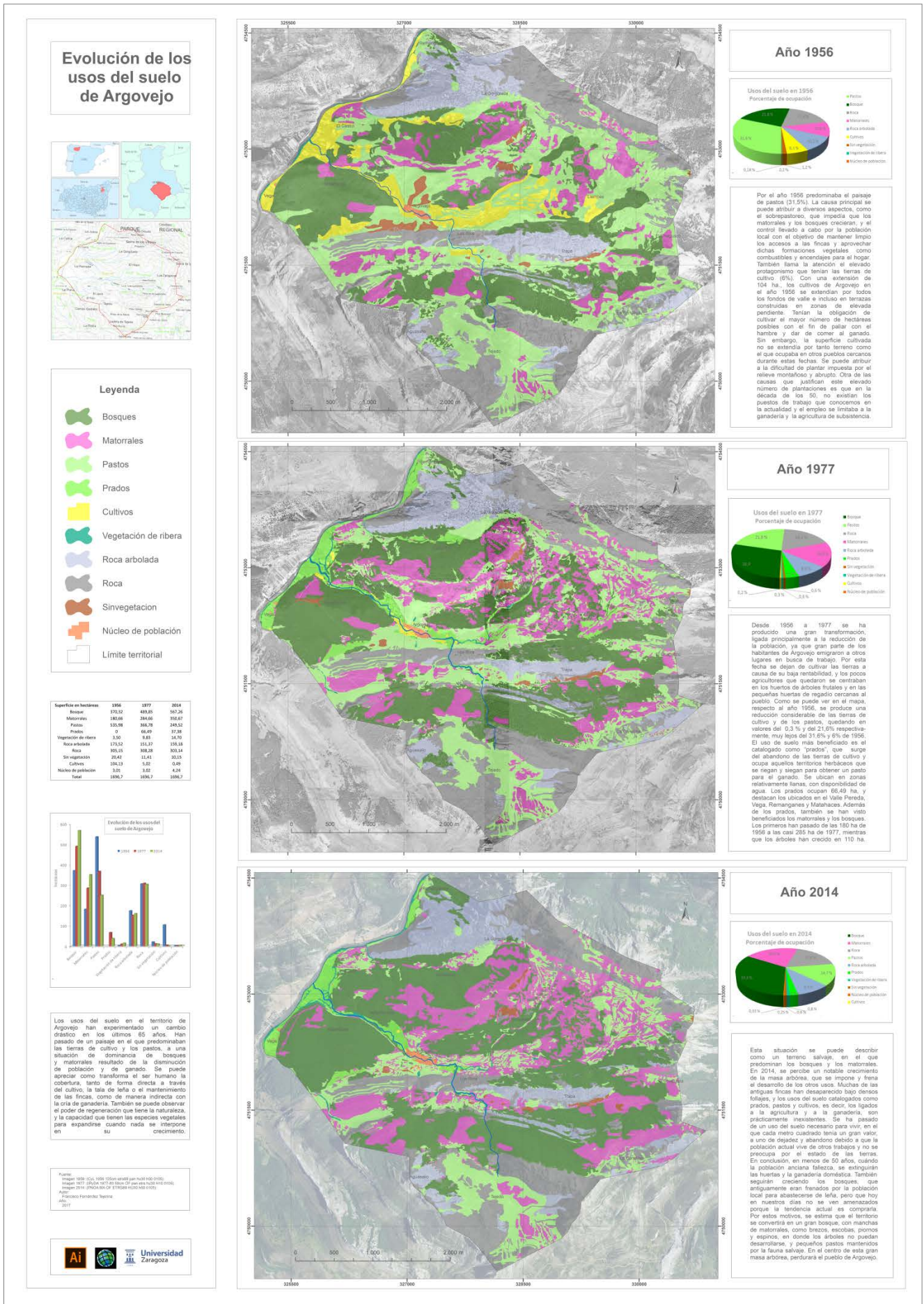


Figura 29. Evolución de los usos del suelo de Argovejo (reproducción adaptada al formato de página Din A4 de este documento del original Din A1).

4.1.4. Análisis comparativo

Para facilitar la comparación y la comprensión entre los tres años estudiados, se expone un mapa en tamaño Din A1, separado en tres partes, en el que se recoge la evolución de los usos del suelo de Argovejo en 1956, 1977 y 2014. En este documento, además de incluirse los elementos imprescindibles de una cartografía, tales como la escala, el norte, la leyenda y el área de localización, se incluyen gráficos y textos que sirven de ayuda en la interpretación del mapa. En la margen izquierda del documento, podemos observar información general que hace referencia a todos los mapas. En esta sección se incluye una tabla con las hectáreas de ocupación de cada uso del suelo y un gráfico de barras con la misma información, además de un pequeño texto que resume algunas de las conclusiones que se obtienen al visualizar el mural. La margen derecha del documento contiene información individualizada, en la que para cada fecha estudiada, se adjunta un gráfico circular que muestra, en porcentajes, la ocupación que supone cada tipo de cobertura. También se incluye, para cada año, un texto descriptivo que sirve de resumen.

4.2. Ruta óptima de bajo coste de construcción y animación 3D

Como resultado hemos obtenido el recorrido más idóneo y de menor coste de construcción de una ruta de senderismo que comunica los lugares de mayor interés turístico del territorio de Argovejo.

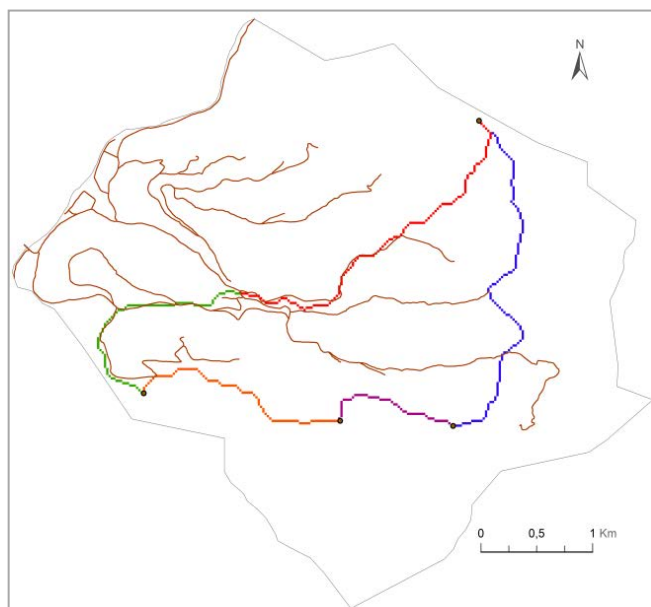


Figura 30. Ruta, en formato ráster, previamente a ser corregida y no coincidente con los caminos.

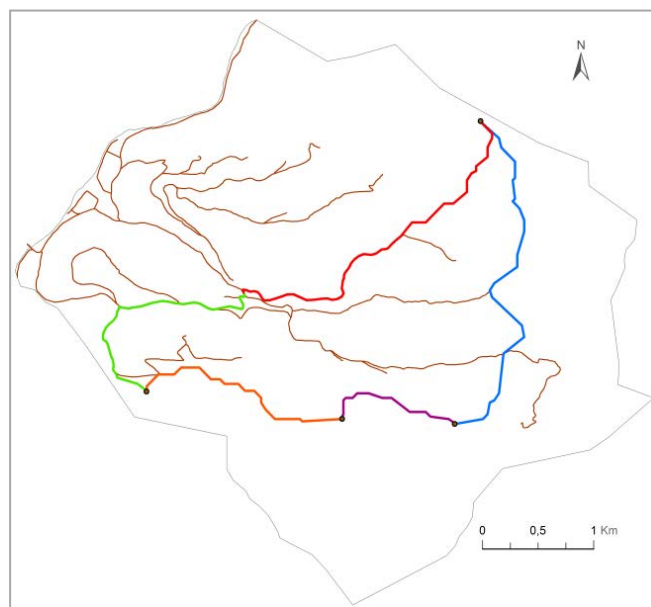


Figura 31. Ruta, en formato vectorial, corregida y coincidente con los caminos.

Con la ruta ya establecida, procedimos a señalar a lo largo del recorrido aquellos lugares en los que era necesario incorporar una señal indicativa. Para ello, consideramos que se requerían dos tipos de marcadores:

- **Postes indicativos:** Marcadores de gran simpleza que consisten en una barra de aproximadamente un metro de altura y que van estacadas en el terreno. Dichos postes, aconsejablemente de madera para no impactar negativamente con el entorno, deben llevar pintado en su extremo superior una franja de color llamativo para ser percibido con facilidad por los caminantes. Este tipo de señales han de colocarse aleatoriamente en el recorrido y cuando exista una posibilidad de perder la senda. Se han establecido 30 posibles ubicaciones para incorporar estos postes.
- **Señales direccionales:** Son aquellos marcadores que, como su propio nombre indica, informan sobre una dirección. Estas señales se localizan en los cruces de caminos en donde existe la posibilidad de confundirse de itinerario y no tomar la senda correcta. Consistirán en un poste de aproximadamente 2 m de altura, también de madera, y en cuyo extremo indique mediante flechas la dirección tanto de la ruta a seguir como de los otros caminos. Además, también se aprovechará dicha señal para informar sobre la distancia recorrida y la restante para finalizar el recorrido propuesto. Se precisarán hasta un total de 9 señales direccionales.

A partir de este itinerario generado, se ha realizado un mapa (Figura 32) a tamaño Din A1 en el que se ha utilizado como mapa base la ortofotografía del PNOA de 2014, con un cierto grado de transparencia y acompañada de otros elementos como las curvas de nivel, los caminos, el río principal y la toponimia más relevante del territorio.

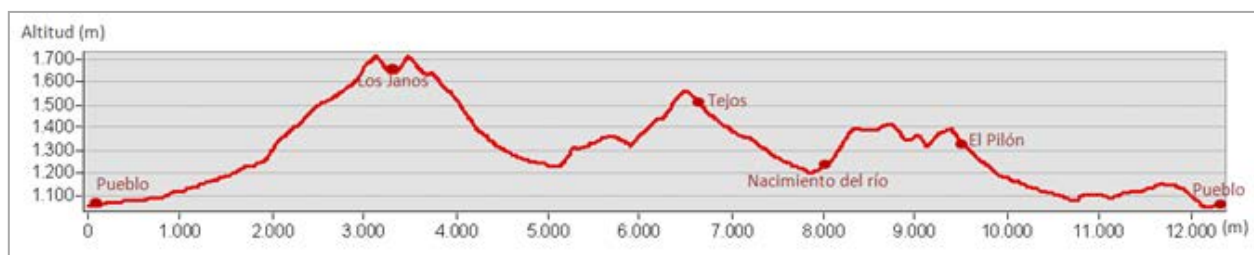


Figura 33. Perfil topográfico de la ruta.

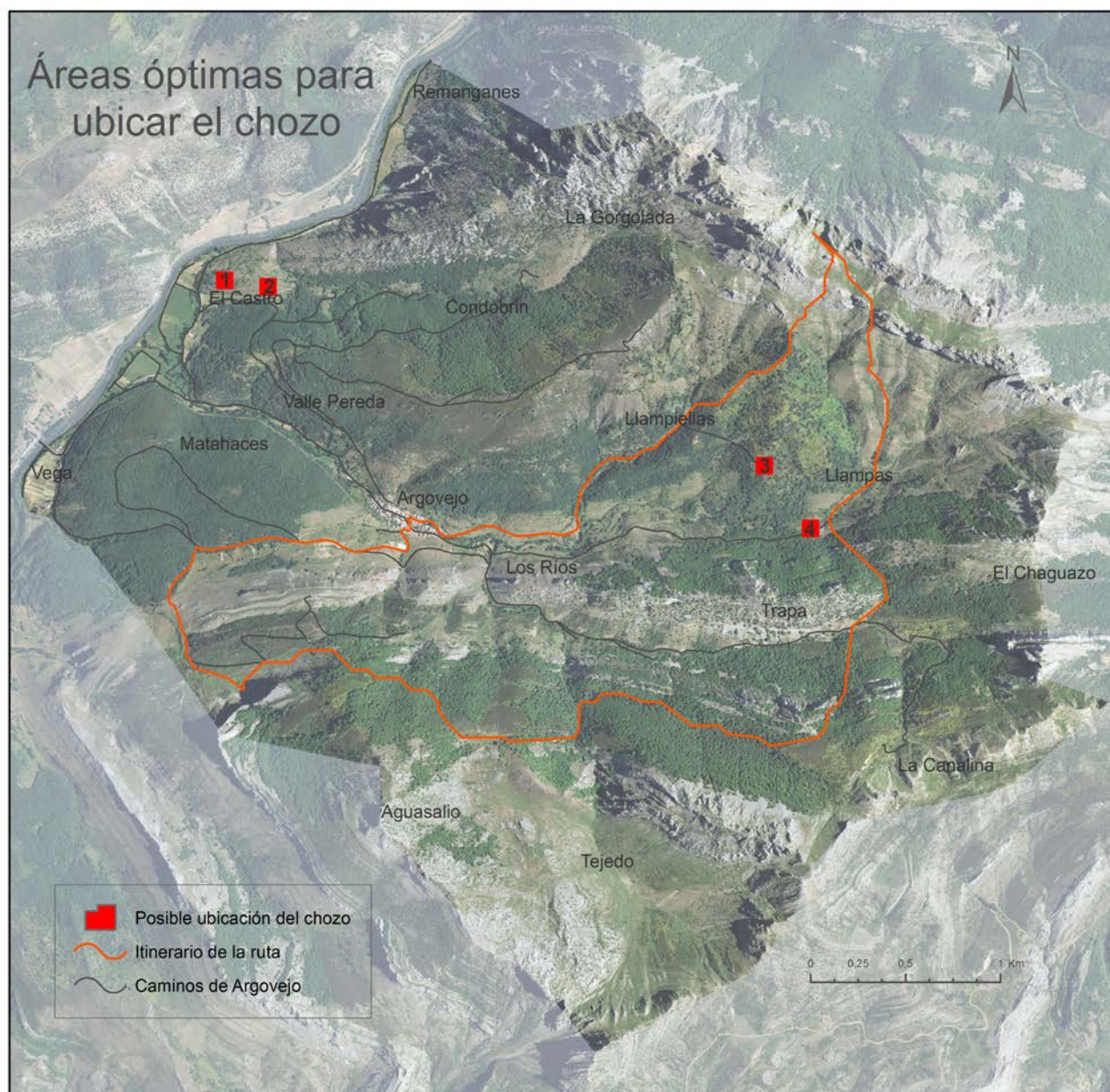


Figura 34. Áreas que cumplen los requisitos impuestos para la localización del chozo.

La ruta circular calculada está separada en 5 tramos, correspondientes con los recorridos existentes entre cada punto de interés turístico. Este documento nos informa de la ubicación de restaurantes, cafeterías y casas rurales. También se exponen otras aclaraciones que podemos encontrar en el transcurso del recorrido, como la ubicación de fuentes de agua potable, los lugares en los que se deben po-

ner las señales necesarias para marcar el recorrido de la ruta, la ubicación óptima para construir un chozo de montaña y los lugares de interés turístico por los que pasa el recorrido, estos últimos acompañados de fotografías. Otros elementos que muestra este mapa son el inicio de la ruta y la ubicación en la que se encuentra el lector de dicho documento. Toda esta información aparece recogida y detallada en la leyenda. Además de lo descrito anteriormente, este mapa contiene dos cuadros de textos cuya principal finalidad es informar al lector sobre el recorrido. El primer texto muestra las características más importantes de la ruta y que hay que tener en cuenta antes de proceder a realizarla. Entre estas anotaciones podemos encontrar el tipo de recorrido, el lugar de comienzo y destino, la longitud, la duración, el desnivel, el desnivel acumulado, el tipo de camino, la dificultad y la época del año recomendada para realizarla. El segundo texto, de mayor extensión, nos indica el itinerario a seguir. En la parte inferior del mapa, se adjunta un perfil topográfico del recorrido, en el que se puede ver con claridad los desniveles y los diferentes tramos de la ruta.

Como se ha expuesto previamente a lo largo del trabajo, el itinerario turístico se acompaña de un chozo de montaña. Tras haber eliminado todas aquellas áreas que consideramos no aptas para construir dicho refugio, hemos obtenido 4 posibles ubicaciones, de las cuales solo se necesitaba una.

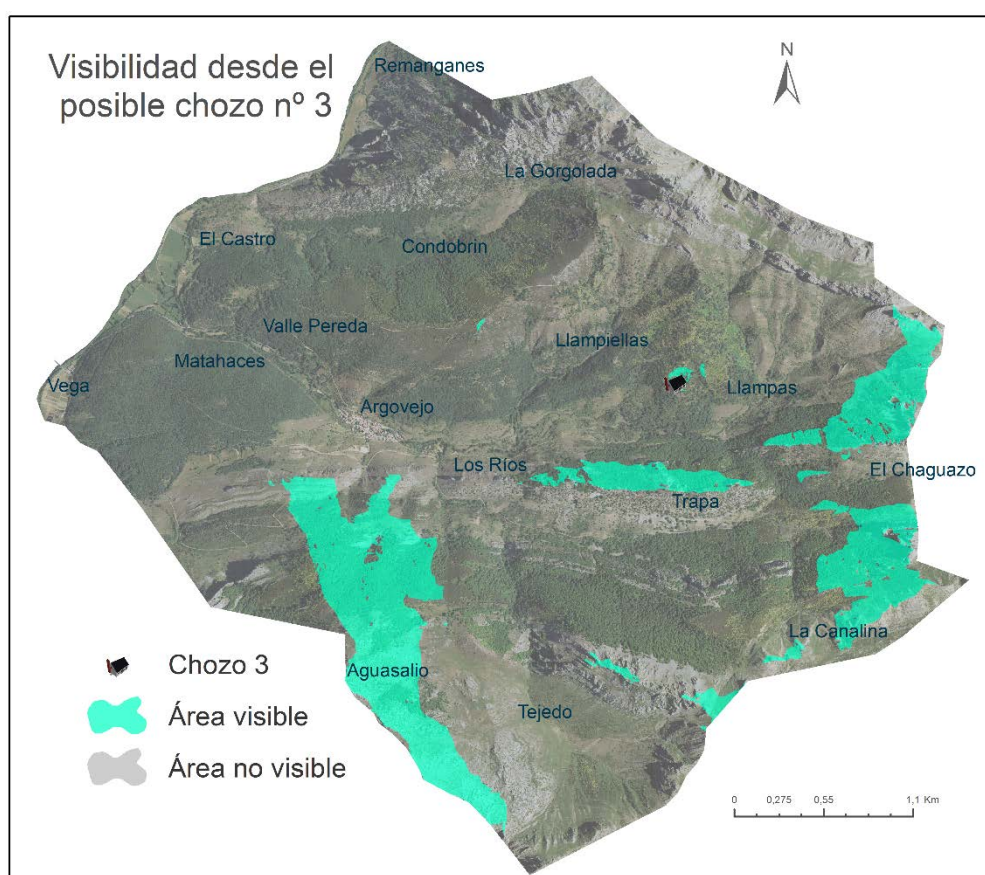


Figura 35. Visibilidad desde el posible chozo 3

A la hora de realizar la discriminación de las áreas y quedarnos con el mejor emplazamiento, nos hemos regido de diversos criterios. En primer lugar, aprovechando la realización del itinerario turístico, hemos considerado que lo más lógico era construir el chozo por el entorno de la ruta. De esta manera hemos eliminado las dos posibles ubicaciones situadas al oeste del territorio estudiado (Puntos 1 y 2). Otro criterio que hemos tenido en cuenta ha sido que dichas áreas se encontraran cerca de un camino, con el fin de facilitar el transporte de materiales de construcción. Sin embargo, las dos ubicaciones que quedaban cumplían esta normativa. Como ambas áreas eran ideales para construir y solo existía la posibilidad de edificar un chozo, hemos acudido al criterio visual, es decir, que hemos elegido aquella zona desde la cual se tenían unas mejores vistas del territorio. De esta manera, para la ubicación del “Posible_chozo_3” hemos realizado un mapa de visibilidad desde la función “Viewshed”, y se ha obtenido una visibilidad de un área de 71791 metros cuadrados, frente a los 30032 m² del “Posible_chozo_4”.

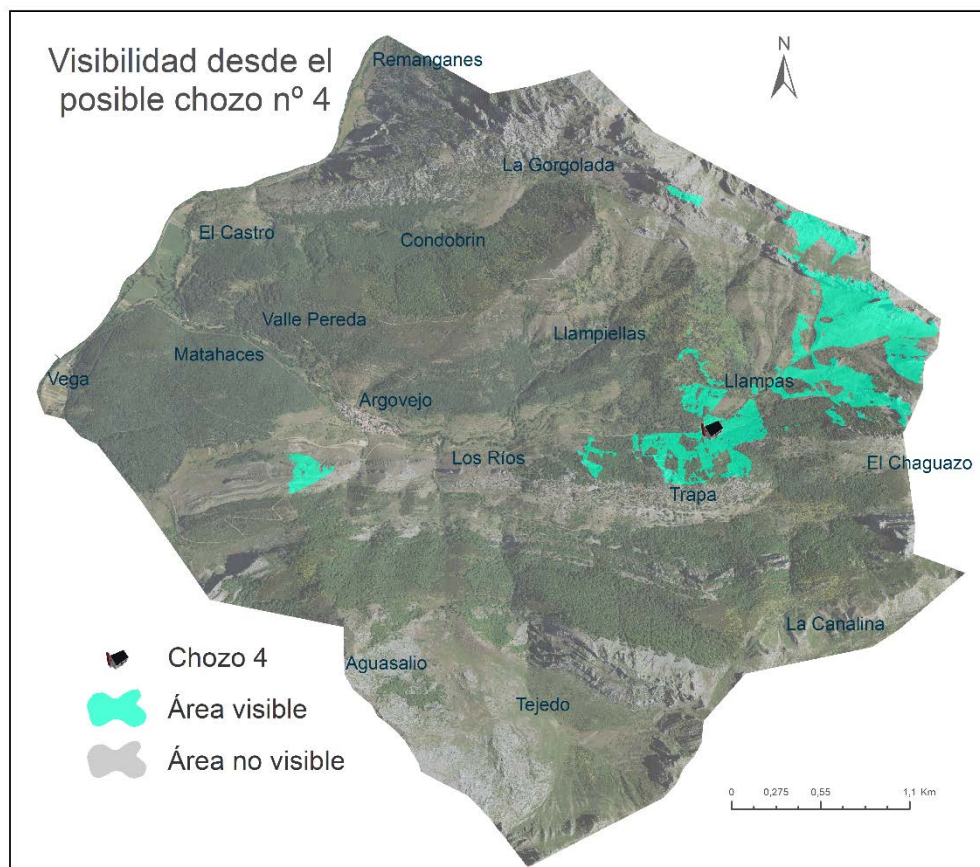


Figura 36. Visibilidad desde el posible chozo 4

Sin embargo, pese a que desde el chozo 4 se tienen menos vistas que desde el chozo 3, la calidad es muy superior porque al asentarse en una zona despejada de vegetación, ofrece una visibilidad en 360°. Las vistas desde el chozo 3 son más amplias y se divisa más territorio, pero se asienta en un pequeño terreno herbáceo rodeado por masa arbórea y muy cerca de un corral de ganado, cuyos animales pueden ser molestos e influir negativamente en el descanso de los turistas a causa de los malos olores y de los ruidos. Finalmente, se ha decidido situar el chozo en la ubicación del punto número 4, que además de los criterios establecidos previamente, se encuentra en el recorrido del itinerario propuesto sin necesidad de desviarse y esto puede ser de gran utilidad para los turistas que realicen el recorrido y precisen de un refugio por alguna necesidad, como dormir, comer o resguardarse de la lluvia u otra inclemencia.

Otro elemento que se ha incorporado en el mapa es un código QR, del inglés *Quick Response code*, que consiste en un código de respuesta rápida similar a un código de barras, que se descifra mediante una aplicación de dispositivos móviles, y que sirve de enlace a una animación en 3d del itinerario de la ruta.

Además del recorrido a realizar, en el video, de 1 minuto de duración, se pueden apreciar otros elementos como la ubicación de los puntos de interés turístico de la ruta, la toponimia más relevante y una simulación de las vistas que se tienen desde la Campera de Los Janos. A través de esta visualización, se pretende informar al turista que realice el camino, de las características del recorrido, transmitiéndole una idea de lo más verosímil y real posible.

Este mapa está diseñado con la finalidad de informar al turista una vez que se ejecute el proyecto. Con él se pretende orientar a los usuarios sobre el itinerario a seguir en el transcurso de la ruta, por lo que lo más coherente es colocarlo en un panel informativo al inicio de la misma.



Figura 37. Código QR con hipervínculo a la animación 3D.



Figura 38. Captura de pantalla tomada de la visualización 3D.

Volviendo al presupuesto planteado, a modo de hipótesis, al inicio del trabajo, se puede corroborar que los usos del suelo de Argovejo han sufrido un gran cambio y actualmente no se obtiene ningún beneficio económico del territorio. Debido a la escasa población y a la baja rentabilidad, resulta imposible volver a labrar las antiguas tierras de cultivo y restaurar la ganadería. Pero el área de estudio debe adaptarse a la demanda y a las exigencias de la población actual, de tal manera que la situación se puede corregir mediante el proyecto de creación de una ruta óptima y de un chozo de montaña, con lo que se pretende volver a dar un uso al territorio y mejorar de esta manera la economía local.

Según nuestros resultados, consideramos que este trabajo puede servir de gran ayuda para conocer la evolución del territorio de Argovejo, así como muchas de las causas por las que en un período de tiempo relativamente corto ha cambiado tanto el paisaje. Se puede apreciar con claridad la transformación de los usos del suelo gracias a la realización de una secuencia de tres mapas. Además, al dar un color diferente a cada tipo de uso de suelo, resulta más sencilla la comprensión y hace que la vista del lector se centre en aquellos terrenos en donde verdaderamente se practica un uso del suelo. También, como cada elemento viene representado en la leyenda y cada uno de ellos conserva la misma tonalidad de color en los tres mapas, se percibe con suma facilidad la evolución de los usos del suelo de Argovejo desde 1956 hasta 2014.

En cuanto a la cartografía de las rutas, puede ser de gran utilidad para ser expuesta en un panel informativo y colocarlo en la plaza del pueblo, inicio de la senda. De esta manera, servirá para proporcionar a los turistas una referencia y evitar confusiones. También respaldamos el resultado obtenido y estamos conformes con el recorrido generado a través de los Sistemas de Información Geográfica porque se ha conseguido enlazar los lugares de mayor interés turístico de Argovejo con una ruta que no tiene gran dificultad y a la vez, su coste de construcción será muy bajo, por lo que la pedanía del pueblo se lo podrá permitir. También hemos conseguido ajustar el resultado a la demanda actual, logrando que el itinerario propuesto se visualice en 3 dimensiones.

Respecto a la ubicación para edificar el chozo, los resultados obtenidos también son muy satisfactorios porque cumple todos aquellos requisitos que hacen que su construcción sea lo menos costosa posible, como estar ubicado en pendientes inferiores al 7%, en terreno herbáceo, que evita tener que acondicionar el lugar, y estar asentado en las inmediaciones de caminos que posibilitan el acceso de los materiales de construcción y otro tipo de necesidades una vez edificado y operativo. Además de estos criterios, se ha conseguido una ubicación idónea respecto a las vistas que se tienen desde este lugar y a la proximidad con la ruta de senderismo propuesta.

5. CONCLUSIONES

Los usos del suelo en el territorio de Argovejo han experimentado un cambio drástico en los últimos 65 años. Este territorio ha pasado de constituir un paisaje en el que predominaban las tierras de cultivo y los pastos, a una situación de dominancia de matorrales y bosques resultado de la disminución de población y de ganado.

En el año 1956 existía una necesidad de cultivar todas las tierras y de criar a la ganadería, ya que eran las fuentes de ingresos de la población de la época. Al cuidar las tierras, talar más leña y haber más ganado pastando por los montes, los brezos, escobas, espinos y árboles no colonizaban nuevos espacios.

En torno a 1977 se reduce la población y dejan de ser rentables los cultivos. El resultado es un lento y progresivo abandono de las tierras, en el que los matorrales han invadido las propiedades.

En 2014, se percibe un notable crecimiento de la masa arbórea, que se impone y frena el desarrollo de los otros usos. Muchas de las antiguas fincas han desaparecido bajo densos follajes y los usos del suelo catalogados como prados, pastos y cultivos, es decir, los ligados a la agricultura y a la ganadería principalmente, son prácticamente inexistentes. Se ha pasado de un uso del suelo relacionado con un aprovechamiento en términos de supervivencia a escala local, en el que cada metro cuadrado tenía un gran valor, a uno de dejadez y abandono, debido a que la población local de la actualidad vive de otros trabajos y no se preocupa por el estado de las tierras.

Este trabajo nos permite constatar cómo transforma el ser humano la cobertura del territorio, tanto de forma directa través del cultivo, la tala de leña o el mantenimiento de las fincas, como de manera indirecta con la cría de ganadería. También se puede apreciar el poder de regeneración que tiene la naturaleza y la capacidad que tienen las especies vegetales para expandirse y colonizar nuevos espacios cuando nada se interpone en su crecimiento. Es lo sucedido en nuestra área de estudio, en la que, tras el abandono de la ganadería y de la agricultura por su baja rentabilidad, tuvo lugar una marcada disminución de la población local, quedando el territorio en una situación salvaje en la que los matorrales ocupan los prados y fincas en desuso y, a su vez, las especies más dominantes como los árboles, van ganando terreno al resto de formaciones.

En conclusión, en menos de 50 años, cuando la población anciana fallezca, se extinguirán las huertas y la ganadería doméstica. También seguirán creciendo los bosques, que antiguamente eran frenados por la población local para abastecerse de leña, pero que hoy en nuestros días no se ven amenazados porque la tendencia actual es comprar leña. Por estos motivos, se estima que el territorio se convertirá en un gran bosque, con manchas de matorrales, como brezos, escobas, piornos y espinos, en donde los árboles no puedan desarrollarse, y pequeños pastos mantenidos por la fauna salvaje. En el centro de esta gran masa arbórea, perdurará el pueblo de Argovejo.

Para evitar esta situación, aunque las formas de ganarse la vida han cambiado y, con ello, los usos del suelo, existen otras fuentes de ingresos, como las actividades derivadas del turismo, que pueden dar empleo a la población local. De tal manera, debemos adaptarnos a las circunstancias de la naturaleza y tratar de mejorar la economía local a través de lo que el medio nos proporciona. Para ello, en este trabajo se propone el proyecto de un itinerario turístico, mediante el cual no solo se pretende crear puestos de trabajo, sino que también se busca dar a conocer en un único recorrido los lugares de mayor atractivo e interés de Argovejo. Así mismo, se incluye la propuesta de construir un chozo de montaña, para el cual se ha calculado la ubicación más idónea atendiendo a factores como la pendiente, la orientación o la visibilidad, entre otros.

Todo ello se ha logrado utilizando herramientas TIG. Nos hemos servido de fotografías aéreas, ortofotografías e imágenes de satélite para obtener, con el apoyo de medios informáticos para su co-registro y edición, así como para su fotointerpretación, la cartografía dinámica del uso-ocupación del suelo en tres momentos diferentes (1956, 1977 y 2014). En entorno SIG se han gestionado, junto a las anteriores informaciones temáticas generadas, otras disponibles en diversos repositorios de información geográfica, como el MDE, la cartografía catastral, etc., lo que ha permitido, no sólo abordar cuantificar y analizar los cambios en el uso del suelo, sino también aplicar el análisis de estimación de ruta

de menor coste de construcción para el trazado del sendero de recorrido circular o estimar la ubicación del chozo; estas dos últimas aportaciones planteadas como propuestas de ejecución realista para contribuir al desarrollo de la actividad socioeconómica ligada a los recursos naturales y paisajísticos del territorio.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudo González, J. (2004): *Incidencia de la protección del medio ambiente en los usos del suelo*. Bosch, Barcelona, pp. 220-236.
- Chuvieco, E. (2008): *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ed. Ariel. 595 pp.
- Corine Land Cover (2012): disponible en <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012?tab=mapview> [último acceso 28-09-2017].
- FAO/UNEP. (1999): *El Futuro de Nuestra Tierra. Enfrentando el Desafío*. Terme di Caracalla, Roma. 13 pp.
- FEDME (2015): “Como calcular los tiempos”, disponible en <http://misendafedme.es/hacer-senderismo/iniciarte-en-el-senderismo/calcular-los-tiempos/> [último acceso 8-11-2017].
- García Merino, Luis V. (1999): “Los usos del suelo y la organización del espacio” en *Manual de desarrollo local* (Rodríguez Gutiérrez, F. editor.). Trea, Gijón, pp. 160-171.
- Google earth (2017): disponible en <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html> [último acceso 09-10-2017].
- IGAC (1982): “Suelos” en *Esquema de Ordenamiento Territorial Boavita Boyacá 2002 – 2010* (Alcaldía Municipal de Boavita Boyacá). Colombia, 69 pp.
- IGN (2004): “Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA)”, disponible en <http://pnoa.ign.es/> [último acceso 12-09-2017].
- IGN (2007): “Mapa MTN-50, hoja 0105 (Sabero)”, disponible en <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> [último acceso 28-09-2017]. [último acceso 07-11-2017].
- IGN (2014): “Ortofoto del PNOA de 2014”, disponible en <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> [último acceso 07-11-2017].
- IGN (2015): “MDT_05_105”, disponible en <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> [último acceso 11-09-2017].
- IGN (2017): “IBERPIX”, disponible en <http://www.ign.es/iberpix2/visor/> [último acceso 29-09-2017].
- INE (2016): “Población de Argovejo en 2016”, disponible en <http://www.ine.es/nomen2/index.do?accion=busquedaRapida&subaccion=&numPag=0&ordenAnios=ASC&nombrePoblacion=Argovejo&CONSULFAST.x=18&CONSULFAST.y=4> [último acceso 15-10-2017].
- INE (2017): “Definición de núcleo de población”, disponible en <http://www.ine.es/nomen2/Metodologia.do> [último acceso 18-10-2017].
- ITACyL (2012-2013): “Imágenes de 1977” disponibles en ftp://ftp.itacyl.es/cartografia/01_Ortofotografia/1977_83/H-0105/ [último acceso 12-09-2017].
- ITACyL (2014): “Imagen de 1956” disponible en [http://ftp.itacyl.es/cartografia/01_Ortofotografia/1956/Mosaico%20de%20los%20fotogramas%20de%20cuencia%20del%20duero%20\(C.H.D.\)/](http://ftp.itacyl.es/cartografia/01_Ortofotografia/1956/Mosaico%20de%20los%20fotogramas%20de%20cuencia%20del%20duero%20(C.H.D.)/) [último acceso 12-09-2017].
- Lasanta Martínez, T. (1990): *Pirineos. Tendencias en el estudio de los cambios de uso del suelo en las montañas españolas*, Vol.35, pp. 73-106.
- Mancebo Quintana, S., Ortega Pérez, E., Martín Fernández, L y Valentín Criado, A.C. (2009): *Libro-SIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental: ejercicios*. Los autores, Madrid, pp. 41-140.

- MAPAMA (2017): “SIGPAC”, disponible en <http://sigpac.mapama.gob.es/fega/visor> [último acceso 24-10-2017].
- MAPAMA (2017): “Servicio WMS del SIGPAC”, disponible en <http://wms.mapama.es/wms/wms.aspx>? [último acceso 28-10-2017].
- MHFP (2016): “Servicio WMS del catastro de España”, disponible en <http://ovc.catastro.meh.es/Cartografia/WMS/ServidorWMS.aspx>? [último acceso 02-11-2017].
- Oria de Rueda Salguero, J.A. y Díez Sánchez, J (2008): *Guía de árboles y arbustos de Castilla y León*. Ediciones Cálamo, Palencia, pp.1-400.
- Queraltó Ros, P., Valls Dalmau, P. y Biere Arenas, R. (2010): *Herramienta de cálculo de rutas óptimas según parámetros de accesibilidad física en itinerarios urbanos*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/12137/03_Queraltó_Valls_Biere.pdf
- RAE (Real Academia Española): “Diccionario de la lengua española”, disponible en <http://www.rae.es> [último acceso 18-10-2017].
- USGS (2017): “USGS Earth Explorer”, disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov> [último acceso 6-10-2017].
- Velásquez, J., Ochoa, G., Oballos, J., Manrique, J. y Santiago, J (2004). Revista Latinoamericana de Enfermagem. *Metodología para la delineación cartográfica de suelos*, Vol.36, pp.15-34.

ANEXO I

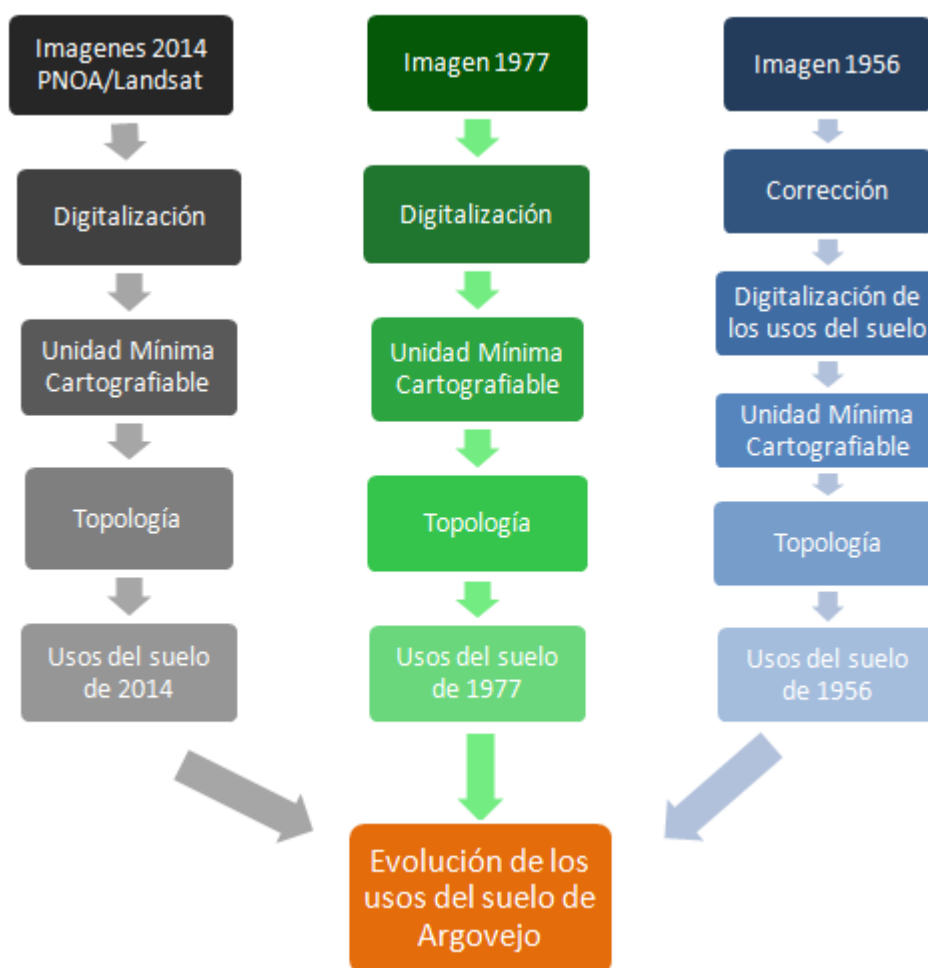


Figura 39. Esquema del proceso seguido para obtener la evolución de los usos del suelo.

Tabla 2. Área mínima cartografiable para distintas escalas. (Velásquez *et al.*, 2004).

Escala del mapa	Unidad mínima (ha) DML	Unidad óptima (ha) DOL=ADM
1:5 000	0.1	0.4
1:10 000	0.4	1.6
1:20 000	1.6	6.4
1:25 000	2.5	10
1:50 000	10	40
1:100 000	40	160
1:200 000	160	640
1:250 000	250	1 000
1:500 000	1 000	4 000
1:1 000 000	4 000	16 000
1:2 000 000	16 000	64 000
1:5 000 000	100 000	400 000

Tabla 3. Superficie de cada uso de suelo en las tres fechas estudiadas.

Superficie (en ha)	1956	1977	2014
Bosque	370,32	489,85	567,26
Matorrales	180,66	284,66	350,67
Pastos	535,98	366,78	249,52
Prados	0,00	66,49	37,38
Vegetación de ribera	3,50	9,83	14,70
Roca arbolada	173,52	151,37	159,18
Roca	305,15	308,28	303,14
Sin vegetación	20,42	11,41	10,15
Cultivos	104,13	5,02	0,49
Núcleo de población	3,01	3,02	4,24
Total	1696,7	1696,7	1696,7

Tabla 4. Porcentaje de ocupación de los usos del suelo para las tres fechas estudiadas.

Porcentaje de ocupación	1956	1977	2014
Bosque	21,83	28,92	33,44
Matorrales	10,65	16,81	20,67
Pastos	31,59	21,66	14,71
Prados	0	3,93	2,20
Vegetación de ribera	0,21	0,58	0,87
Roca arbolada	10,23	8,94	9,38
Roca	17,98	18,20	17,87
Sin vegetación	1,20	0,67	0,60
Cultivos	6,14	0,30	0,03
Núcleo de población	0,18	0,18	0,25
Total	100	100	100

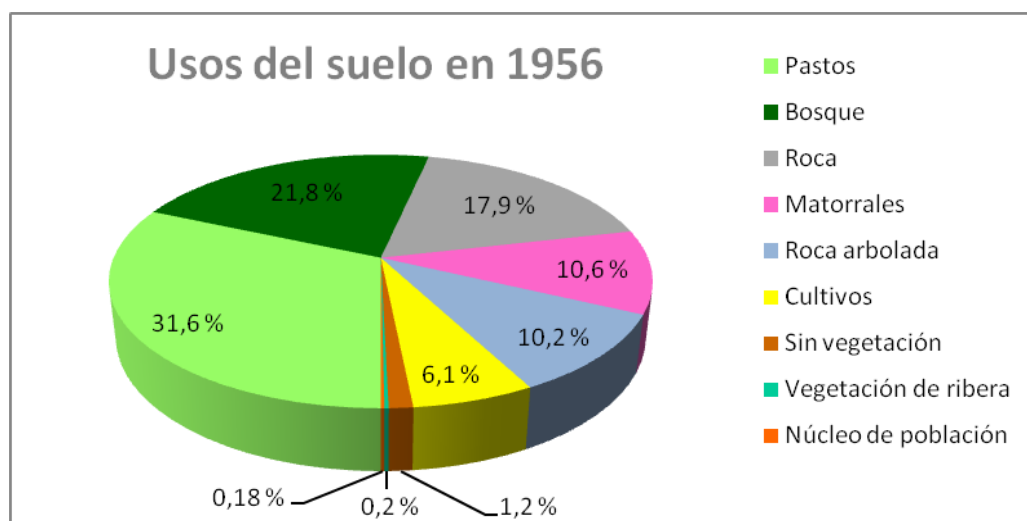


Figura 40. Distribución porcentual de la ocupación por usos del suelo en 1956.

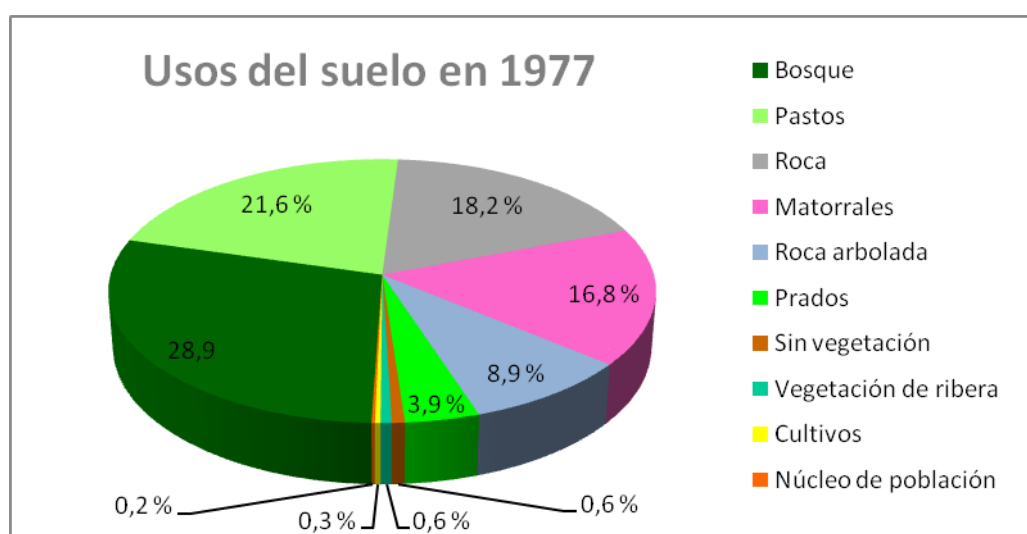


Figura 41. Distribución porcentual de la ocupación por usos del suelo en 1977.

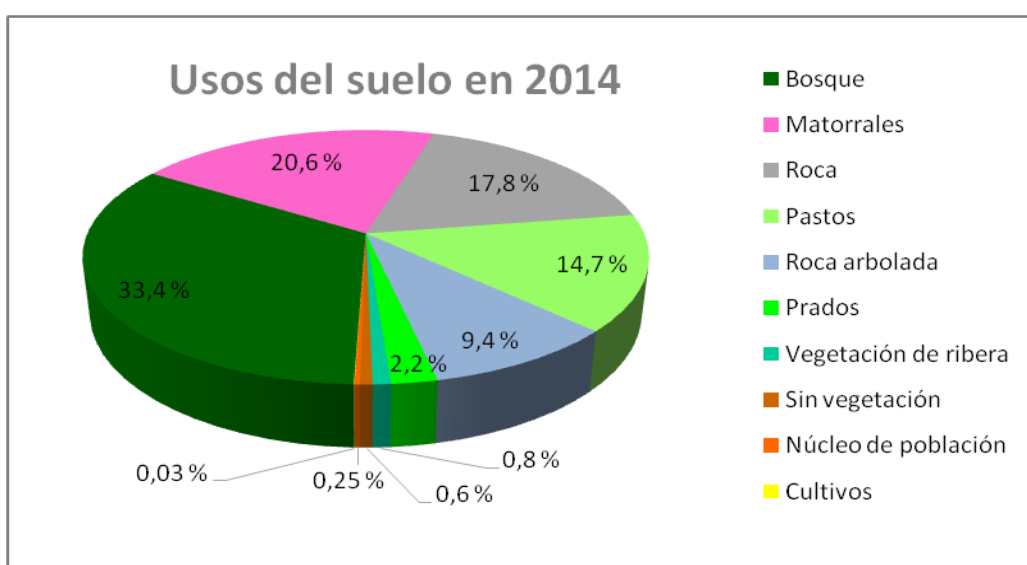


Figura 42. Distribución porcentual de la ocupación por usos del suelo en 2014.

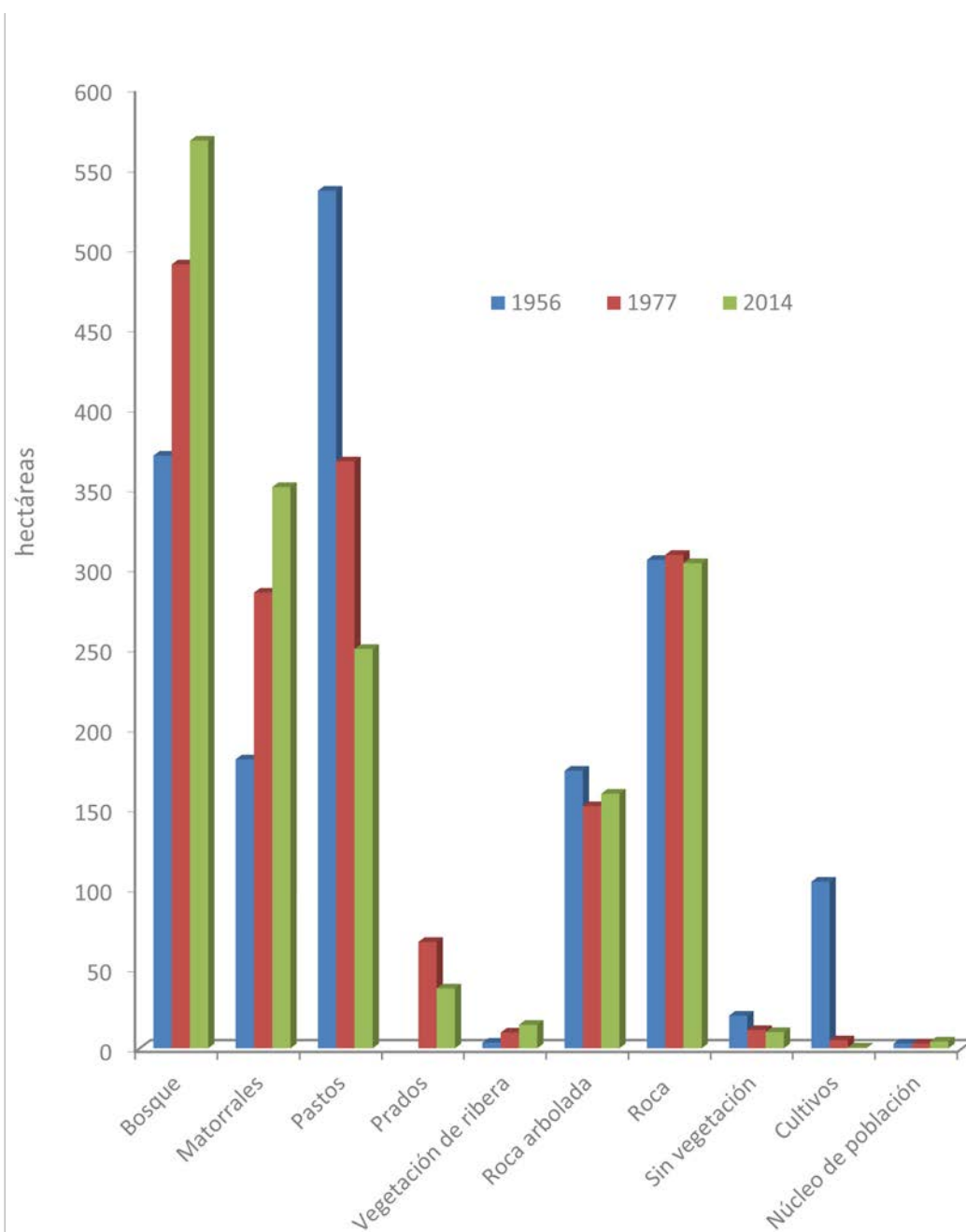


Figura 43. Comparación de la superficie ocupada por los diferentes usos del suelo de Argovejo en los años 1956, 1977 y 2014.

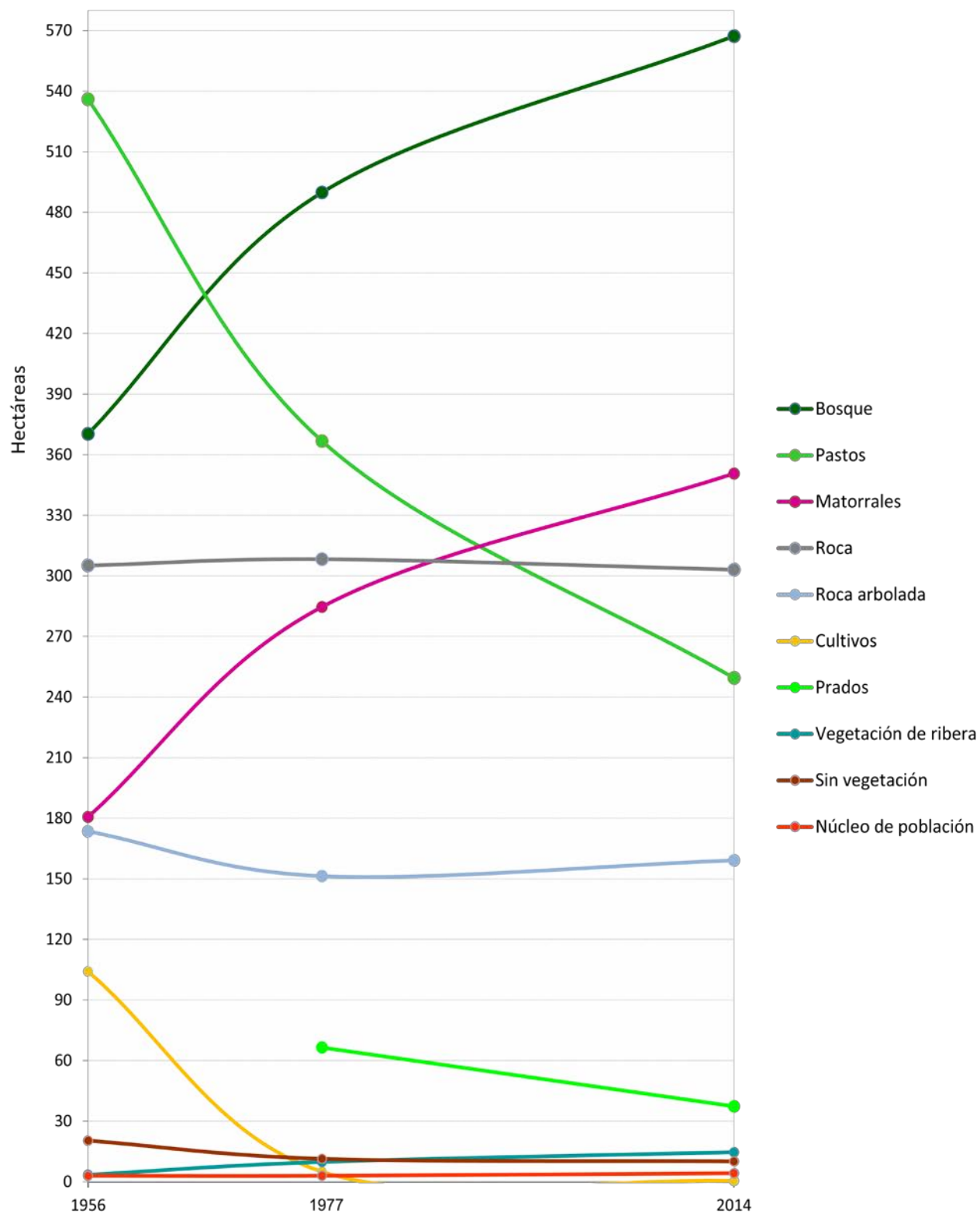


Figura 44. Evolución de los usos del suelo de Argovejo.

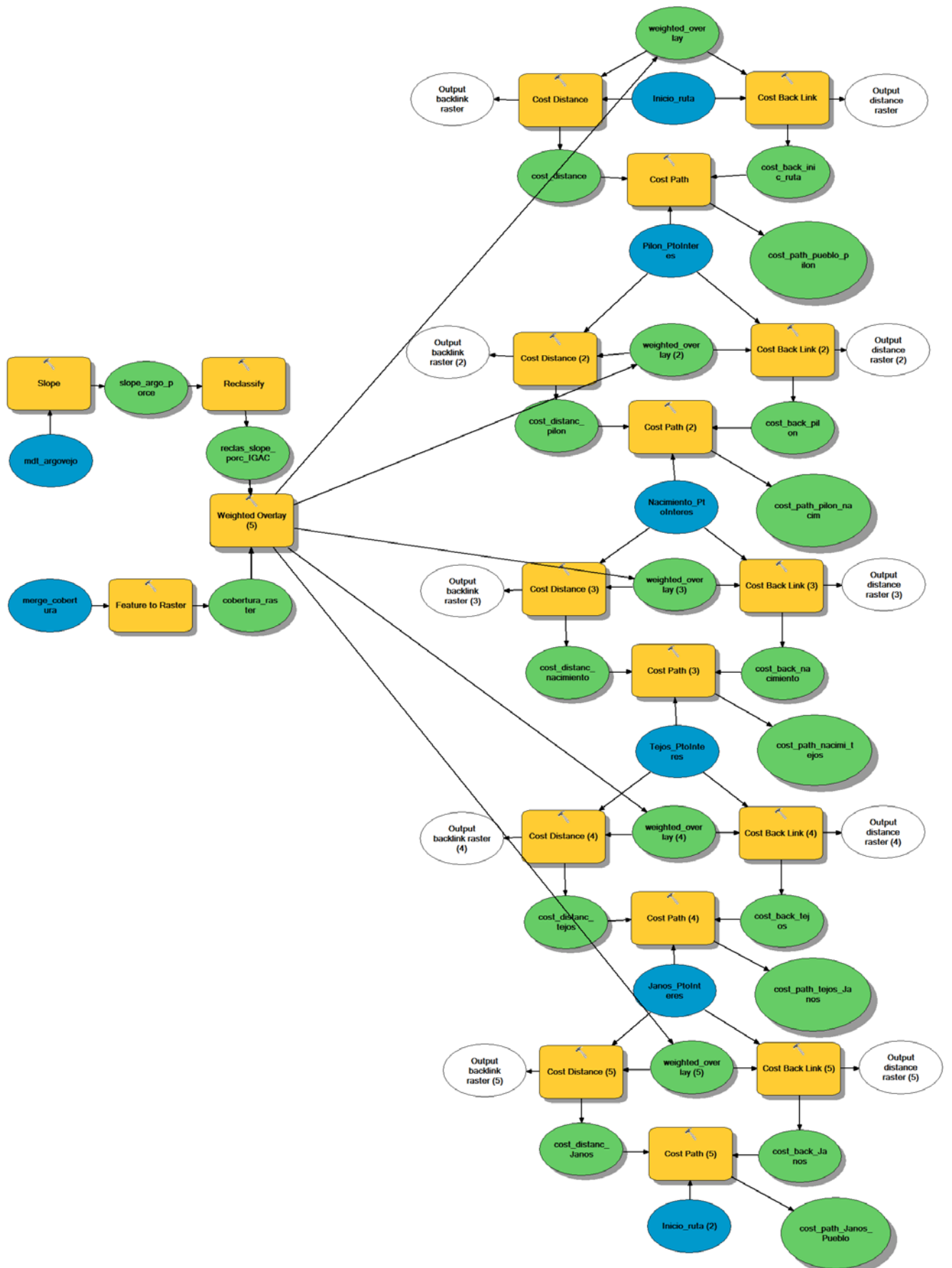


Figura 45. Model Builder utilizado para calcular las rutas de menor costo de construcción.

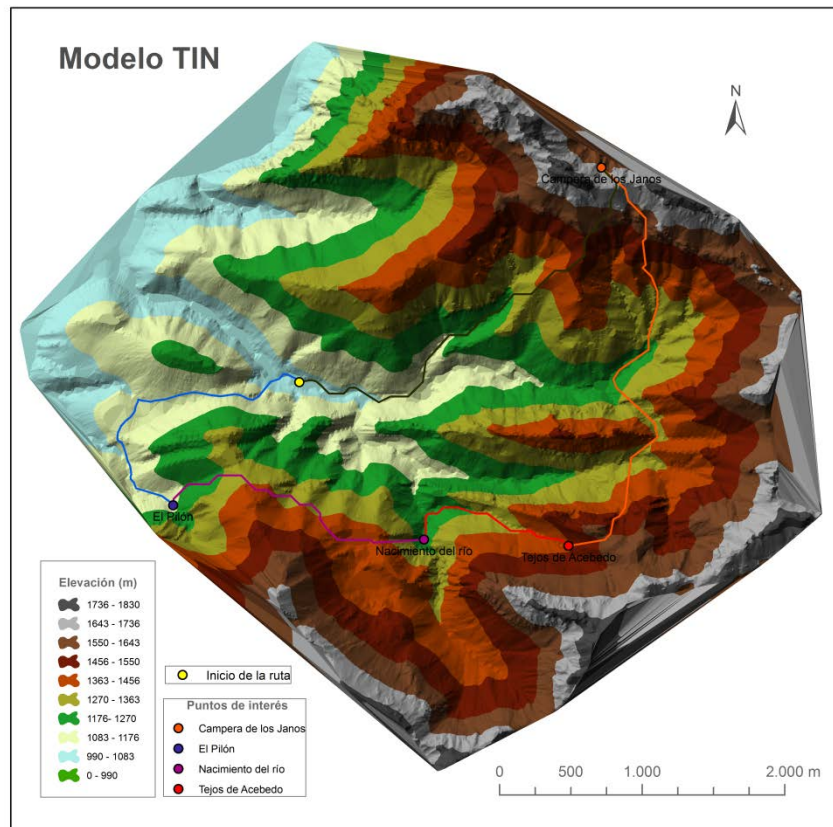


Figura 46. Modelo TIN utilizado para obtener el perfil topográfico.

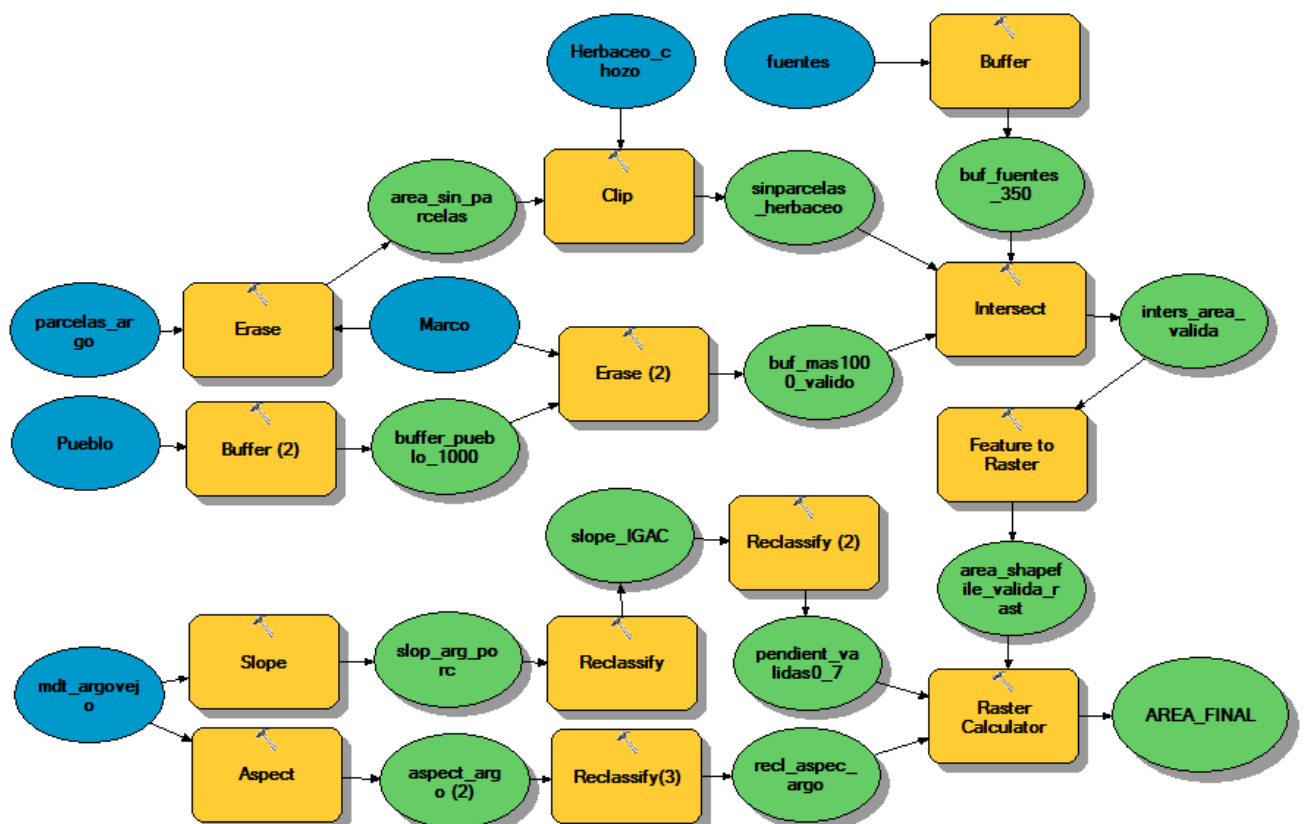


Figura 47. Model Builder para calcular la ubicación idónea del chozo.