



Trabajo Fin de Grado

Propuesta metodológica para la identificación de zonas potenciales para el cultivo de trufa (*Tuber melanosporum* y *Tuber aestivum*): estudio piloto en el entorno de las sierras de Algairén-Pardos (Zaragoza).

Autor/es

Alejandro Villarmín Martín

Director/es

Fernando Pérez Cabello

Facultad: Filosofía y Letras

Año: 2017

Agradecimientos

Al Doctor Fernando Pérez por su sobresaliente dirección en este proyecto.

A la Presidenta de la Asociación de Truficultores de Zaragoza, Trinidad Usón y el Doctor Juan Luís Mora por su orientación y asesoramiento.

Al técnico de laboratorio Daniel Monsec por su tiempo y dedicación.

A mi padre por su apoyo y compromiso con el proyecto.

RESUMEN

Hoy en día los cultivo de trufa de negra (*Tuber melanosporum*) y trufa de verano (*Tuber aestivum*), están ganando importancia, debido al alto valor y demanda que existe del hongo. Aragón es la región con mayor producción trufera a nivel mundial gracias a la potencialidad del territorio. Sin embargo existen zonas, como las Sierras de Algairén y Pardos, con un alto potencial que no están siendo explotadas. Por medio del siguiente análisis se pretende establecer una metodología de trabajo para delimitar las zonas potenciales, mediante el uso de SIG y Teledetección. El conocimiento de las distintas zonas potenciales y la implantación de este tipo de cultivos, podría suponer un impulso tanto demográfico como económico para una zona necesitada de una serie de acciones, encaminadas al desarrollo rural.

ABSTRACT

Nowadays black truffle (*Tuber melanosporum*) and summer truffle's (*Tuber aestivum*) crops are gaining importance due to the fungus' high value and demand. Aragón, being a high potential region, is the biggest truffle production area in the world. However, there are high potential zones, such as *Algairen* and *Pardos* mountain ranges, which are not being exploited. The aim of the following analysis is to establish a working methodology so as to delimit the potential areas, by using GIS and Remote Sensing. The awareness of the different potential zones and the establishment of this kind of crops, could suppose a demographic and economic boost for a region which needs a series of actions focused on the rural development.

KEY WORDS

Tuber melanosporum, *Tuber aestivum*, GIS, Remote Sensing, rural development.

ÍNDICE

1. Introducción	6
2. Objetivos	8
3. Análisis geográfico de la zona de estudio	8
3.1. Análisis socioeconómico	8
3.2. Análisis del medio natural	11
4. Materiales y métodos	13
4.1. Materiales	13
4.1.1. Fuentes cartográficas	13
4.1.2. Cartografía derivada	14
4.1.3. Programas informáticos	15
4.2. Caracterización ecológica de las especies hospedadoras	15
4.3. Identificación de las áreas con limitaciones topográficas y edáficas	17
4.3.1. Cartografía de los valores de pH	17
4.3.2. Cartografía de variables topográficas	25
4.4. Identificación de las áreas con limitaciones climáticas	28
4.5. Identificación de las áreas con limitaciones de las especies hospedadoras potenciales	28
4.6. Integración de variables	30
5. Resultados	31
5.1. Trufa negra	31
5.1.1. Identificación de las áreas con limitaciones topográficas	34
5.1.2. Identificación de las áreas con limitaciones edáficas	37
5.1.3. Identificación de las áreas con limitaciones climáticas	39
5.1.4. Identificación de las áreas con limitaciones de las especies hospedadoras	39
5.2. Trufa de verano	41
5.2.1. Identificación de las áreas con limitaciones topográficas	43
5.2.2. Identificación de las áreas con limitaciones edáficas	43
5.2.3. Identificación de las áreas con limitaciones climáticas	45
5.2.4. Identificación de las áreas con limitaciones de las especies hospedadoras	45

5.3. Análisis económico	47
5.3.1. Producción	47
5.3.2. Venta de longo	47
5.3.3. Inversión	47
5.3.4. Comercio de la trufa en el futuro	50
5.4. Una reflexión general	51
6. Conclusiones	52
7. Bibliografía	53
8. Anexos	55

1. INTRODUCCIÓN

Las trufas son hongos que viven asociados simbióticamente a algunas especies vegetales de carácter arbóreo. La simbiosis se materializa mediante unos minúsculos órganos llamados micorizas, que se localizan en el extremo de las raíces más finas y se presentan a modo de pequeños abultamientos. Mediante la micorización se efectúan los intercambios nutricionales y fisiológicos que benefician a ambos simbiontes (Informes Foresta Algairén).

Existen cerca de treinta especies distintas de trufas en Europa, de las cuales solo algunas tienen interés comercial, debido al aroma que desprenden cuando alcanzan la madurez. Las trufas han adquirido esta estrategia para que sus esporas sean esparcidas debido a que los animales del monte o del bosque las comen. Por lo general, en las plantaciones se hace referencia a una especie en concreto que es la trufa negra de invierno, *Tuber melanosporum*, especie muy apreciada y valorada. No obstante, existen otras especies de trufas de notable interés, como es la trufa de verano, *Tuber aestivum*, o la trufa blanca de Italia, *Tuber magnatum*. Estas especies tienen una alta presencia en países del arco mediterráneo como es el caso del este de España, el sur y este de Francia y el norte de Italia.

Los primeros indicios del cultivo de la trufa datan de finales del S. XIX principios del XX. Se producía en algunas encinas una micorización espontánea debida a la abundancia de esporas y propágulos de trufa en los suelos. Sin embargo, en el periodo entre las dos guerras mundiales y sobre todo tras la Segunda Guerra Mundial, hubo un descenso importante de la producción natural motivado también por el éxodo masivo en los años 60 y 70 de las zonas rurales a las áreas industriales de las ciudades. Las condiciones de insolación y espacio abierto que favorecían el desarrollo de la trufa en el monte desaparecieron, al cerrarse éste como consecuencia del abandono del uso de la leña y el aumento en la utilización de combustibles fósiles (carbón, petróleo, etc.). Otros motivos que incidieron en este declive fueron la gestión inadecuada de las truferas naturales, la proliferación de jabalí y la ausencia de medidas administrativas (Informes Foresta Algairén).

El descenso de producción natural coincide con un aumento de la demanda de trufa debido al desarrollo de las sociedades industriales, lo que motivó que distintos centros de investigación y universidades francesas e italianas realizasen trabajos sobre la micorización de especies forestales con la trufa negra para posteriormente establecer plantaciones en terrenos adecuados. Estas investigaciones se iniciaron a partir de la década de los cincuenta y las primeras plantaciones a finales de los sesenta, principios de los setenta (Informes Foresta Algairén).

Actualmente en España existen numerosos estudios que recogen información acerca de las características del entorno necesarias para que se desarrollen las diferentes especies de trufa (Sánchez *et al.*, 2016; Palazón, C., Delgado, I., Barriuso, J., Sánchez, S., & Asensio, C., 2008). Cierto es que la relativa abundancia de zonas aptas para cultivar *Tuber melanosporum*, sumado a su elevado valor de mercado, favorece a que la mayoría de estos estudios estén referidos a esta especie. Sin embargo, cada vez es más frecuente encontrar estudios referentes a otras especies que se están haciendo muy populares, como es el caso de la *Tuber aestivum*.

En Aragón, la escasa tradición trufera sumada al desconocimiento de la misma, ha relegado a la comunidad durante muchos años a un papel secundario en cuanto a la producción del hongo se refiere. Sin embargo, en las últimas décadas la comunidad ha experimentado un crecimiento asombroso en términos de producción, posicionándose en la actualidad como el mayor productor a nivel mundial (Jara Taito. Et al. 2012). No obstante, aún existen numerosas zonas con un alto potencial trufero, que no aprovechan las óptimas cualidades del terreno como resultado del desconocimiento. Es por ello que la generación de mapas que recojan la potencialidad de las diversas zonas es vital para el fomento de las actividades agroforestales en el medio rural.

No obstante, en España existen numerosos productos cartográficos que recogen las potencialidades truferas del territorio como son las generadas para la Comunidad Valenciana (Domínguez, J.A., López, C., Rodríguez, J.A., & Saiz, J.A. 2003), Navarra (González, 2009) y Cataluña (Colinas, C., Capdevila, J.M., Oliach, D., Fischer, & C.R., Bonet, J.A., 2007), o como para las provincias de León (Rodríguez-Pérez, J.R., Accedo Casado, C., Marabel García, M., & Álvarez Taboada, M.F., 2008), Albacete (Honrubia, M., Fernández, A., Moya, D., González, A., & De las Heras, J., 2006), Huesca (Serrano-Notivoli *et al.*, 2014) o Zaragoza (Barriuso-Vargas, J.J., Serrano-Notivoli, R., Martín-Santafé, M., Sánchez, S., & Cuadrat, J.M., 2014). Sin embargo, estas cartografías presentan ciertas deficiencias en relación con el uso de información detallada de las propiedades edáficas, muy determinantes en el desarrollo del hongo. Esta carencia de información suele suplirse mediante el uso de fuentes de información indirecta información (mapa geológico y litológico) o mediante localizaciones de truferas conocidas.

En este Trabajo de Fin de Grado se propone una metodología para generar un producto cartográfico, similar a los más arriba mencionados, pero introduciendo información detallada de los valores de pH del suelo, claves para identificar adecuadamente las zonas con mayor potencial para el desarrollo de cultivos de *Tuber melanosporum* (trufa negra) y *Tuber aestivum* (trufa de verano). El análisis se realizará en una zona piloto localizada en un sector de las Sierras Paleozoicas zaragozanas y el Somontano de Cariñena, en donde, debido a las características socio-económicas, este tipo de cultivos podría contribuir positivamente al

desarrollo rural de la zona, incrementando su tejido productivo y coadyuvando en el proceso de fijación de la población.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es proponer una metodología para la identificación de zonas potenciales para el cultivo de trufa negra (*Tuber melanosporum*) y trufa de verano (*Tuber aestivum*), distinguiendo entre zonas silvestres/naturales y zonas en las que se requiere aplicar distintos tratamientos de carácter agrícola para el cultivo de la misma. La metodología propuesta se basa en la utilización conjunta de herramientas de SIG, datos de teledetección y otras fuentes de información espacial. Además, se realizará una estimación económica de carácter general de los costes de producción y comercialización que tendría la puesta en marcha de cultivos de trufa.

3. ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona seleccionada cubre una extensión de 507 km² en la que convergen las comarcas de Comunidad de Calatayud, Campo de Cariñena y Campo de Daroca, y los 25 términos municipales señalados en la Tabla 1 y representados en la Figura 1.

3.1. Análisis socio-económico

Estos municipios representan el paradigma del medio rural español, con poblaciones envejecidas y evidentes déficits de población. Todos ellos son municipios con menos de 1000 habitantes (a excepción de Cariñena) y según los datos del Censo de Población y el Padrón municipal, todos ellos han perdido población en los últimos 100 años, tal y como se ve reflejado en la Gráfica 1.

Comunidad de Calatayud	Campo de Cariñena	Campo de Daroca
Belmonte de Gracián	Aguarón	Murero
Tobed	Cariñena	Manchones
Mara	Encinacorba	Retascón
Orera	Paniza	Villadoz
Ruesca		Badules
Fuentes de Jiloca		Fombuena
Montón		Cerveruela
Villafeliche		Villarreal de Huerva
Miedes de Aragón		Mainar
Codos		Torralbilla
		Langa del Castillo

Tabla 1. Municipios y Comarcas comprendidas en el área de estudio.
Elaboración propia. Fuente: IAEST.

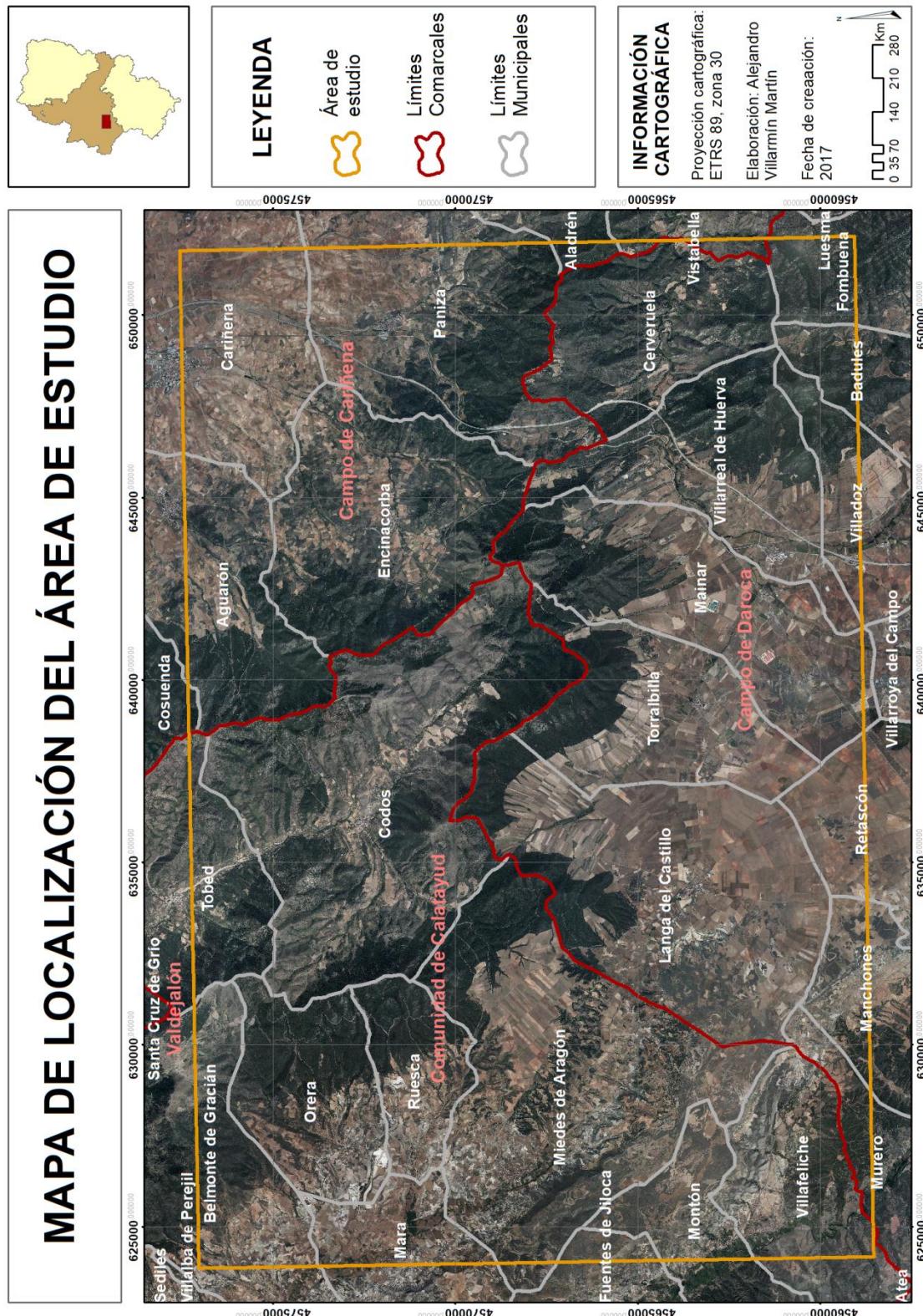


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio. Elaboración propia.

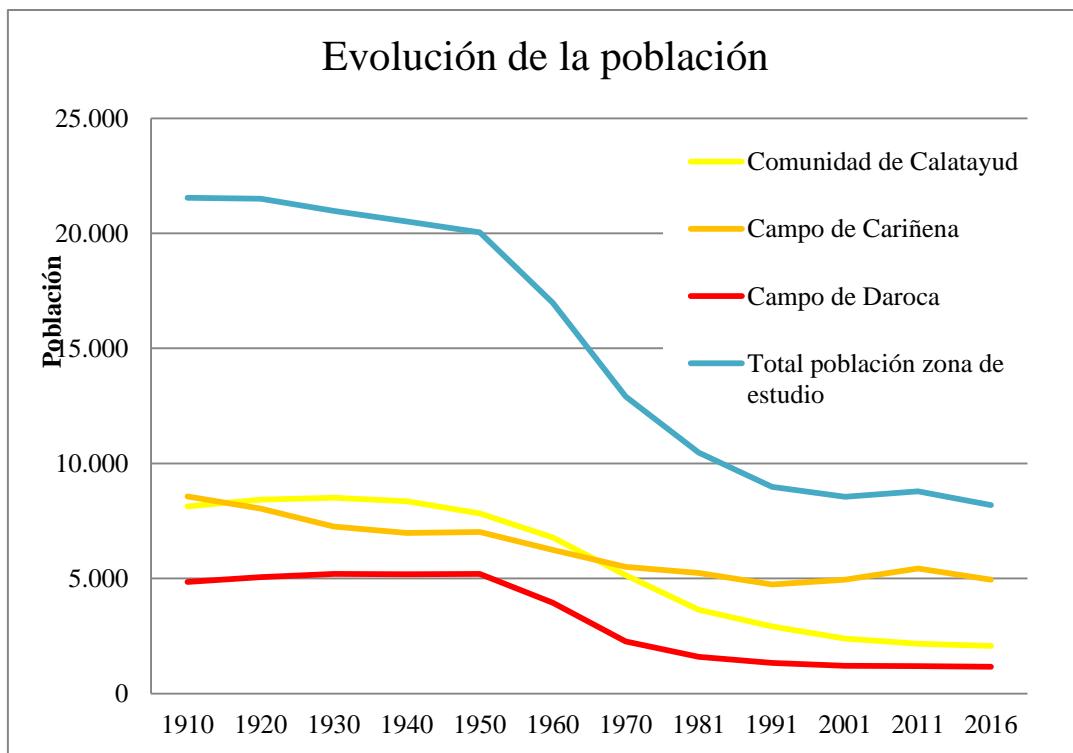


Gráfico 1. Evolución demográfica de la población en la zona de estudio por Comarcas.
Elaboración propia. Fuente: IAEST.

Las cifras reflejadas en las comarcas muestran que todas ellas, a excepción del Campo de Cariñena, muestran una tendencia similar, con una población rural que se mantiene hasta los 50, momento en el que comienzan a caer las cifras, volviéndose a estancar a finales de los 70, aunque con una tendencia descendente. El caso del Campo de Cariñena es diferente al resto debido a que entra dentro del área de estudio la capital comarcal (Cariñena) y tres municipios más, por lo que los resultados se ven distorsionados. Aun con todo, también se da una acusada pérdida de población, que describe la misma estructura de las dos comarcas anteriores pero más suavizadas. La baja densidad de la población de la zona, la atomización de la misma (Cariñena), la población envejecida y los déficits de población, son la radiografía perfecta de una zona con un futuro incierto.

En lo que respecta al ámbito económico, las cifras de afiliados a la seguridad social por sector muestran que, en general, la economía de la zona es propiamente rural con un fuerte ocupación en el sector agrícola y una baja diversificación de la misma. Al igual que en el caso de la población los datos obtenidos en las comarcas de la Comunidad de Calatayud y el Campo de Daroca son muy similares, con un alto porcentaje de población ocupada en el sector servicios y la agricultura, esta última presenta unos porcentajes de ocupación mayores. En la Comarca de Cariñena el peso de Cariñena y los escasos municipios rurales que entran dentro del área de estudio hacen que los valores de ocupación se distorsionen y muestren una notoria diversificación en los distintos sectores, eso sí con la agricultura por delante.

3.2. Análisis del medio natural

Desde el punto de vista morfo-estructural el área de estudio se encuentra situada en el extremo meridional del Somontano de Cariñena y las Sierras Paleozoicas del Sistema Ibérico Zaragozano.

Las Sierras Paleozoicas (Sierras de Algairén y Pardos) están compuestas por dos ramales que tienen dirección NE - SE con alturas de entre 1.200 y 1.400 m. La Sierra de Algairén se encontraría adscrita dentro del ramal oriental, el cual está formado por una serie de horst disimétricos fallados, situados sobre cuarcitas y pizarras con edades desde el cámbrico hasta el devónico. Por su parte la Sierra de Pardos forma parte del ramal occidental, estructurado mediante un único horst disimétrico marginal que tiene una altitud sobre los 1.000 m. Se encuentra armada sobre cuarcitas y pizarras con edades desde el cámbrico medio hasta las pizarras del ordovícico.

En los dos casos se ha hablado de disimetría, por lo que son relieves que no emergen de manera homogénea, presentando mayor altitud en un lado que en otro. De tal modo, en este caso, el borde oeste de esta rama occidental se hunde bajo los materiales mesozoicos, mientras que el borde Este, se resuelve mediante una falla inversa, la cual, es la responsable de que el contacto de la depresión Daroca-Calatayud sea tan abrupto.

Una de las características de estas sierras es el predominio de formas de relieve suaves, alomadas. Esto se justifica primero por el predominio de materiales de pizarras, y segundo por el importante efecto de la disección fluvial en esta zona. No obstante tanto como para una como para la otra la forma de relieve predominante son los relieves apalachenses.

El Somontano de Cariñena se caracteriza por un importante sistema de glacis de acumulación bien conservados, como resultado de la baja erosión fluvial. Este somontano tiene una importante componente silicio, ya que como se ha mencionado en el apartado anterior, las zonas de abastecimiento de materiales están directamente insertadas en las cuartizas y pizarras.

La Depresión de Calatayud es una gran fosa tectónica, correspondiente a una dovela hundida, separando los dos ramales paleozoicos explicados anteriormente. Esta dovela se formó durante las distensiones intramiocenas, la cual generó un lago interior, con una gran cuenca sedimentaria endorreica, al igual que pasa en la cuenca del Ebro, pero que tiene casi el mismo origen, teniendo el mismo orden de disposición de los sedimentos. Las calizas que encontramos en la parte inferior de las dovelas enlazan topográficamente con las calizas de la superficie de erosión fundamental. Los relieves más característicos están vinculados al relleno terciario existente, de tal manera que son los relieves tabulares y sistemas de glacis los más predominantes en la zona.

La zona de estudio se localiza dentro del entorno climático mediterráneo, sin embargo debido a las diferencias altitudinales producidas por los distintos tipos de relieve, existen variaciones dentro del mismo:

El *clima de montaña mediterráneo continentalizado* (sierras de Algarén y pardos) es un clima seco, aunque presenta una amplia superficie con temperaturas medias bajas. La influencia de la depresión del Ebro en la cordillera ibérica, posee una importancia notoria, ya que los sistemas hídricos permiten el avance de las condiciones climáticas del valle hacia la ibérica. Por lo general las precipitaciones no suelen sobrepasar los 1000 mm. La distribución de estas precipitaciones presenta un carácter equinoccial y debido a la disposición diagonal que tienen las serranías ibéricas se pueden encontrar una serie de gradientes, de tal modo que la zona oriental tiene mayor influencia mediterránea, mientras que la zona septentrional, presenta una influencia más clara del atlántico.

El *clima mediterráneo continental seco* (depresión de Calatayud) es el clima característico del tramo central de la depresión del Ebro y de las depresiones intraibéricas, con matizaciones. Tanto la continentalidad y la extrema aridez, son dos de las principales características de este clima. En términos generales las precipitaciones de la zona no superan los 400 mm al año. Como norma general, la temperatura también varía mucho en función del punto en el que nos encontremos, pero es muy exagerada la amplitud térmica, en la cual influye la inversión térmica, las nieblas persistentes y la sequía.

La vegetación de la zona de estudio pertenece a la Región biogeográfica Mediterránea, la cual presenta diferencias entre las especies que se localizan en la zona de montaña y en las llanuras. Sin embargo hay que tener en cuenta que la degradación es muy notoria en la zona, debido al generalizado uso agrario del suelo. Por esta razón no existe un gradiente natural que dé como resultado unas zonas de montaña con vegetación forestal y una vegetación esteparia localizada en las llanuras. Prácticamente toda la llanura de la zona está cubierta por cultivos, especialmente vides, mientras que en las zonas de montaña también existen abundantes zonas de cultivos y masas de vegetación arbórea y arbustiva. La disposición ácida de la litología preexistente condiciona en gran medida las especies que habitan en las sierras, destaca la amplia presencia de *Quercus ilex* pero también existen otras especies arbóreas como el *Quercus Faginea*, *Quercus rotundifolia*, el *Pinus nigra* o el *Pinus pinaster*. En cuanto a la vegetación arbustiva esta se compone de especies como *Gemsa scorpius*, *Brachypodium retusum*, *Festuca*, *Rosmarinus officinalis*, *Thymus vulgaris*, *Lavandula pedunculata* o la *Stoechas*.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

La información necesaria para realizar el análisis proviene tanto de fuentes cartográficas de acceso gratuito como de diferentes cartografías generadas al efecto, siendo estas últimas las más abundantes. Entre las primeras encontramos:

- Modelo Digital de Elevaciones (MDE)
- Corine Land Cover (CLC)
- Mapa Forestal de España (MFE)
- Imagen Sentinel (IS)
- Mapas climáticos: Incluye Mapa de Temperatura Media Anual (TMA), Mapa de Temperatura Mínima Media del mes de Enero (TMME), Mapa de Temperatura Máxima Media del mes de Julio (TMMJ), Mapa Precipitación Anual (PA) y Mapa de Precipitación Estival (PE)
- Mapa geológicos (MG)

Por su parte la cartografía derivada consta de:

- Cartografía de pH (pH)
- Cartografía de Pendientes (MPen)
- Cartografía de Vegetación natural apta para la micorrización (MMVeg)
- Cartografía NDVI (NDVI)
- Cartografía de unidades de referencia espacial

En las siguientes secciones se describe de manera detallada cada una de ellas.

4.1.1. Fuentes cartográficas

Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Esta información fue adquirida directamente del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Se trata de información en formato raster, con un tamaño de pixel de 5 x 5m, proyectada en coordenadas UTM (Huso 30; ED 1980). De este mapa se derivan los mapas de Modelo Digital de Elevaciones y el mapa de pendientes.

Corine Land Cover 2012 (CLC). La información se obtuvo por medio del Instituto Geográfico Nacional (IGN). La información es presentada en formato vectorial con una escala 1:100.000 y proyectada mediante coordenadas UTM (Huso 30; ETRS-1989). De este mapa se obtuvieron los usos y ocupación del suelo que más tarde se cruzarán con la información del mapa geológico para obtener las unidades de referencia espacial, utilizadas para realizar el muestreo de la información del pH.

Mapa Forestal de España (MFE). Esta información fue obtenida tanto en formato analógico como en formato digital. En un principio el docente Juan Luís Mora Hernández cedió la cartografía en papel y más tarde se obtuvo en formato digital por medio del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA). La versión utilizada usa una escala 1:50.000 en formato vectorial, proyectado mediante el sistema de coordenadas UTM (Huso 30; ETRS-1989). Mediante este mapa se elaboró una cartografía de vegetación natural apta para la micorrización.

Imagen Sentinel 2A (Programa Copérnico de la Agencia Espacial Europea -ESA). El sensor “Multi-espectral Image” (MSI), a bordo de Sentinel 2A, proporciona de manera gratuita 13 bandas espectrales situadas entre la regiónpectral de visible hasta el infrarrojo de onda corta. La imagen se descargó del portal del Centro de datos científicos de Copernicus ya en valores de reflectividad y fue corregido atmosféricamente mediante el programa SEN2COR. Se trata de información a una resolución de píxeles de 10 x 10m, proyectada en coordenadas UTM (Huso 30; ETRS-1989). El análisis de la densidad de la cubierta vegetal se realizó mediante la extracción de un índice de vegetación espectral de diferencia normalizada (NDVI).

Mapas climáticos (incluyen mapa de precipitación anual, mapa de precipitación estival, mapa de temperatura anual, mapa de temperaturas medias mínimas del mes de enero y mapa de temperaturas medias máximas del mes de julio). Esta información se encuentra disponible en el Atlas climático de Aragón (fechada su última actualización en el año 2007), pero debido a que desde esta plataforma no se puede obtener dicha información en un formato con el software utilizado, el docente Miguel Ángel Saz Sánchez facilitó la información en formato raster. La cual está proyectada en coordenadas UTM (Huso 30; ETRS-1989).

Mapa geológico. Esta información fue adquirida directamente del geoportal SITEbro. Se trata de una cartografía que recoge toda la litología adscrita al dominio de la Cuenca Hidrográfica del Ebro en formato vectorial. La información está proyectada en coordenadas UTM (Huso 30; ETRS-1989). Gracias a esta y a la información obtenida del Corine se obtuvo la cartografía de unidades de referencia espacial utilizada para determinar las zonas de muestreo.

4.1.2. Cartografía derivada

Cartografía de pH. Esta información hace referencia al resultado de interpolar 43 muestras recogidas en la zona, obteniendo de esta forma una cartografía en formato raster, con un tamaño de pixel de 5 x 5m y proyectada en el sistema de coordenadas UTM (Huso 30; ETRS-1989). Para obtener una cartografía precisa de los valores del pH de la zona.

Cartografía de pendientes. Esta información se obtuvo al tratar el MDE anteriormente mencionado. Presenta un formato raster, con un tamaño de pixel de 5 x 5m y proyectada mediante el sistema de coordenadas UTM (Huso 30; ETRS-1989).

Cartografía de vegetación natural apta para la micorrización. Esta se generó a partir de extraer las especies arbóreas presentes en el MFE susceptibles a la micorrización de la zona de estudio. Presenta un formato vectorial y está proyectada mediante el sistema de coordenadas UTM (Huso 30; ETRS-1989).

Cartografía NDVI. Esta información se obtuvo al tratar las imágenes Sentinel. Presenta un formato raster con una resolución de 10 x 10m, proyectada mediante el sistema de coordenadas UTM (Huso 30; ETRS-1989). El resultado es una cartografía que muestra la densidad de la vegetación en la zona.

Cartografía de unidades de referencia espacial. Es el resultado de fusionar el mapa geológico y la cartografía del Corine. Muestra los usos del suelo y la litología que existe en estos. Está representada en formato vectorial con una escala 1:100.000 y proyectada con el sistema de coordenadas UTM (Huso 30; ETRS-1989).

4.1.3. Programas informáticos

Todo el proceso de generación de datos y mapas, así como la organización de los datos, análisis de la información y presentación de los resultados, se ha realizado con los softwares Microsoft Excel 2010, SEN2COR, Arcgis 10.4.1. y la App de Orux map.¹

4.2. Caracterización ecológica de las especies hospedadoras

Un paso fundamental para realizar estudios de capacidad del terreno es conocer los requerimientos climáticos, fisiográficos, geográficos y edáficos de las especies de interés. La siguiente información procede de numerosos informes facilitados por la Presidenta de la Asociación de Truficultores de Zaragoza (Trinidad Usón Gasca) y de la empresa especializada en producción y venta de Trufa Foresta Algairén.

La trufa negra y la trufa de verano se distribuyen de manera natural por gran parte del territorio aragonés; entre los 400 y los 1200 m en el caso de la trufa negra y entre los 0 y 1500 m en el caso de la trufa de verano. Ambas especies se encuentran asociadas a otras especies vegetales, tales como *Quercus ilex*, *Quercus coccifera*, *Quercus faginea*, *Pinus nigra*, *Corylus avellana*, *Juglans regia* y *Tilia*. Se desarrollan en suelos básicos, aceptando un valor de pH que va desde 7,5 hasta 8,5 en el caso de la trufa negra y 7,12 hasta 8,45 en el caso de la trufa de verano, no soportan zonas con pendientes elevadas, por lo que en ambos casos no se pueden encontrar en superficies con más de un 60% de inclinación. La Trufa es una especie que se puede encontrar

en zonas de clima mediterráneo. La trufa negra se puede encontrar en áreas con temperaturas medias anuales de entre 8 y 15º C, entre 1 y 8º C de temperatura media de invierno y entre 16,5 y 23º C de temperatura media en el mes de verano; en el caso de la trufa de verano se localiza en zonas donde la temperatura media anual ronda entre los 10 y 18º C, la temperatura media invernal va desde los 2º C hasta los 12º C y la temperatura media del verano varía desde los 20ºC hasta los 24º C. En condiciones naturales se desarrollan en zonas con la precipitación que varía entre los 400 hasta los 1500 mm y en el caso de la trufa negra también necesita una precipitación estival que ronda entre los 75 y los 185 mm.

PARÁMETROS	Antrópico		Natural	
	Tuber melanosporum	Tuber aestivum	Tuber melanosporum	Tuber aestivum
Precipitación total	-	-	400 - 1500 mm	400 - 1500 mm
Precipitación estival	-	-	75 - 185 mm	-
Temperatura media anual	8 - 15 C	10 - 18 C	8 - 15 C	10 - 18 C
Temperatura del mes más frío	1 - 8 C	2 - 12 C	1 - 8 C	2 - 12 C
Temperatura del mes más cálido	16,5 - 23 C	20 - 24 C	16,5 - 23 C	20 - 24 C
Altitud	400 - 1200 m	0 - 1500 m	400 - 1200 m	0 - 1500 m
Pendiente	0 - 60%	0 - 60%	0 - 60%	0 - 60%
pH	6,5 - 8,5	6,12 - 8,45	7,5 - 8,5	7,12 - 8,45
Especies hospedadoras	-	-	<i>Quercus</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus coccifera</i> , <i>Quercus faginea</i> , <i>Pinus nigra</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Juglans regia</i> y <i>Tilia</i>	<i>Quercus</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus coccifera</i> , <i>Quercus faginea</i> , <i>Pinus nigra</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Juglans regia</i> y <i>Tilia</i>

Tabla 2. Parámetros necesarios para el desarrollo de la trufa negra y trufa de verano.

Fuente: Informes Foresta Algairén.

4.3. Identificación de áreas con limitaciones topográficas y edáficas

Las zonas en las que se han encontrado árboles micorrizados presentan unas características tanto topográficas como edáficas muy específicas. Generalmente en los distintos análisis donde se valora la potencialidad de las zonas para el cultivo de trufa se suelen medir factores del suelo como el porcentaje de caliza activa, la textura, el contenido de materia orgánica y el pH, mientras que a lo que factores topográficos consideran la altura, la pendiente y la orientación (Serrano-Notivoli *et al.*, 2014).

Sin embargo, otros autores apunta que a nivel edáfico el factor más importante es el pH (Rodríguez *et al.*, 2008), tal y como lo corroboró el Dr. Juan Luís Mora Hernández (comunicación oral), ya que factores como la textura y el contenido de materia orgánica no deberían de ser un problema en el área de estudio (teniendo en cuenta los parámetros que demandan estos tipos de hongos). También apuntó que la importancia de la disposición del terreno sería despreciable en esta zona, debido a la potencialidad de la misma y que las condiciones de microclima que diferenciarían una ladera de umbría de una de solana no afectarían en exceso en el área de estudio (si puede ser limitante en otras zonas con una menor potencialidad donde otros autores, como Notivoli, señalan que las trufas se desarrollan en las laderas con disposición N). Así pues los factores topográficos y edáficos que se consideraron a la hora de realizar el análisis dicotómico fueron el pH, la altitud y la pendiente.

4.3.1. Cartografía de los valores de pH

Tras realizar una exhaustiva búsqueda de cartografía de suelos y comprobar que no existe ningún producto que se ajuste a la escala espacial necesaria, se decidió realizar una propia. Esta se realizó en cinco etapas: Diseño del muestreo, Extracción de muestras de campo, Procesado en Laboratorio, Análisis en gabinete, Elaboración de la cartografía

Diseño del muestreo

En el diseño del muestreo se identificaron unidades de referencia espacial resultado de la combinación, en el contexto de los SIG, entre litología y categorías de Corine Land Cover. El objetivo era conseguir una capa en la que hubiese polígonos con un tipo de uso/ocupación y litología determinada, dada la gran influencia de estas variables sobre los valores de pH del suelo. Debido a la excesiva cantidad de combinaciones posibles entre las categorías de litologías y Corine Land Cover se decidió agruparlas previamente.

Las clases litológicas fueron agrupadas en 5 clases diferentes en función del grado de basicidad, siendo las que poseen un valor 1 las litologías más básicas y 5 las más ácidas. Las clases del *Corine Land Cover* fueron agrupadas en 8 clases diferentes dependiendo del uso y

composición del suelo. La clase “0” no se tuvo en cuenta por tratarse de zonas urbanizadas. De la combinación de ambas capas se obtuvieron 35 clases diferentes. Posteriormente los polígonos con un área menor a 15 hectáreas fueron eliminados, reduciendo a 22 el número de unidades. En las tablas 3 y 4 se recogen los diferentes agregados propuestos.

IDENTIFICADOR	LITOLOGÍA
1	Calizas y dolomnas Calizas y margas Calizas. Calizas margosas. Margas y arcillas Calizas. Margas y arcillas Dolomcas. Carniolas y calizas Dolomsas y margas Conglomerados Conglomerados. Areniscas y lutitas Conglomerados. Gravas. Arenas y arcillas Cantos con matriz limo-arcillosa Gravas. Limos y arcillas Litolitas rojas y conglomerados Lutitas. Arcillas rojas. Arenas y conglomerados Margas abigarradas Margas y calizas Margas y calizas margosas
2	Cantos con matriz limo-arcillosa Gravas. Limos y arcillas
3	Conglomerados Conglomerados. Areniscas y lutitas Conglomerados. Gravas. Arenas y arcillas
4	Litolitas rojas y conglomerados Lutitas. Arcillas rojas. Arenas y conglomerados
5	Pizarras. Cuarcitas. Areniscas. Conglomerados. Calizas y margas Rocas volcánicas

Tabla 3. Agrupaciones litológicas.

IDENTIFICADOR	CLASE CORINE	USOS DEL SUELO
0 (no aparece en el mapa)	111 133	Tejido Urbano Continuo Zonas en Construcción
1	211 243	Tierras de labor en secano Mosaicos cultivos y vegetación natural
2	221 222	Regadíos Frutales
3	311	Bosques de frondosas
4	312	Bosques de coníferas
5	313	Bosque mixto
6	321	Pastizales
7	323 324 331 333	Vegetación esclerófila Matorral boscoso de transición Vegetación escasa Vegetación escasa

Tabla 4. Agrupaciones usos del suelo.

Extracción de muestras de campo

El muestreo se realizó el 14 de octubre de 2016, debido a que durante esa época del año el pH del suelo se encuentra en valores medios. La extracción de datos se realizó en sentido norte-sur, teniendo en cuenta la localización de los diferentes tipos de unidades y su accesibilidad previamente se identificó una serie de puntos en los que realizar la extracción, tal y como queda reflejado en la Figura 2. Las muestras fueron recogidas a una profundidad aproximada de unos 10 cm, debido a que esta es la profundidad a la que se desarrolla el hongo (Informes Foresta Algairén) y fueron almacenadas y marcadas en bolsas individuales para su posterior procesamiento en el laboratorio del departamento.

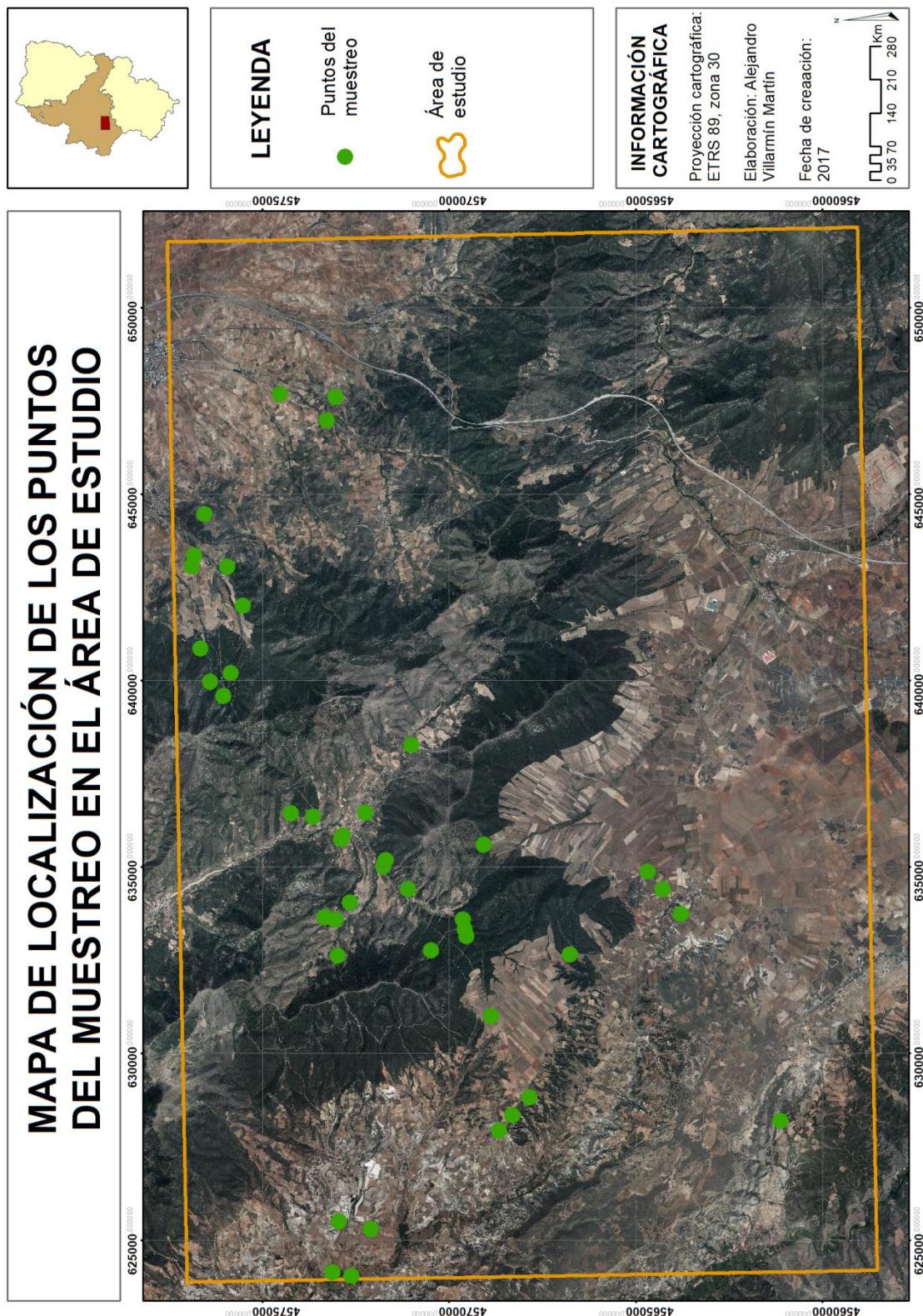


Figura 2. Mapa de la localización de las zonas del muestreo. Elaboración propia.

Procesado en laboratorio

Las muestras fueron procesadas a lo largo de 9 sesiones, en el laboratorio del departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, de la Universidad de Zaragoza. El método utilizado para realizar las mediciones de pH fue el método electrométrico y la temperatura a la que se realizó fue de 20°C. El proceso comprendía cuatro fases:

- a) Tamizado: Mediante esta fase se pretende aislar los materiales gruesos (> 2 mm) de los finos (< 2 mm). Para ello se utiliza un tamiz de 2 mm.
- b) Pesado: Tras obtener el material tamizado se pesa hasta obtener una muestra de 20 gr del material fino.
- c) Disolución y removido: Los 20 gr. de muestra se vierten en un vaso de precipitados al que se le añaden 50 mm de agua destilada. El contenido del vaso de precipitados se remueve durante 10 minutos y se deja reposar durante 30 minutos. Esto ayuda a la liberación de los iones positivos del Hidrógeno.
- d) Medición: Finalmente se introduce la solución de la muestra en el medidor de pH y se recoge el valor.

Análisis en gabinete

Tras obtener los datos del muestreo se generó una base de datos usando el programa Microsoft Excel 2010. Los valores del pH muestran similitudes con otras muestras cuyas litologías y usos del suelo son los mismos, llegando incluso a ser iguales. Sin embargo, tras realizar un análisis de calidad fueron detectados valores anómalos debido al procesado en el laboratorio o a la falta de correspondencia con las unidades de referencia espacial, como consecuencia de la resolución espacial de los mapas utilizados en el muestreo. Siete de las 43 muestras mostraban unos valores extraños por lo que al comparar la localización donde se extrajeron dichas muestras con la información de litología y usos del suelo se decidió modificar el tipo de litología que presentaban en 5 casos, ya que los puntos de muestreo estaban muy cercanos a zonas donde la litología era diferente y con ese tipo de litología si tenía sentido que se diesen esos valores de pH.

Los puntos que fueron modificados fueron los siguientes: 17 (paso de ser pizarras a conglomerados), 22 (paso de ser una zona de pizarras a ser lutitas, limonitas, arcillas y conglomerados), 23 (paso de ser una zona de pizarras a ser depósitos cuaternarios aluviales y glaciares), 29 (paso de ser conglomerados a pizarras) y 50 (paso de ser una zona de depósitos cuaternarios aluviales y glaciares a ser pizarras). Las dos muestras restantes se decidió no incluirlas en la interpolación debido a los resultados obtenidos, los cuales no coincidían con el resto y

daban a entender que había sucedido un error a lo largo del proceso o que por el contrario no eran representativas de la zona de estudio.

Elaboración de la cartografía

Para obtener un mapa a partir de los valores de pH obtenidos en campo se aplicó un método de interpolación. Teniendo en cuenta los resultados de Villatoro *et al.* (2008) se utilizó el método Kriging aplicándolo sobre los puntos del muestreo. Mediante el método estadístico *Kriging* se identifican las relaciones estadísticas entre los puntos medios, consiguiendo información teórica de los valores comprendidos en un territorio a través de unos puntos previamente definidos (las zonas del muestreo). Debido a la correlación existente entre los niveles de pH del suelo y la litología y usos del suelo se realizaron interpolaciones con los puntos del muestreo pertenecientes a la clase 5 de las agrupaciones litológicas y, por separado, con el resto de zonas de muestreo comprendidas dentro del resto del territorio, el cual presentaba unas litologías más básicas. El resultado final queda reflejado en la figura 3. Además de obtener la cartografía ya mencionada también se obtuvo una cartografía que recogía las varianzas resultantes de realizar la interpolación. Esta cartografía es la representada en la figura 4, en la cual se puede apreciar como el valor de la varianza aumenta a la vez que aumenta la distancia con los puntos en los que se tomó el muestreo.

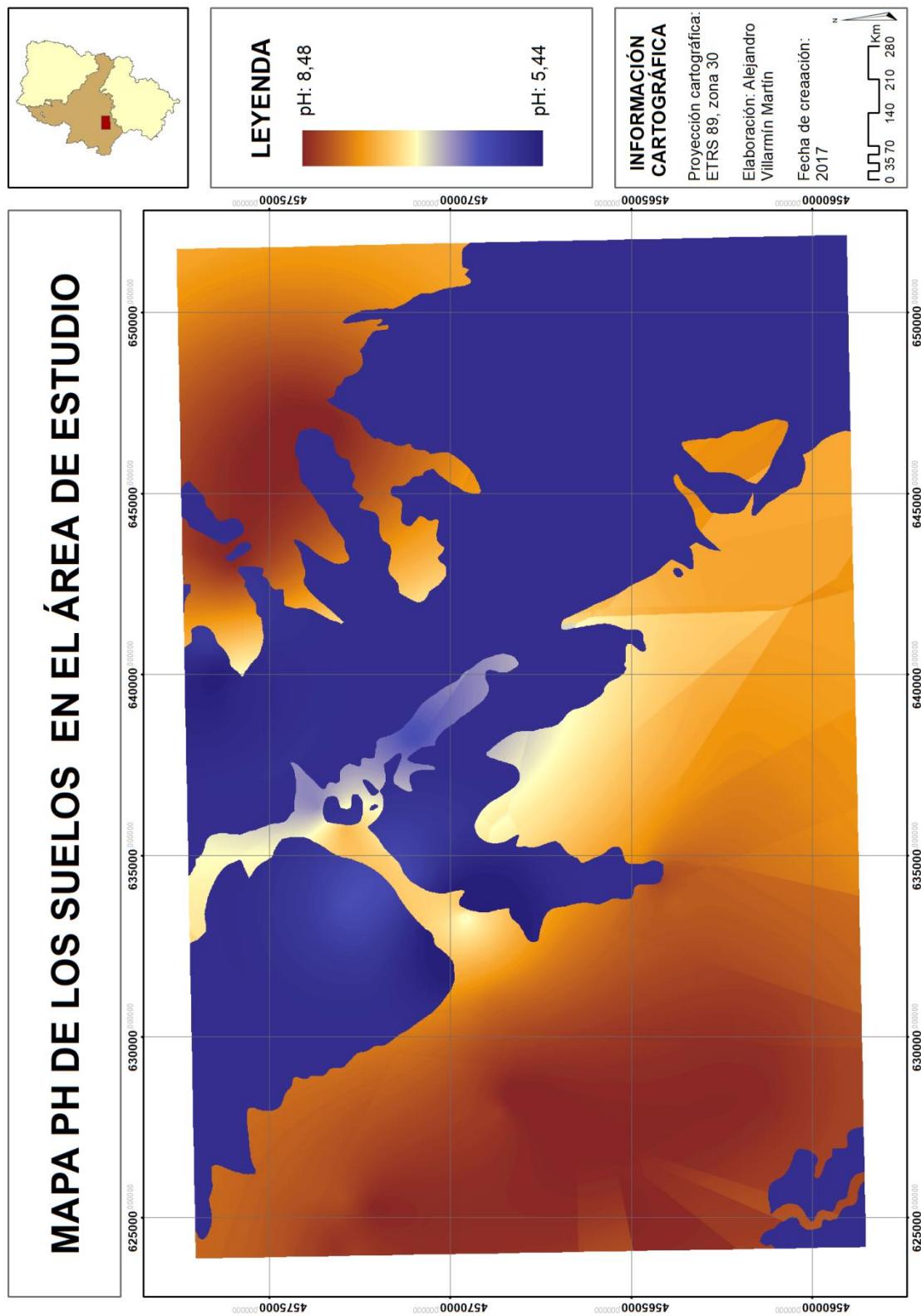


Figura 3. Mapa de los diferentes niveles de pH ubicados en la zona de estudio. Elaboración propia.

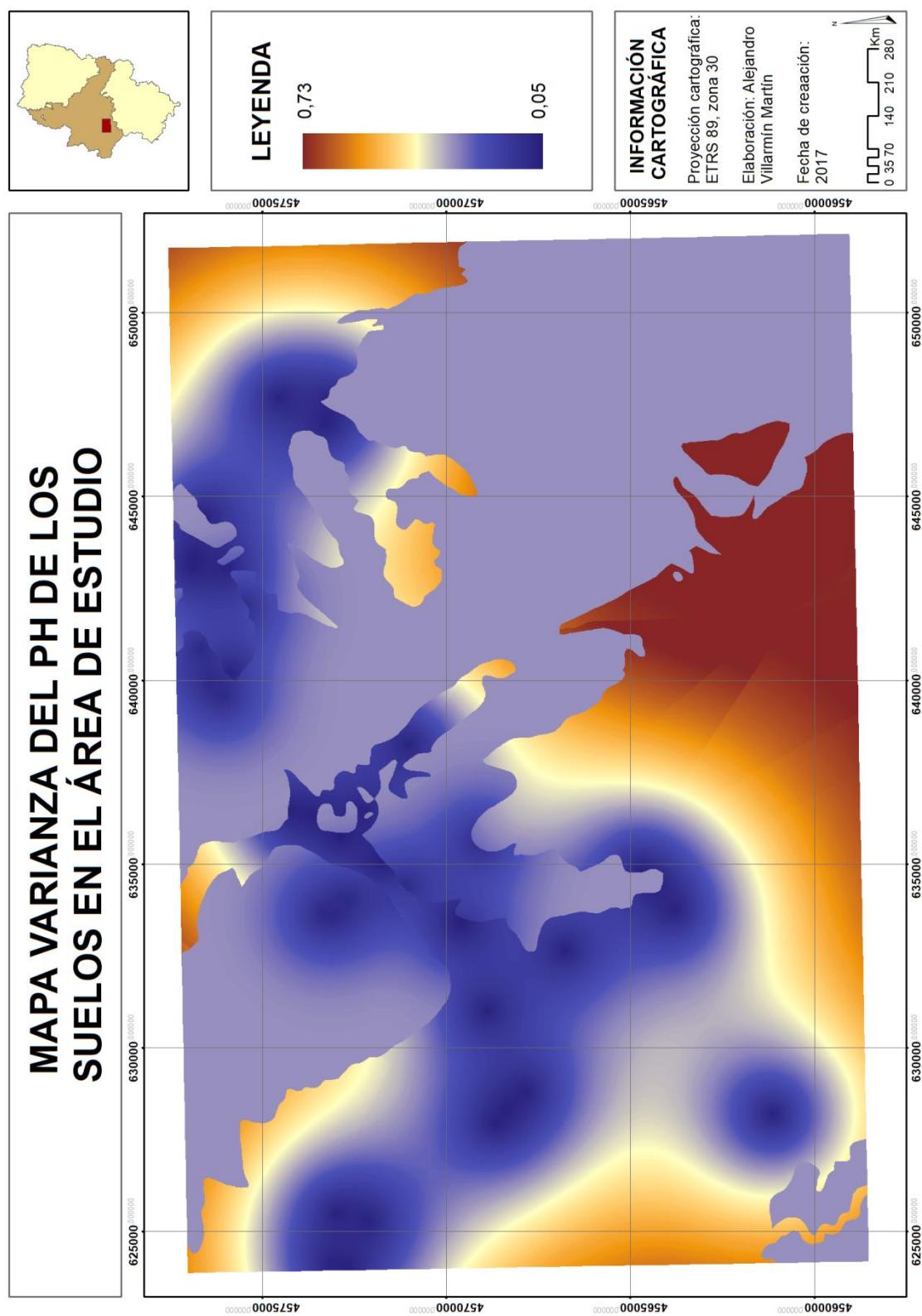


Figura 4. Mapa de la varianza del pH de los suelos en el área de estudio. Elaboración propia.

4.3.2. Cartografía de variables topográficas

Para el desarrollo de la cartografía de altitudes se utilizó el MDE para delimitar las altitudes óptimas demandadas por los hongos. La trufa negra se desarrolla en zonas con una altitud comprendida entre los 400 y 1200 m, mientras que la trufa de verano se desarrolla en zonas que abarcan altitudes desde el nivel del mar hasta los 1500 m. En la Figura 5, se muestran las zonas con limitaciones altitudinales, las cuales solo afectan a la trufa negra debido a que existen áreas con una altitud superior a los 1200 m, pero no superiores a 1500 m o inferiores a 400 m, en el área de estudio. La variable de la pendiente es, junto a las especies hospedadoras, la única variable común en ambas especies. Como ya se ha mencionado anteriormente las especies de trufa negra y trufa de verano se distribuyen en zonas con pendientes comprendidas entre los 0 y 60 %. La cartografía de pendientes, al igual que la cartografía de altitud, ha sido desarrollada mediante el MDT. El resultado es el presentado en la Figura 6.

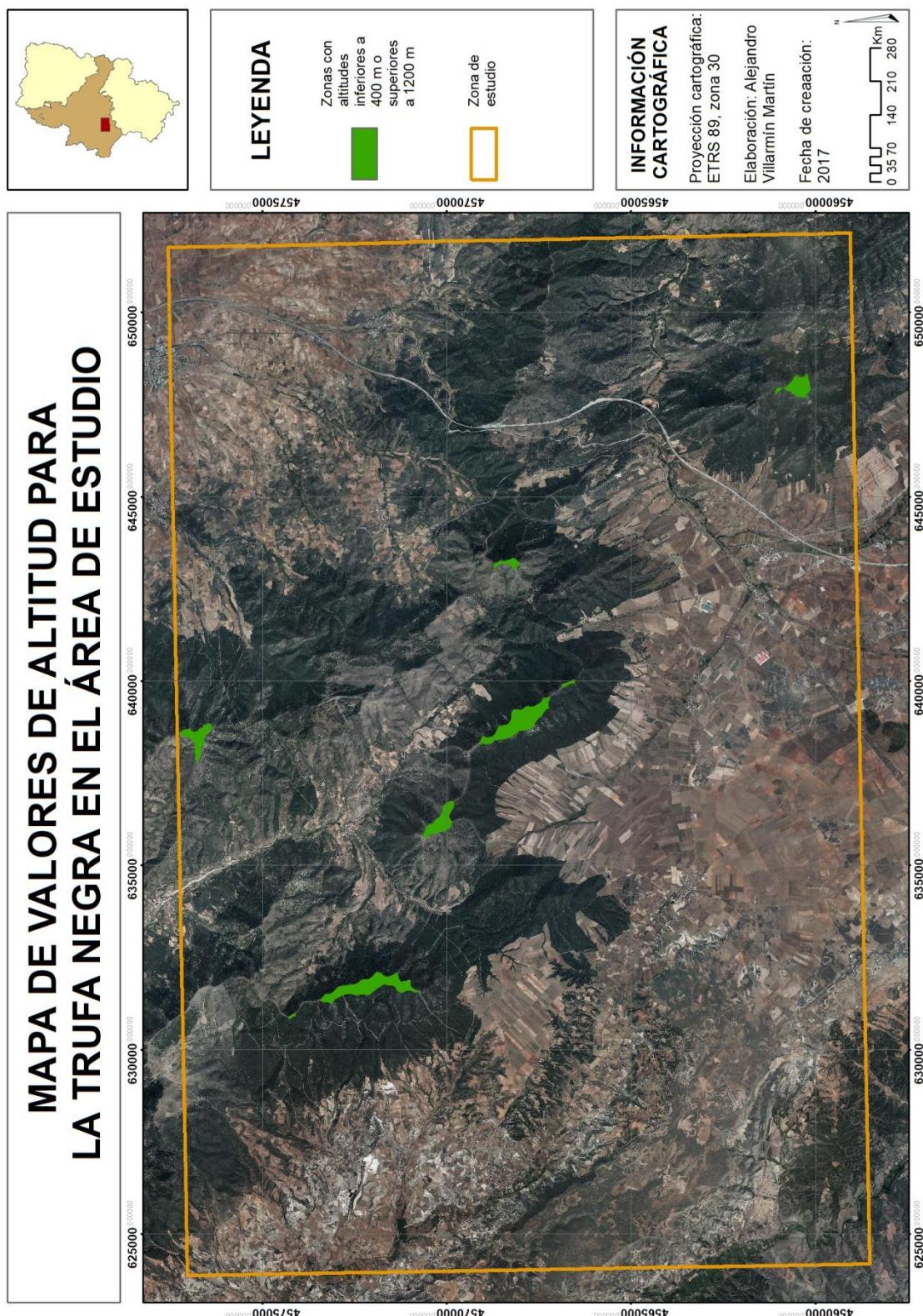


Figura 5. Mapa de valores de altitud para la trufa negra del área de estudio. Elaboración propia.

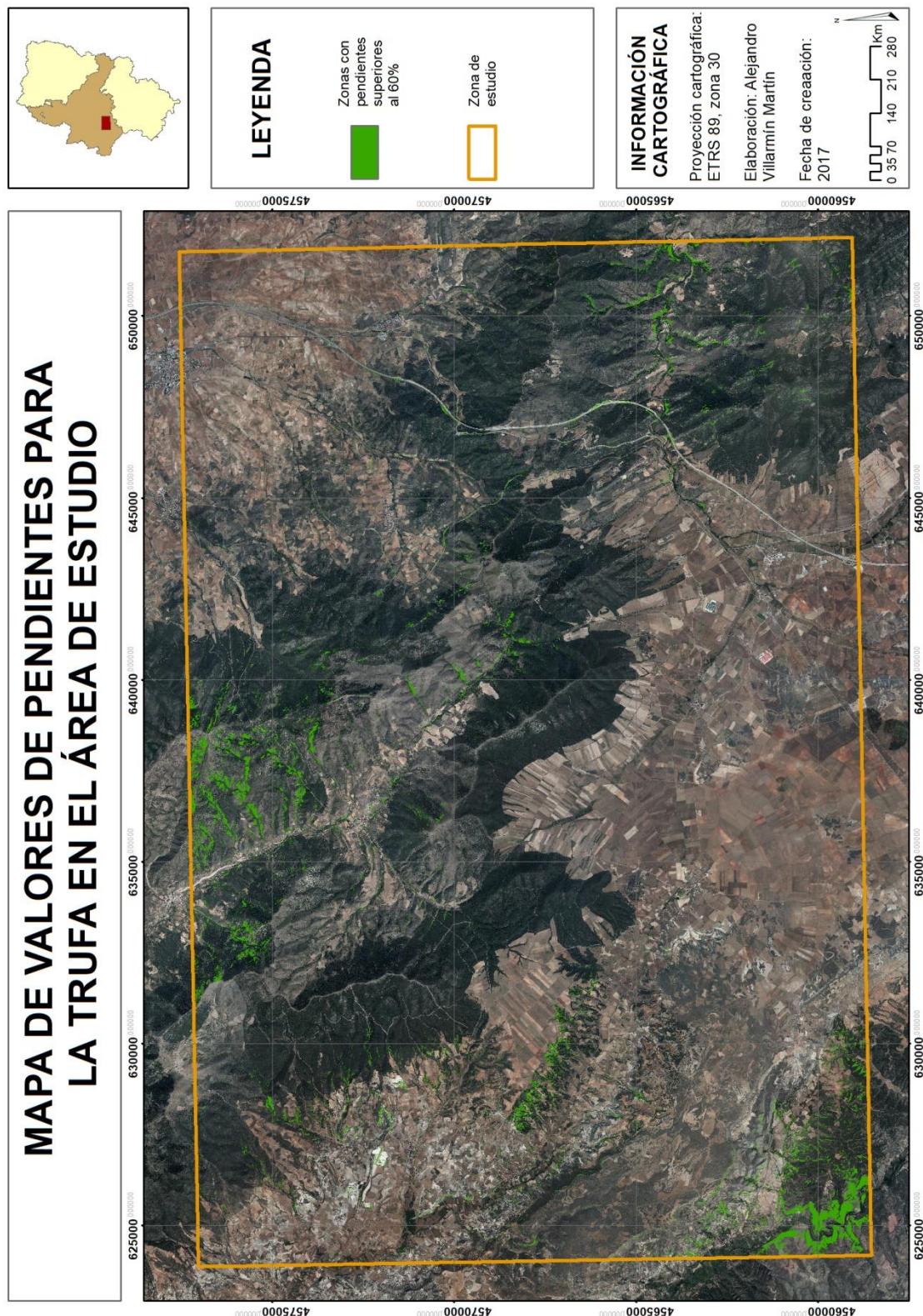


Figura 6. Mapa de valores de pendientes para la trufa del área de estudio. Elaboración propia.

4.4. Identificación de áreas con limitaciones climáticas

Los factores climáticos son unos de los factores más importantes y complicados a la hora de tratar ya que, al contrario de los factores edáficos éstos no se pueden modificar. Según el testimonio de la Presidenta de la Asociación de Truficultores de Zaragoza, “una escasa aportación de precipitaciones estivales (para la trufa negra) o un invierno extremadamente frío puede hacerte perder la producción de ese año”. Sí que es cierto que es posible añadir un riego al cultivo para cubrir un periodo seco, pero en muchas ocasiones este no está disponible debido al alto coste. Como ya se ha mencionado los datos climáticos se obtuvieron de la versión de 2007 del Atlas Climático de Aragón en formato raster. Esta información fue tratada para obtener distintas capas de información de acuerdo con las exigencias específicas de cada hongo (distintas para trufa negra y trufa de verano).

4.5. Identificación de áreas con limitaciones de especies hospedadoras potenciales

El conocer dónde se localizan las especies con las que las trufas micorizan y sus características fisionómicas son factores clave a la hora de identificar la zona de potencialidad silvestre. Para conseguirlo se ha optado por trabajar con dos tipos de información diferente: Análisis de la información del Mapa Forestal de España (MFE) y Análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

El Mapa Forestal de España presenta todas las especies vegetales que se encuentran a lo largo del territorio nacional. En nuestra zona de estudio solo existían tres especies con las que el hongo micorriza *Pinus nigra*, *Quercus faginea* y *Quercus ilex*. Es importante conocer las zonas en las que estas especies se localizan, por lo que tras su identificación se delimitó su área.

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de identificar las zonas con limitaciones de especies hospedadoras es conocer la densidad de la cubierta de las especies, ya que las trufas silvestres se localizan en zonas donde la vegetación hospedadora permite que la luz solar llegue al suelo. Para identificar dichas zonas se aplica el NDVI sobre la Imagen Sentinel, seleccionando los valores comprendidos entre 0.2 y 0.5, siguiendo las indicaciones de Chuvieco (2002). El resultado final es el representado en la Figura 7.

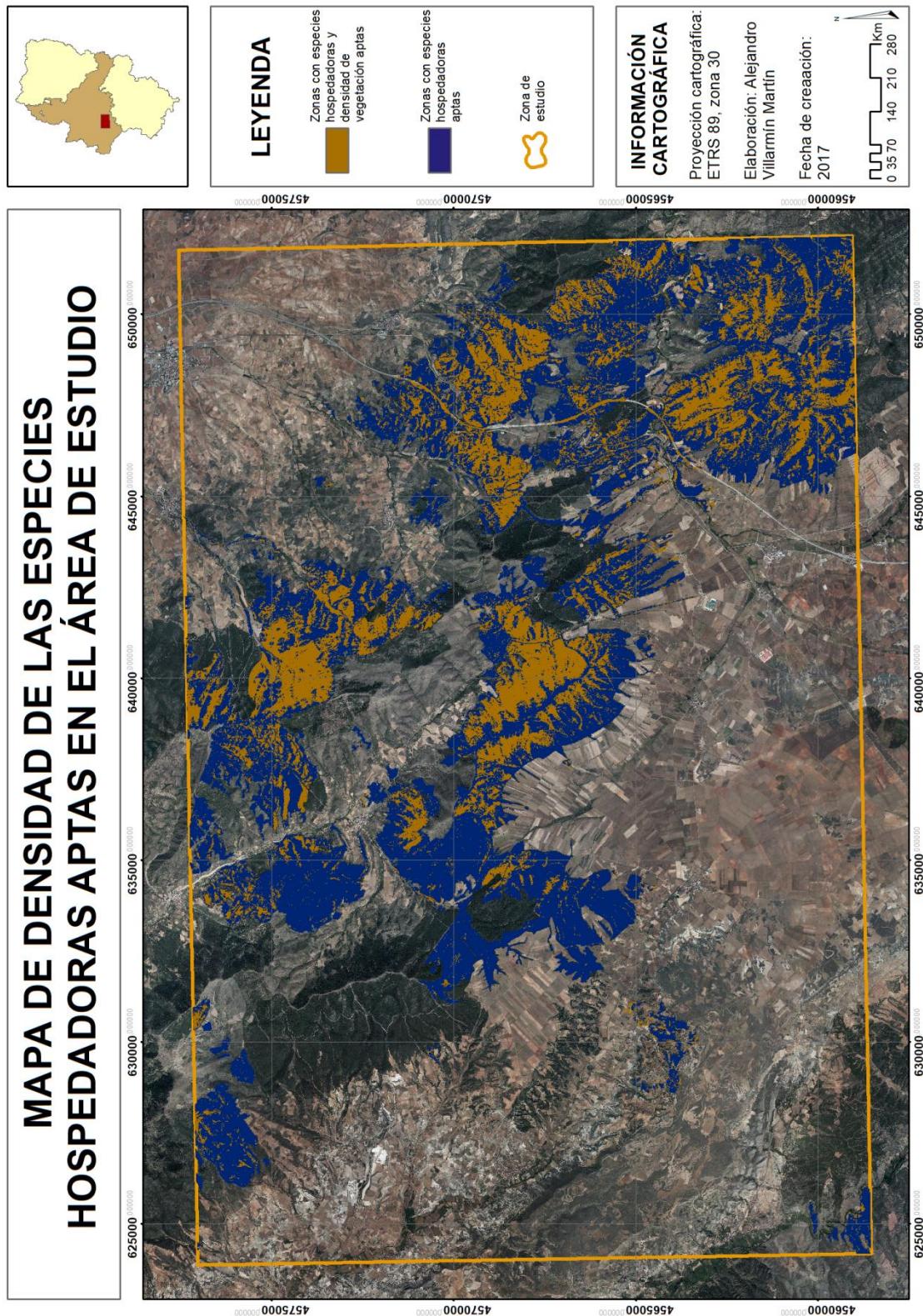


Figura 7. Mapa de densidad de las especies hospedadoras aptas en el área de estudio.

Elaboración propia.

4.6. Integración de variables

Desde un principio el proyecto se concibió como un análisis dicotómico, analizando diversas variables espaciales bajo un contexto de SIG (Barredo Cano, 1996). Dicho análisis se realizaría con toda la información cartográfica almacenada en capas, que representan las características en las que la trufa puede desarrollarse. De esta forma se pretendía aislar los factores limitantes para determinar cuáles son las zonas en las que es imposible cultivar o encontrar cualquiera de las dos variedades de hongos con las que se ha trabajado.

Una vez definidas las variables restringentes, se organizó la cartografía temática correspondiente a cada mapa (MDE, TMA, TMME, TMMJ, PA, PE, pH, MPen, MMVeg y NDVI), para el área de estudio correspondiente a la hoja Nº 438 del IGN. Estos mapas fueron transformados a raster utilizando los coeficientes de valoración que se especifican más adelante (“1” o “0”) dependiendo de la especie y las condiciones en las que se quiere conseguir el hongo.

Las operaciones espaciales realizadas a lo largo del análisis, se realizaron mediante superposición utilizando como operador la multiplicación, de esta forma cada pixel del mapa resultante será el resultado de multiplicar los coeficientes de los mapas superpuestos, asignados a esa posición.

Como ya se ha comentado, para determinar la aptitud de la tierra de plantaciones de las especies en estudio, y bajo un entorno de un SIG, se utilizó el método de análisis dicotómico, en el que se usan dos valores “1” y “0”, los cuales el primero se utiliza para definir las variables favorables a las especies (apto) y el segundo las desfavorables (no apto). Debido a que se pretende analizar las zonas óptimas para la obtención de distintas especies de *Tuber*, tanto en condiciones naturales como en condiciones antrópicas, no todos los parámetros anteriormente citados van tener un valor de “1” o “0”. Las fórmulas planteadas varían en función de las condiciones en las que se quiere conseguir la trufa. En condiciones antrópicas la fórmula utilizada es la siguiente:

$$X = (TMA * TMMJ * TMME * MDE * MPEN * pH)$$

donde

TMA=Temperatura media anual

TMMJ= Temperatura media máxima anual

TMME=Temperatura media mínima anual

MDE=Modelo Digital de Elevaciones

MPEN= Mapa de Pendientes

pH=pH

Mientras que en condiciones naturales la fórmula es:

Tuber melanosporum: $X = (PA * PE * TMA * TMMJ * TMME * MDE * MPEN * pH * MVEG)$

Tuber aestivum: $X = (PA * TMA * TMMJ * TMME * MDE * MPEN * pH * MVEG)$

donde

PA=Precipitación Anual

PE=Precipitación Estival

TMA=Temperatura Media Anual

TMMJ= Temperatura Media Máxima Julio

TMME= Temperatura Media Mínima Enero

MDE= Modelo Digital de Elevaciones

MPEN= Mapa de Pendientes

MVEG=Mapa Vegetación actual

*cabe destacar que debido a que el pH es uno de los factores más limitantes, a la vez que el más sencillo de modificar, los valores han variado dependiendo del tipo de hongo con el que se trabaja y en las condiciones en las que se quiere conseguir. Por ende se han utilizado los valores de pH especificados en el apartado 2.2.1.

5. RESULTADOS

Los resultados obtenidos han sido estructurados en dos apartados atendiendo a las dos especies de trufas analizadas: trufa negra y trufa de verano

5.1. Trufa negra

Los resultados obtenidos muestran que alrededor del 50% de la zona de estudio, reúne las condiciones necesarias para la producción de trufa negra. El reparto de este 50% no es homogéneo, tal y como se puede apreciar en la Figura 8. Se puede observar como a lo largo de las sierras de Algairén y Pardos existen unas grandes áreas donde no es posible producir dicho hongo. Esta superficie “improductiva” constituye el 44% de toda la zona de estudio (231 km²). Dentro de la Sierra de Algairén también existe una serie de zonas donde es posible producir el hongo. Aunque, debido a sus limitaciones edáficas, es necesario modificar los niveles de pH del suelo.

Aplicando este tipo de tratamientos para aumentar el pH, el área apta para el cultivo del hongo aumentaría un 7% (37 km²), siendo muy beneficioso en municipios como Codos o

Aguarón. A los pies de las serranías se aprecian dos vastas extensiones cuyas condiciones para el cultivo de la especie son excepcionales. Estas ocupan el 49% de la zona de estudio (249 Km²), siendo la clase más amplia de todo el conjunto.

Finalmente las zonas con aptitudes para la producción de la trufa negra silvestre se localizan mayoritariamente en los márgenes de la Sierra de Algairén, aunque también existen algunos puntos concretos en la Sierra de Pardos con las características necesarias para producirlo. Estas zonas ocupan el área más reducida de todo el mapa representando el 2% del área total (9 km²).

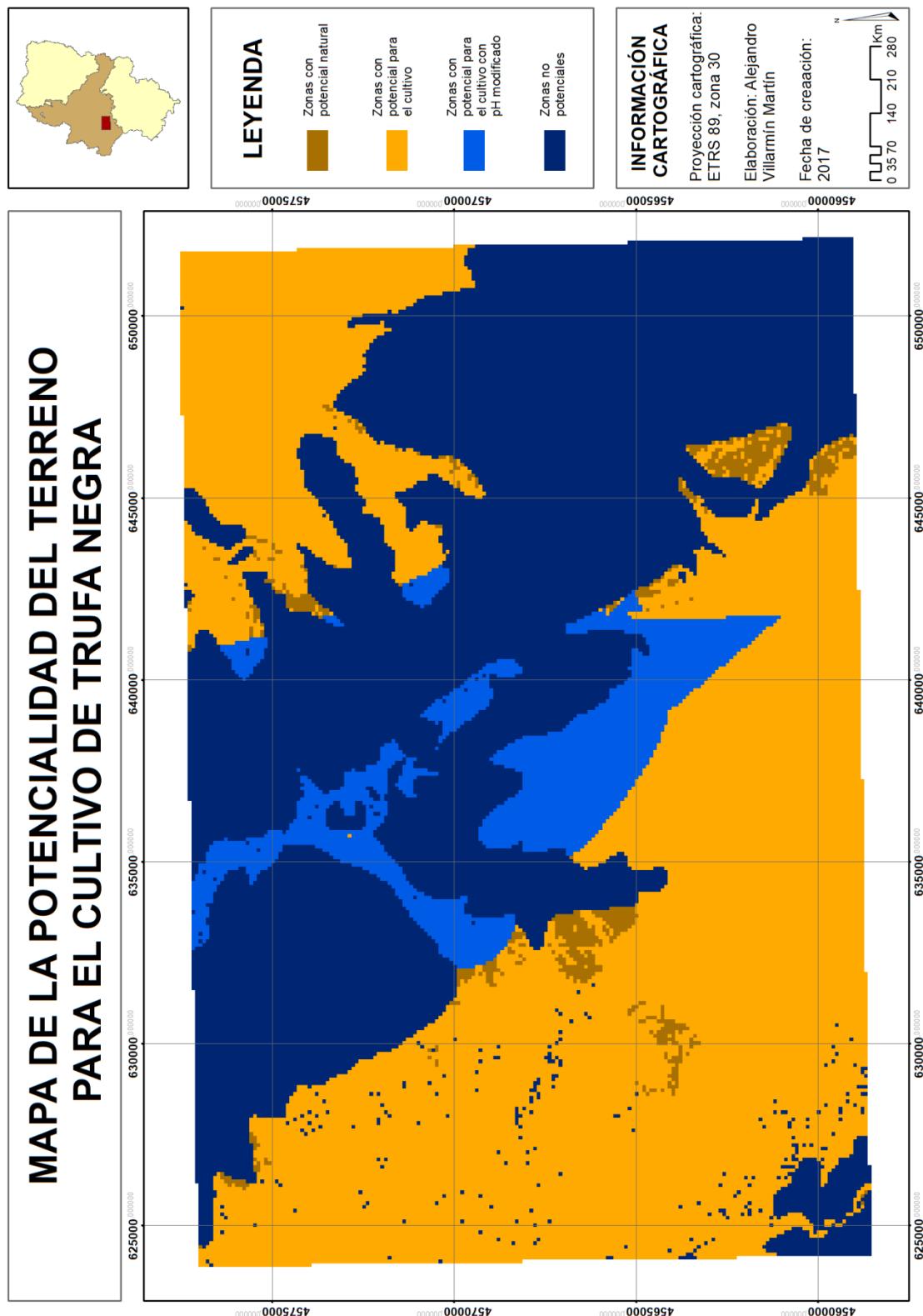


Figura 8. Mapa de la potencialidad del terreno para el cultivo de trufa negra. Elaboración propia.

5.1.1. Identificación de las áreas con limitaciones topográficas

El área de estudio presenta una importante diversidad de relieves, desde las sierras de Algairén y Pardos, el valle excavado por el río Grío o las depresiones localizadas entre las serranías. Tal y como se puede apreciar en el mapa (Figura 9) más del 90% de la zona de estudio presenta la altitud óptima para que se desarrolle la trufa negra (400 – 1200 m). Las únicas zonas con una altitud mayor se localizan a lo largo de la Sierra de Algairén.

La pendiente por su parte se encuentra repartida, tal y como se recoge en la Figura 10, más uniformemente por todo el área, sin embargo existe un marcado predominio de las zonas con una alta pendiente (superiores al 60%) a lo largo de ambas sierras y al Oeste entre ambas. La superficie ocupada por las pendientes aptas para el desarrollo del hongo (0 – 60%) es superior al 75% del área total, lo que demuestra, junto a los resultados de altitud, la buena disposición morfo-topográfica de la zona para albergar esta especie de hongo.

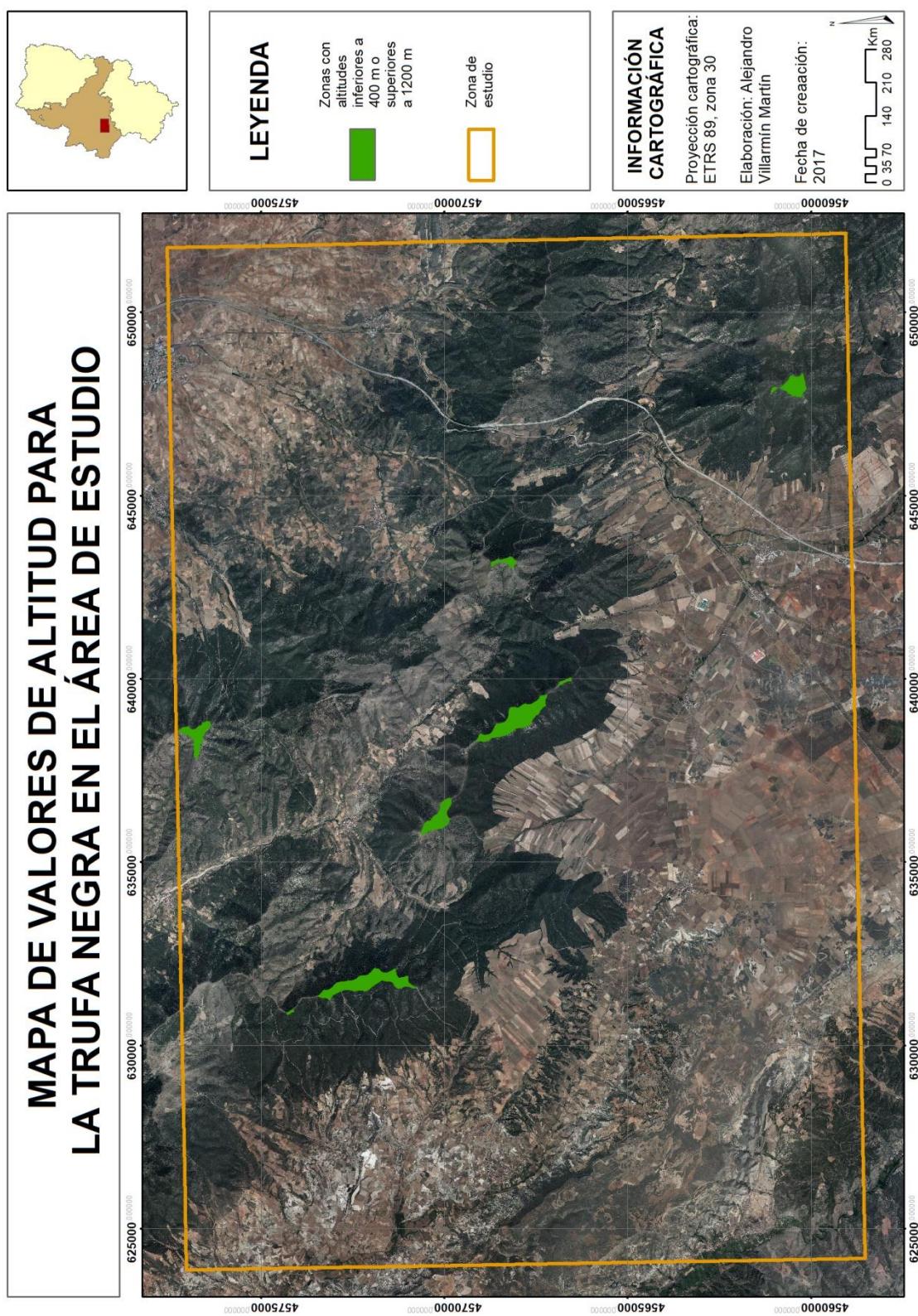


Figura 9. Mapa de valores de altitud para la trufa negra del área de estudio. Elaboración propia.

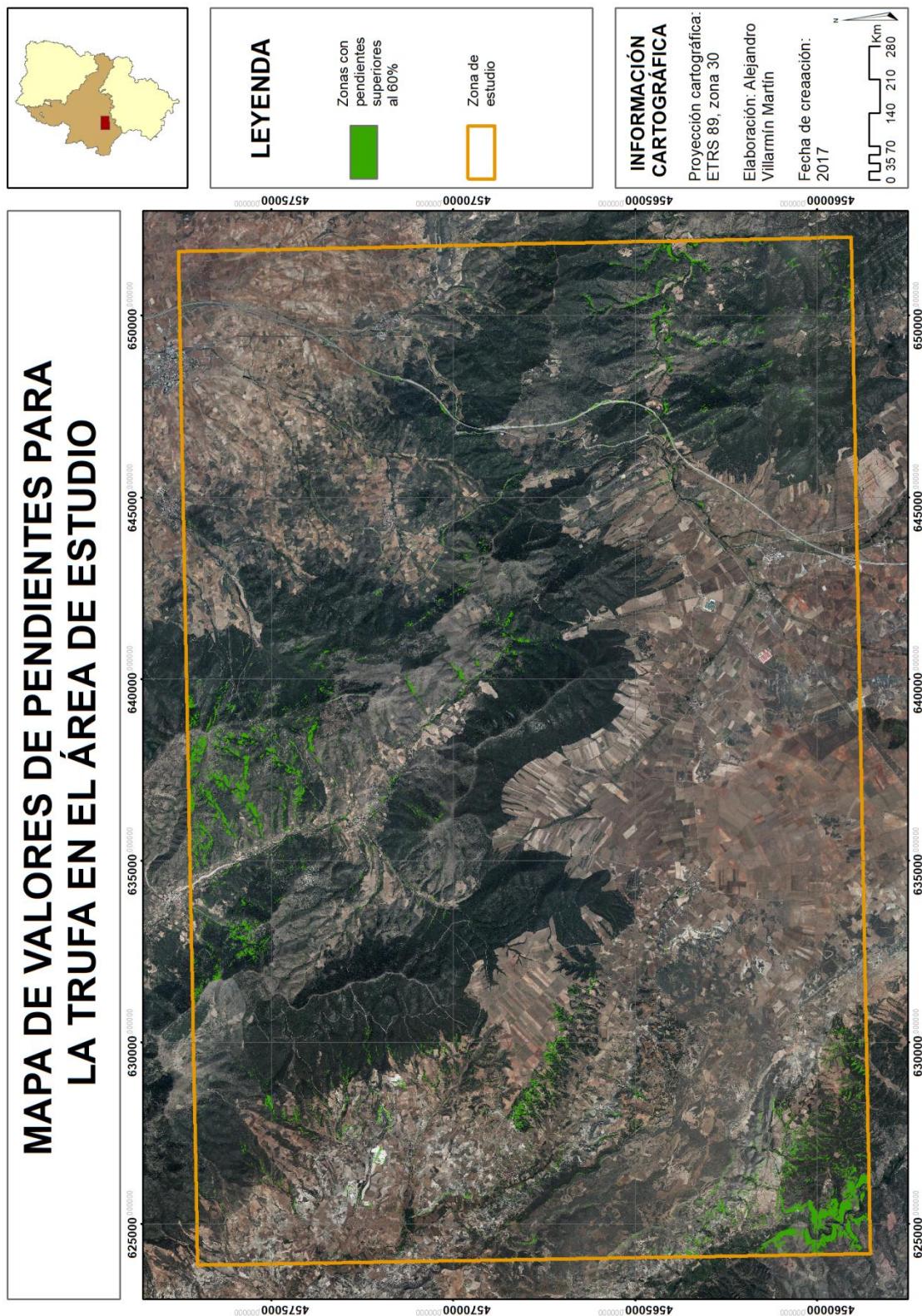


Figura 10. Mapa de valores de pendiente para la trufa del área de estudio. Elaboración propia.

5.1.2. Identificación de las áreas con limitaciones edáficas

Los niveles de pH del suelo son uno de los factores más restrictivos para la trufa negra. Esta variable está fuertemente relacionada con la distribución de las unidades morfo estructurales. Así pues, en las sierras con alto grado de presencia, tanto de cuarcitas como de pizarras paleozoicas, los valores de pH no suelen superar los 6pt de pH. Esto explica la baja potencialidad, para el cultivo de la trufa, que presenta este sector que ocupa el 43% de la zona (228 Km²). En las zonas más erosionadas de la Sierra de Algairén la litología predominante son los conglomerados, en ellos los niveles de pH aumentan ligeramente con respecto a los anteriores, sin llegar a ser posible alcanzar los niveles requeridos por la trufa negra (7.5 – 8.5 pto), pero sí acercándose lo suficiente como para aportar un extra a través de encalados del terreno, consiguiendo que, tanto la mayoría de las zonas cercanas al río Grío y como las zonas de la sierra más erosionadas, puedan albergar cultivos de este hongo.

El resto de la zona compuesto por laderas de glacis y las llanuras con depósitos aluviales y materiales básicos, presentan unos niveles de pH favorables para la producción del hongo. Estas zonas ocupan alrededor del 49% de la superficie total (251 Km²). Sin embargo, si le sumamos las zonas con posibilidades de aumentar sus niveles de pH encontramos un 57% de la zona (288 Km²) con aptitud positiva para el desarrollo del hongo.

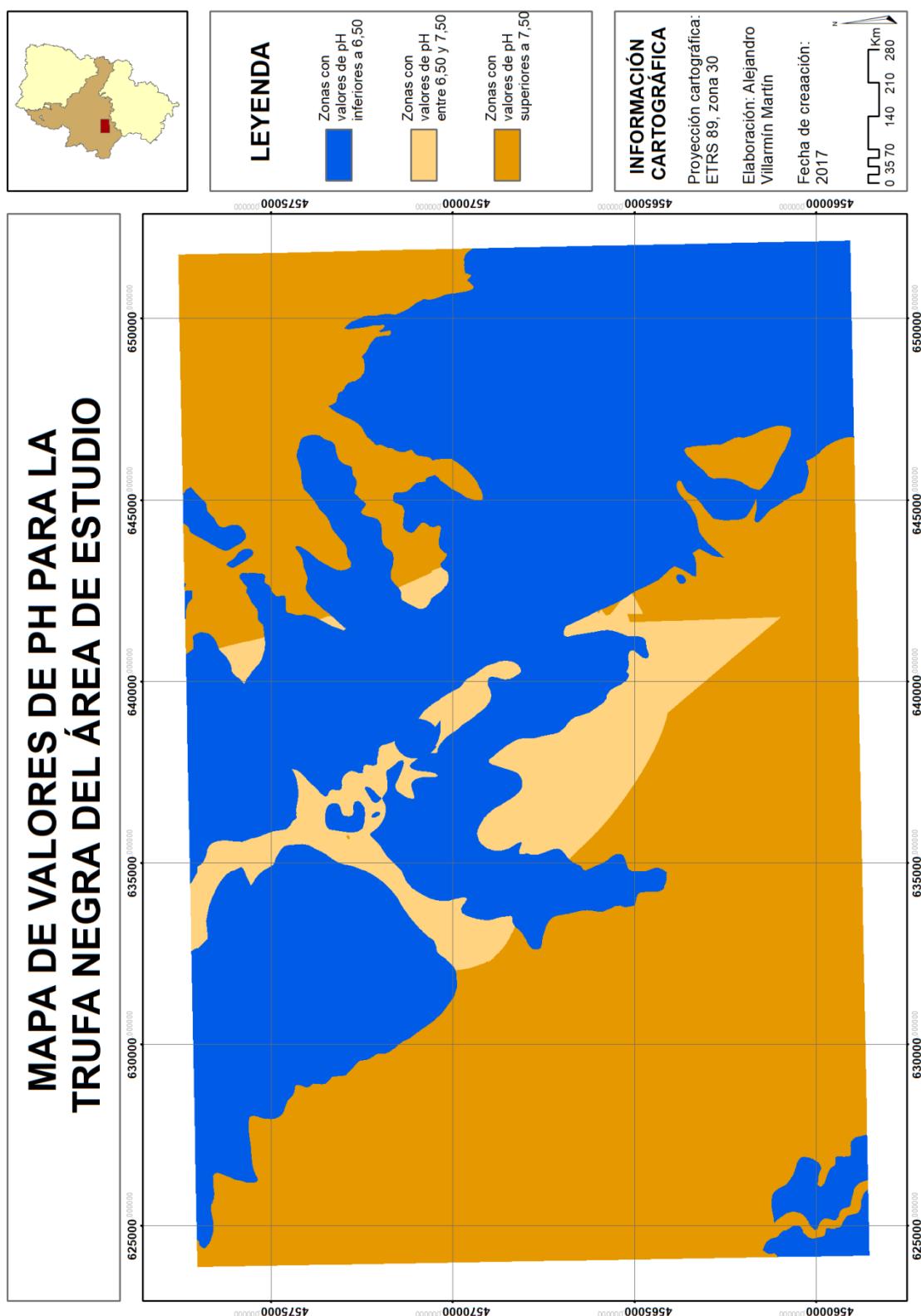


Figura 11. Mapa de valores de pH para la trufa negra del área de estudio. Elaboración propia.

5.1.3. Identificación de las áreas con limitaciones climáticas

La trufa negra se desarrolla en zonas de clima mediterráneo. Las temperaturas necesarias para que se desarrolle el hongo varían dependiendo de la época del año, aunque el óptimo de temperatura media anual oscila entre 8 y 15°C. En invierno las temperaturas de la zona no deben ser inferiores a 1°C ni superiores a 8°C, mientras que en verano los umbrales ascienden colocándose entre los 16.5 y 23°C. El área de estudio se localiza en el inicio de la Cordillera Ibérica, y en ella se dan unas condiciones climáticas típicas del clima mediterráneo, por lo que no es de extrañar que el 100% del área de estudio reúne las condiciones de temperatura requeridas por el hongo.

En cuanto a precipitaciones se refiere, si bien la trufa negra no se diferencia en exceso de otras especies de trufa (como la trufa de verano) en el aporte hídrico anual requerido (400 – 1500 mm), sí que lo hace en la distribución de estas precipitaciones, ya que es necesario para el correcto desarrollo del hongo que existan unas precipitaciones estivales que descarguen entre 75 y 185 mm de agua. Esta condición también se cumple en el 100% de la zona de estudio, aunque hay que resaltar que esta variable no debe considerarse como determinante a la hora de decidir el lugar de una plantación ya que en una entrevista con la Presidenta de la Asociación de Truficultores de Zaragoza, Trinidad Usón, mencionó que es necesario implantar un sistema de riego a las truferas para que la producción sea considerable.

5.1.4. Identificación de las áreas con limitaciones de especies hospedadoras

Los resultados obtenidos en este apartado, al igual que en el anterior, tan solo son relevantes para determinar las zonas con potencialidad natural. La trufa negra establece relaciones simbióticas con numerosas especies vegetales, siendo una de las más comunes el *Quercus ilex*. Dentro del área de estudio existen tres tipos de especies hospedadoras para el hongo (*Pinus nigra*, *Quercus faginea* y *Quercus ilex*). Tal y como se puede aprecia en la Figura 12, las especies se localizan a lo largo de las sierras de la zona ocupando un área que supone el 28% del total (136 Km²). Sin embargo la frondosidad de los bosques que forman las diferentes especies es un factor a tener en cuenta a la hora de determinar las zonas con mayor aptitud (Informes Foresta Algairén), lo cual reduce la zona a un 18% del área (93 km²) con unas condiciones favorables para el desarrollo del hongo.

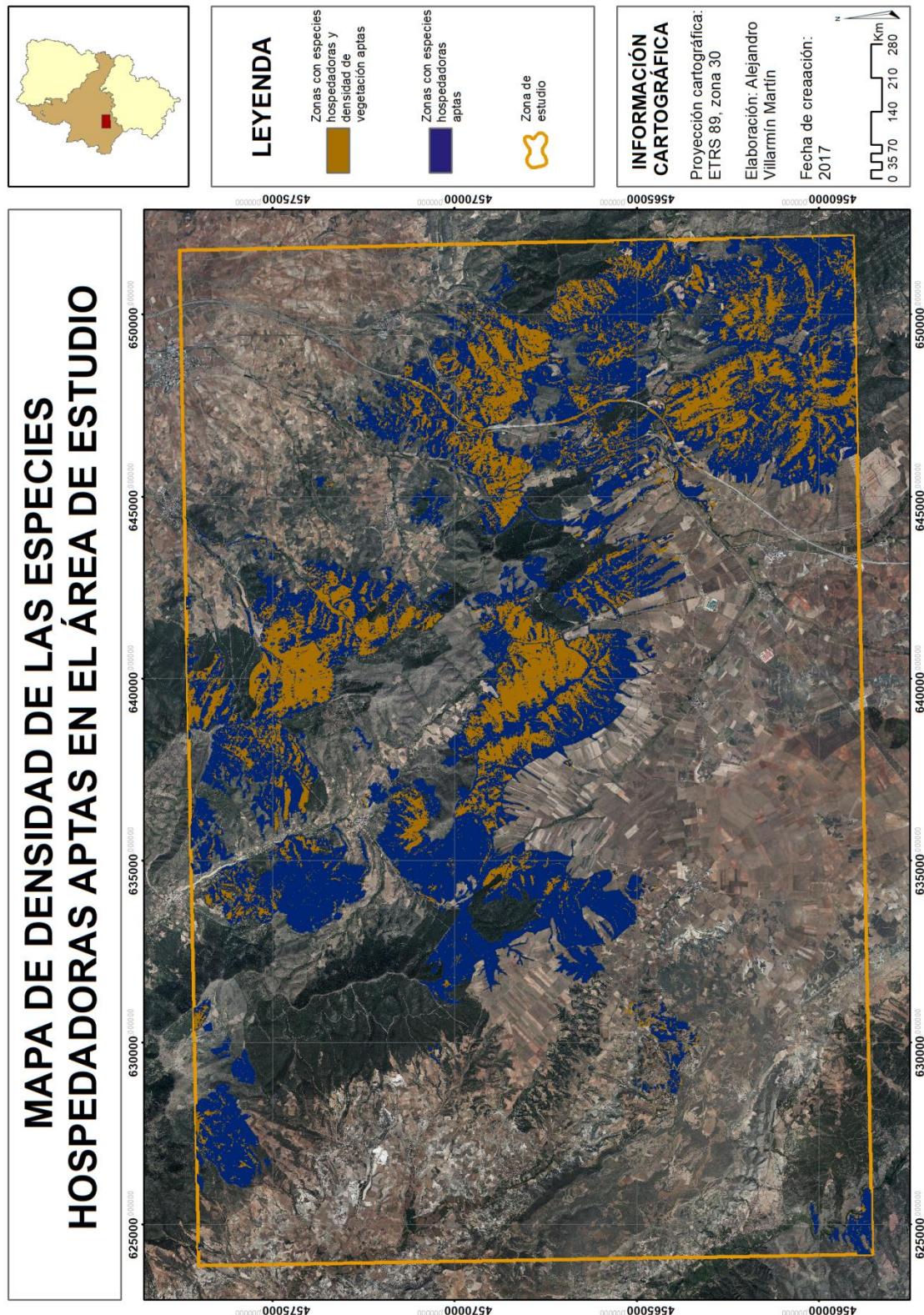


Figura 12. Mapa de densidades de las especies hospedadoras aptas en el área de estudio.
Elaboración propia.

5.2. Trufa de verano

La trufa de verano, a diferencia de la trufa negra, requiere condiciones ambientales menos exigentes, es por ello que en la cartografía resultante (Figura 13) se aprecia que el área apta para la producción de este hongo es mayor. La distribución de las zonas potenciales es muy similar a las de la trufa negra, encontrando en el interior de la Sierra de Algairén, otra vez, zonas potenciales si se modifican sus valores de pH (para obtener entre 7.12 y 8.42 pto), que en este caso constituyen el 4% del área de estudio (23 km^2).

A lo largo de las llanuras se encuentran las zonas con mejores aptitudes para el cultivo de la trufa de verano. Sin embargo, tanto en las laderas de las sierras como en el interior de la misma, también existen algunas zonas con potencial suficiente. En total, todas estas zonas constituyen el 54% del área total de la zona de estudio (272 km^2). Un aspecto que no varía con respecto a la trufa negra es la extensión y localización de las zonas con capacidad natural, la cual representa el 2% del territorio (12 km^2).

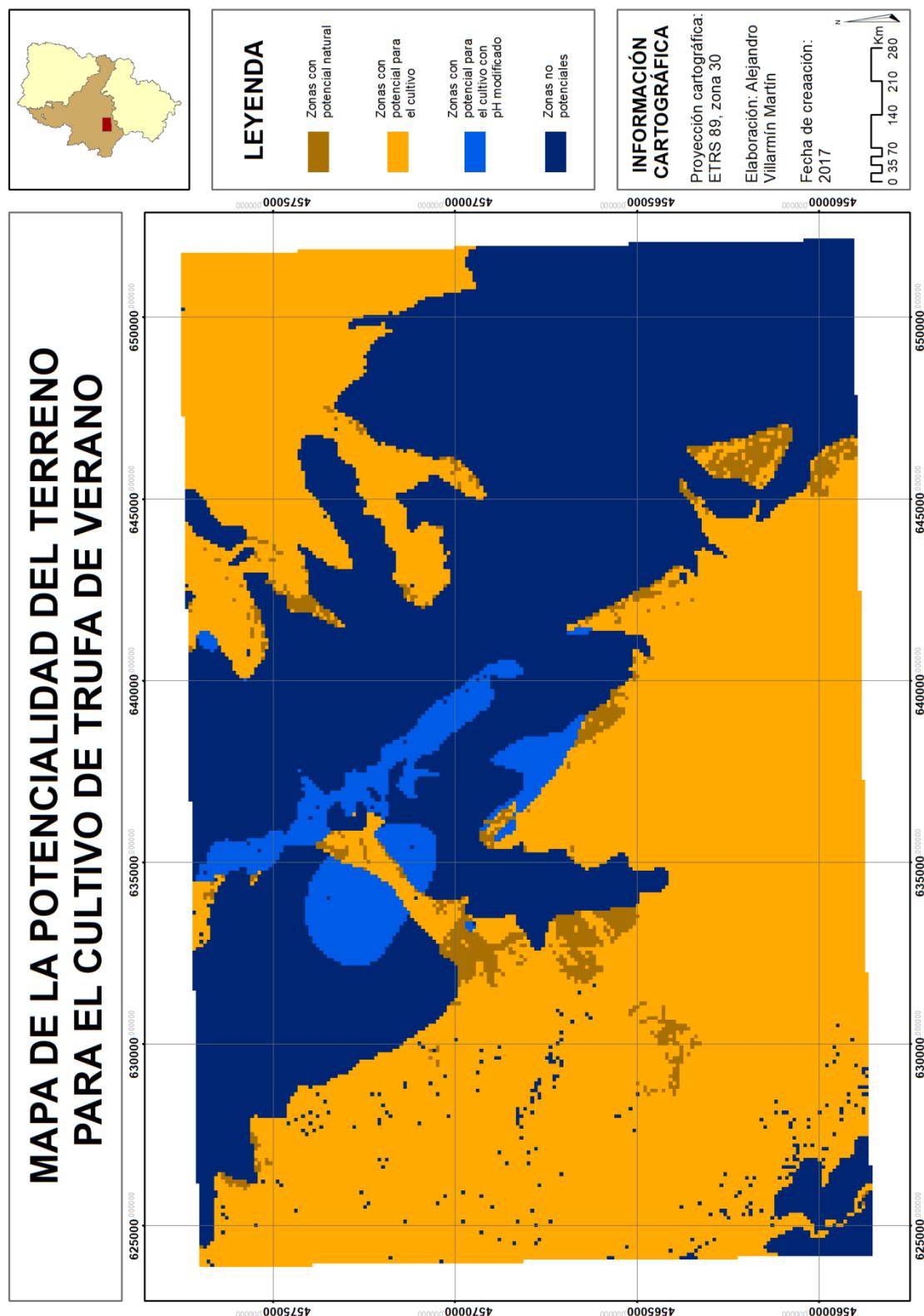


Figura 13. Mapa de la potencialidad del terreno para el cultivo de trufa de verano. Elaboración propia.

5.2.1. Identificación de las áreas con limitaciones topográficas

Como ya se ha mencionado las condiciones del entorno necesarias para el desarrollo de la trufa de verano son menos exigentes que las de la trufa negra. Muestra de ello son los rangos altitudinales en los que se desarrolla (0 – 1500 m), ya que al ser más amplios tanto las serranías Ibéricas como las llanuras de la zona se encuentran dentro de estos rangos. Por su parte las pendientes de la zona presentan la misma distribución espacial que en el caso de la trufa negra, ya que los rangos son los mismos.

5.2.2. Identificación de las áreas con limitaciones edáficas

Los niveles de pH, al igual que otros factores, son más permisivos en la trufa de verano. Para que se den las condiciones de suelo necesarias para el crecimiento del hongo se necesitan unos niveles de entre 7,12 y 8,45 ptos. La extensión de las zonas con valores inferiores a los señalados representa el 45% del área de estudio (240 km²). Sin embargo, hay que tener en cuenta que en esta área existen zonas con unos valores de pH lo suficientemente altos como para que a través de un encalado estos valores lleguen a su punto óptimo.

Así pues del 45% de la zona con valores bajos un 4% del área puede ser modificada (21 km²). Este 4% se localiza principalmente dentro de la Sierra de Algairén, tal y como se puede apreciar en la Figura 14. Finalmente las zonas llanas y las laderas con litologías más básicas son las que poseen unos valores de pH más elevados, al igual que sucedía con la trufa negra. Sin embargo, los rangos de pH más amplios permiten encontrar zonas con aptitud en el interior de la Sierra de Algairén.

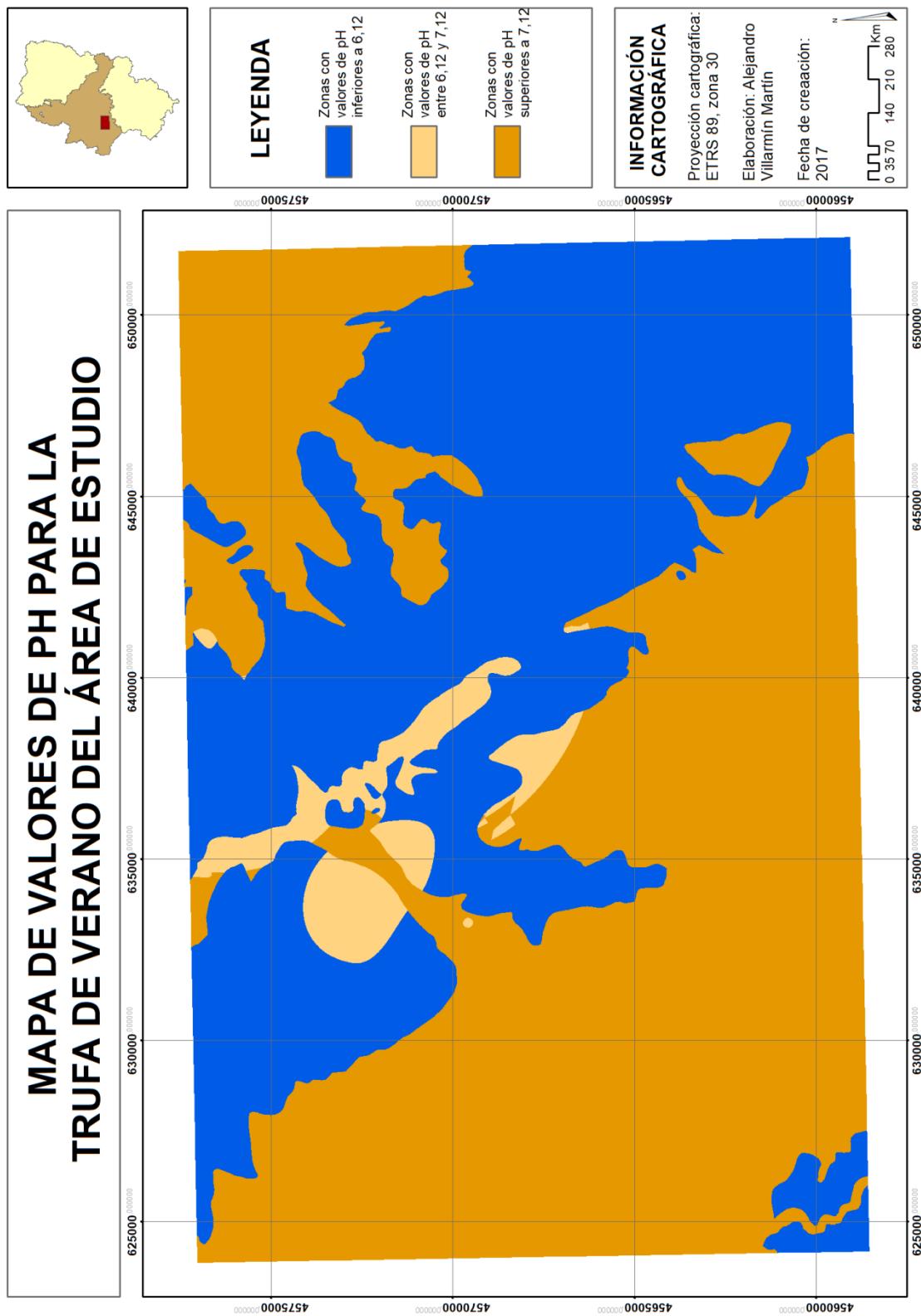


Figura 14. Mapa de valores de pH para la trufa de verano del área de estudio. Elaboración propia.

5.2.3. Identificación de las áreas con limitaciones climáticas

Al igual que en los anteriores apartados la mayor laxitud que presentan los parámetros de la trufa de verano frente a la trufa negra, juegan a su favor. Las temperaturas de la zona en la que se desarrollan deben estar entre los 10 y 18°C, aunque con variaciones en el invierno (2 - 12°C) y el verano (20 - 24°C). Todas estas condiciones se dan en el 100% de la zona de estudio, al igual que sucedía en el caso de la trufa negra.

Una de las mayores ventajas a la hora de producir trufas de verano es que, al contrario que la trufa negra, las precipitaciones estivales no son necesarias. Sin embargo ambas especies necesitan un aporte hídrico a lo largo del año que ronda entre los 400 y 1500 mm, condición que como ya se ha visto en el apartado de la trufa negra, cumple el 100% del área de estudio.

5.2.4. Identificación de las áreas con limitaciones de especies hospedadoras

Los resultados en este apartado son idénticos a los ya expuestos en el apartado de la trufa negra, debido a que las especies hospedadoras son las mismas. De este modo dichas especies se localizan a lo largo de las sierra de Algairén y Pardos, generalmente en aquellas zonas donde el terreno no es favorable para otros cultivos o en zonas donde los cultivos han sido abandonados y la vegetación natural los ha invadido.

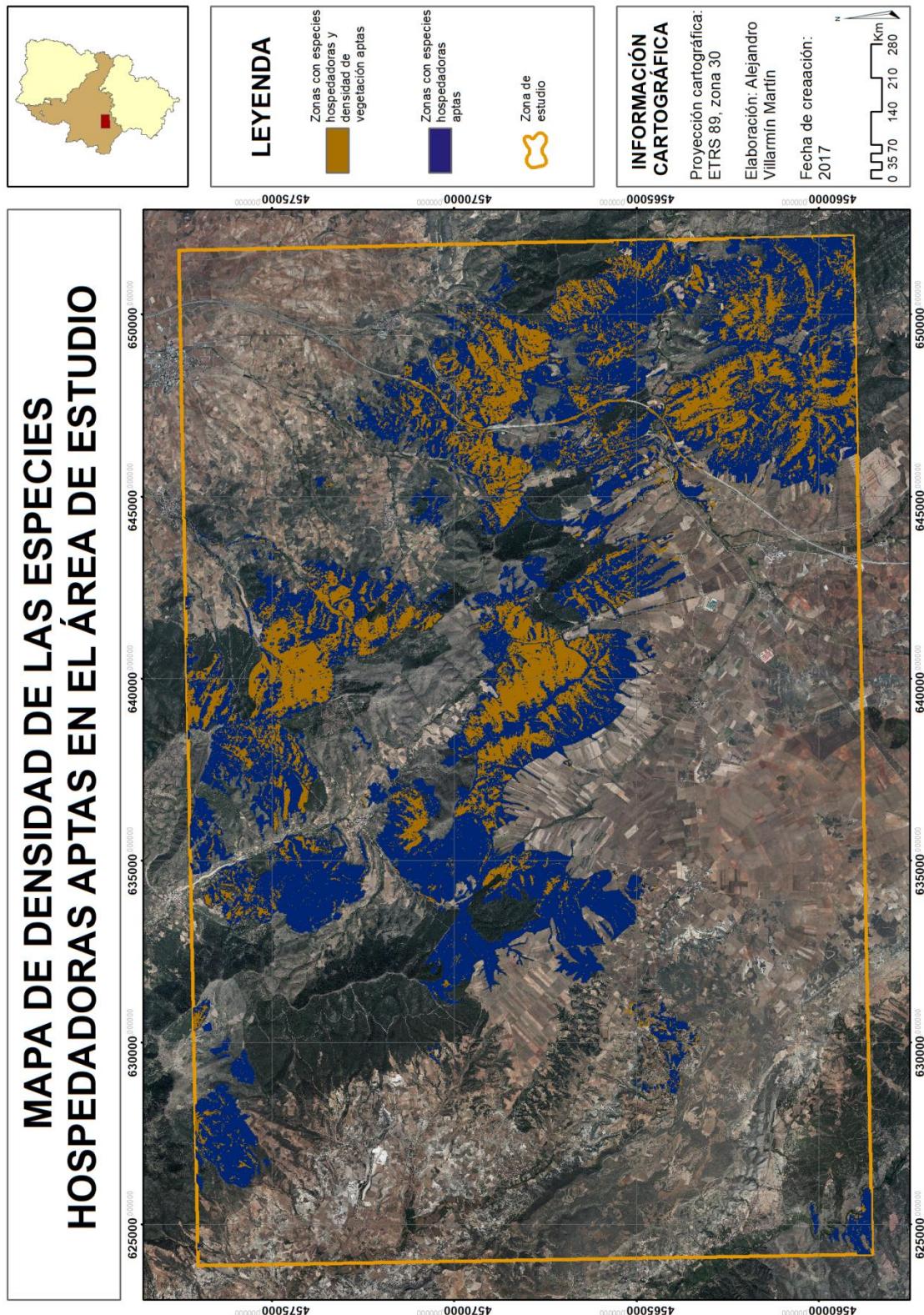


Figura 12. Mapa de densidades de las especies hospedadoras aptas en el área de estudio.
Elaboración propia.

5.3. Análisis económico

El apartado económico es un factor muy a tener en cuenta, a la hora de introducirse en un proyecto con estas características. Variables como el precio de venta del hongo, la inversión necesaria, la producción, el tipo de hongo que se quiere cultivar o las previsiones futuras de negocio, deben de estar perfectamente definidas para tomar una decisión acertada.

5.3.1. Producción

Los datos que existen sobre producción de trufa son bastante dispares entre sí. Para la trufa negra encontramos valores que van desde los 10 kg/ha/año hasta los 180 kg/ha/año. En el caso de la trufa de verano los datos son más escasos y no hay tanta información sobre valores extraordinarios. En cualquier caso los resultados más extremos no son fiables debido a que se obtienen en años concretos (las explotaciones truferas varían su producción en función de la edad del cultivo) y en zonas especialmente óptimas, por lo que en este análisis se trabajará con cantidades medias de ambas especies. Así pues, en el caso de la trufa negra, los valores medios de producción obtenidos en una hectárea se sitúan entre los 10 y 50 kg/ha/año mientras que en el caso de la trufa de verano se sitúan entre los 30 y 70 kg/ha/año (Informes Foresta Algairén, Sánchez et al., 2016). Estos valores se dan durante los 35 años que son productivos los cultivos (pueden variar).

5.3.2. Venta del hongo

Al igual que en el anterior caso aquí también existen unos márgenes en los precios muy amplios. Esto se debe principalmente a la cantidad de oferta que hay de ambos hongos (más acusado en la trufa negra), ya que un año con una baja producción puede suponer unos precios de 1.500 €/kg en el caso de la trufa negra y de 250 €/kg en el caso de la trufa de verano. Sin embargo estos precios son de venta al público y distan mucho de lo que el truficultor acaba recibiendo, ya que por un Kg de trufa negra pueden pagarle 300 €, mientras que por un Kg de trufa de verano se suele pagar 50 € (Informes Foresta Algairén).

5.3.3. Inversión

A la hora de proyectar una plantación trufera, ésta estará condicionada por las posibilidades financieras del inversor y por el riesgo que esté dispuesto a asumir en la operación, así como por las expectativas de éxito que prevea.

En la Tabla 2 se muestran los gastos anuales aproximados que se esperan al cultivar una hectárea con plantas micorrizadas. A lo largo del estudio solo se tiene en cuenta en el análisis la

inversión anual, ya que los gastos generados por la adquisición de un terreno, el encalado, el roturado, la instalación de riegos o el vallado del campo son muy variables.

GASTOS POR HECTÁREA		
Año 1	Preparación del terreno (laboreo y gradeo)	180 €
	Plantas truferas (400 x 7,5 €/ud)	3.000 €
	Trabajos de plantación	100 €
	Protectores individuales de red tupida (400 x 0,42 €/ud)	168 €
	Riego de plantación y tres de socorro	280 €
	Escardas (retirada de hierbas alrededor de la planta 2 veces)	60 €
Año 2	Material para acolchado (tela antihierba u otro similar colocado en cada planta individualmente)	168 €
	Tres riegos de socorro	203 €
	Escarda	30 €
Año 3 a 5	Tres riegos de socorro	203 €
	Escarda	35 €
	Poda	50 €
Año 6 a 10	Riego de socorro	230 €
	Escarda	35 €
	Poda	60 €
	Recogida de la trufa	60 €
Año 11 a 35	Tres riegos de socorro	270 €
	Escardas	42 €
	Poda	67 €
	Pase de cultivador	60 €
	Recogida de la trufa	140 €
Otros posibles gastos	Roturado	
	Encalado	5.000 -
	Vallado	15.000 €
	Implantación sistema de riego	
	Coste del terreno	

Tabla 5. Estimación del gasto por hectárea. Fuente: Informes Foresta Algairén.

En las siguientes tablas se muestran los balances de los resultados económicos, dividido en etapas, según la producción y la especie. Las producciones varían en función de la especie con la que se trabaje, ya que la trufa de verano suele presentar unos rendimientos (cantidad) más elevados que los que presenta la trufa negra. Así pues para la trufa de verano se trabaja con valores de producción de 70 – 50 – 30 Kg/Ha/año, mientras que con la trufa negra se ha trabajado con valores de producción de 50 – 30 – 10 Kg/Ha/año.

BALANCE CON LA PRODUCCIÓN DE 70 Kg/Ha DE TUBER AESTIVUM				
PRODUCCIÓN	Kg	INVERSIÓN	INGRESOS	BALANCE
AÑO 1º - 5º	-	5.052 €	-	-5.052 €
AÑO 6º - 10º	60	1.925 €	3.000 €	-3.977 €
AÑO 11º - 15º	200	2.895 €	10.000 €	11.082 €
AÑO 16º - 35º	1750	11.580 €	87.500 €	64.838 €
TOTAL	2010	21.452 €	100.500 €	76.995 €

BALANCE CON LA PRODUCCIÓN DE 50 Kg/Ha DE TUBER AESTIVUM				
PRODUCCIÓN	Kg	INVERSIÓN	INGRESOS	BALANCE
AÑO 1º - 5º	-	5.052 €	-	-5.052 €
AÑO 6º - 10º	42,5	1.925 €	2.125 €	-4.852 €
AÑO 11º - 15º	142,5	2.895 €	7.125 €	9.082 €
AÑO 16º - 35º	1250	11.580 €	62.500 €	41.838 €
TOTAL	1435	21.452 €	71.750 €	51.120 €

BALANCE CON LA PRODUCCIÓN DE 30 Kg/Ha DE TUBER AESTIVUM				
PRODUCCIÓN	Kg	INVERSIÓN	INGRESOS	BALANCE
AÑO 1º - 5º	-	5.052 €	-	-5.052 €
AÑO 6º - 10º	25	1.925 €	1.250 €	-5.727 €
AÑO 11º - 15º	85	2.895 €	4.250 €	7.082 €
AÑO 16º - 35º	750	11.580 €	37.500 €	18.838 €
TOTAL	860	21.452 €	43.000 €	25.245 €

BALANCE CON LA PRODUCCIÓN DE 50 Kg/Ha DE TUBER MELANOSPORUM				
PRODUCCIÓN	Kg	INVERSIÓN	INGRESOS	BALANCE
AÑO 1º - 5º	-	5.052 €	-	-5.052 €
AÑO 6º - 10º	42,5	1.925 €	12.750 €	5.773 €
AÑO 11º - 15º	142,5	2.895 €	42.750 €	34.082 €
AÑO 16º - 35º	1250	11.580 €	375.000 €	329.338 €
TOTAL	1435	21.452 €	430.500 €	374.245 €

BALANCE CON LA PRODUCCIÓN DE 50 Kg/Ha DE TUBER MELANOSPORUM				
PRODUCCIÓN	Kg	INVERSIÓN	INGRESOS	BALANCE
AÑO 1º - 5º	-	5.052 €	-	-5.052 €
AÑO 6º - 10º	25	1.925 €	7.500 €	523 €
AÑO 11º - 15º	85	2.895 €	25.500 €	22.082 €
AÑO 16º - 35º	750	11.580 €	225.000 €	191.338 €
TOTAL	860	21.452 €	258.000 €	218.995 €

BALANCE CON LA PRODUCCIÓN DE 50 Kg/Ha DE <i>TUBER MELANOSPORUM</i>				
PRODUCCIÓN	Kg	INVERSIÓN	INGRESOS	BALANCE
AÑO 1º - 5º	-	5.052 €	-	-5.052 €
AÑO 6º - 10º	7,5	1.925 €	2.250 €	-4.727 €
AÑO 11º - 15º	27,5	2.895 €	8.250 €	10.082 €
AÑO 16º - 35º	250	11.580 €	75.000 €	53.338 €
TOTAL	285	21.452 €	85.500 €	63.745 €

Tabla 6. Balances en base al tipo de especie y producción.

En ambas especies no existe producción durante la primera etapa (año 1º - 5º), por lo que solo hay inversión económica. En la segunda etapa (año 6º - 10º), las plantas comienzan a producir, pero a unos niveles muy bajos, por lo que tan solo los cultivos de trufa negra con un rendimiento medio/alto alcanzan el pay back en esta fase. Ya en la tercera etapa (año 11º - 15º), todos los cultivos han alcanzado el pay back y a pesar de que los cultivos siguen requiriendo de inversión se obtienen beneficios. Por último en la cuarta fase (año 16º - 35º), los cultivos alcanzarán los mayores volúmenes de producción al principio de la misma y poco a poco irán decayendo hasta que los cultivos se vuelvan improductivos, sin embargo, esta fase es sin duda la que más beneficios aporta al agricultor.

5.3.4. Comercio de la trufa en el futuro

Los mayores problemas a la hora de invertir en explotaciones truferas son la fuerte inversión que hay que realizar para ponerla en marcha y el largo periodo de tiempo que hay que esperar para comenzar a obtener beneficios. Algunas de las principales razones que intimidan al posible truficultor son la estabilidad de los precios y la demanda de estos hongos. Actualmente España es el mayor productor de trufa negra del mundo, siendo la provincia de Teruel la región con mayor producción.

España exporta los hongos a Francia, EEUU y Japón principalmente, además de abastecer la demanda nacional. Todo este volumen de demanda lleva creciendo desde 1985, al mismo tiempo que aumenta la oferta y los precios de compra y venta del hongo. Las previsiones económicas de este hongo son que sigan aumentando la oferta, la demanda y el precio a corto/medio plazo, gracias a la creación de nuevos mercados, tanto nacionales como internacionales (Jara Taito. Et al. 2012).

En el caso de la trufa de verano su proyección es más modesta pero no por ello menos interesante ya que el nuevo escenario climático la sitúa con ventaja ante la trufa de negra y actualmente es un hongo que se está dando a conocer, posicionándose en un mercado más

generalista que el de la trufa negra (como ejemplo la trufa de verano se comercializa en superficies como Mercadona) y con potencialidades de cara al futuro (Sánchez *et al.*, 2016).

5.4. Una reflexión general

Las predicciones anunciadas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2014) muestran tendencias de incremento de temperaturas y con ellas cambios importantes en las precipitaciones a escala regional. Esto supone un gran problema, ya anunciado por algunos truficultores (como es el caso de la Presidenta de la Asociación de Truficultores de Zaragoza), en cuanto a la reducción de zonas óptimas para la recogida de trufa. Si bien es cierto que algunos truficultores, conocen los problemas relacionados con las precipitaciones y poseen sistemas de riegos para sus plantaciones, hay otros tantos que no. Esta situación es interesante, ya que los problemas que la trufa negra presenta con las precipitaciones, a la trufa de verano no le afectan.

Por consiguiente podría ser beneficioso el promocionar este tipo de cultivos, que en estos momentos están eclipsados por “sus hermanas” con un mayor precio de venta en el mercado. En cualquier caso la zona analizada presenta una potencialidad para ambos cultivos bastante buena, siendo recomendable utilizar este estudio para realizar plantaciones de estas especies, lo cual sería interesante de cara a los agricultores de la zona que podrían destinar algunos de sus recursos a este tipo de cultivos, pudiendo obtener unos altos rendimientos económicos, tal y como se muestra en el apartado 5.5.

Un apoyo importante por parte de los gobiernos a través de las ayudas a truficultores, la promoción del producto y la creación de acuerdos con otros países para el comercio de estos hongos podría situar a España como líder mundial en el mercado trufero. Esto supondría un impulso para numerosas zonas rurales, como la analizada, con una fuerte predisposición de terreno para el cultivo de estos hongos, que podría generar en los municipios un importante crecimiento económico y por consiguiente un aumento de la población. Por su parte el alto porcentaje de población dedicada al sector agrario podría compaginar este tipo de cultivos con los cultivos tradicionales con el fin de obtener mayores rentas. De este modo al aumentar la producción y la promoción tanto en el caso de la trufa negra como en el caso de la trufa de verano, se daría una herramienta al mundo rural para que luche contra el despoblamiento y la desaparición del mismo, a la par que se aumenta el rendimiento económico del territorio y se diversifica la economía.

6. CONCLUSIONES

La trufa de verano y la trufa negra son especies con unas necesidades ambientales muy específicas, las cuales están presentes en el entorno de las Sierras de Algairén y Pardos. Existen numerosas experiencias en las que se analiza la potencialidad natural para el desarrollo de la trufa negra mediante técnicas de SIG y teledetección. Sin embargo, las propuestas metodológicas en la que se tiene en cuenta también la aplicación de diferentes tratamientos de carácter agrícola para cambiar la potencialidad natural no son tan profusas en la literatura científica.

En este trabajo se propone una línea metodológica que presenta una serie de novedades en relación con los estudios de potencialidad de la trufa mediante SIG, como son (1) la inclusión de información detallada de los patrones espaciales de distribución del pH, (2) la utilización del NDVI para la interpretación de las limitaciones de las formaciones hospedadoras y, sobre todo, (3) la identificación de tratamientos agrícolas para habilitar zonas con limitaciones físicas.

Existe en la actualidad un creciente acuerdo en que el crecimiento agrícola es la clave para la expansión de la economía global. En apoyo a esta idea, Johnson y Mellor han escrito:

Cuando la agricultura crece rápidamente, se alcanzan normalmente altas tasas de crecimiento económico. Esto se debe a que los recursos utilizados para el crecimiento agrícola son sólo marginalmente competitivos con otros sectores y, por eso, el crecimiento agrícola tiende a ser adicional al de los demás sectores lo mismo que un estímulo al desarrollo de los bienes no transables, normalmente con mano de obra desocupada... El modelo de Block y Timmer de la economía de Kenia, muestra que los multiplicadores del crecimiento agrícola son tres veces más grandes que los del crecimiento no agrícola.

Dentro de este ámbito del cambio del paradigma productivo en el modelo de producción primaria, entroncamos los cambios sociales a través del desarrollo y recuperación del medio rural como elemento productor y cohesionador de una nueva sociedad.

La necesaria participación de las entidades económicas y políticas de nuestra Comunidad, como así se ha garantizado en la En la VII Reunión Interterritorial sobre Despoblación celebrada en Teruel, dan respuesta a estas necesidades de promoción de la producción de los diversos tipos de la trufa y crean el ámbito económico favorable para su desarrollo.

Entendemos que nuestro proyecto, tiene total cabida dentro de los nuevos paradigmas del desarrollo rural como elementos fijadores de población y efecto llamada a nuevos pobladores de dicho ámbito.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, J.L., Díaz, G., Bustamante, B., Canales, M., Aparicio, A., Talabante, C., & Larrán. A. (2009). “Estudio de la potencialidad de la truficultura en las comarcas de Molina de Aragón-Alto Tajo y Serranía de Cuenca”. *Universidad de Alcalá*, 20. pp. 55.
- Barredo. J.I. (1996). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. RA-MA Editorial.
- Barriuso-Vargas, J.J., Serrano-Notivoli, R., Martín-Santafé, M., Sánchez, S., & Cuadrat, J.M. (2014). “Mapa de aptitud para el cultivo de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vittad.) en la provincia de Zaragoza (España)”. *Centro de Información Territorial de Aragón y Diputación de Zaragoza*.
- Capas temáticas del SITebro. 2016. Disponible [en línea]
<http://iber.chebro.es/SitEbro/sitebro.aspx>
- Cebrián, A. (2017). “La VII Reunión Interterritorial sobre Despoblamiento traslada cinco medidas urgentes al Gobierno de España”. *Diario del campo*, 26 de junio. Disponible en <http://www.diariodelcampo.com/detallepost.asp?id=306049&idcat=7>
- Chuvieco. E. (2002). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel Ciencia.
- Colinas, C., Capdevila, J.M., Oliach, D., Fischer, & C.R., Bonet, J.A. (2007). “Mapa de aptitud para el cultivo de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.) en Cataluña”. *Centro tecnológico forestal de Cataluña*. Solsona, 12(5). pp. 134.
- *Cultivo y producción de trufas en España*. [En línea]. Trichodex. Disponible en <https://www.trichodex.com/el-cultivo-y-produccion-de-trufas-en-espana/>
- Descargas del Instituto Geográfico Nacional. 2016. Disponible [en línea]
<http://www.ign.es/web/ign/portal>
- Domínguez, J.A., López, C., Rodríguez, J.A., & Saiz, J.A. (2003). “Caracterización de rodales truferos en la Comunidad Valenciana”. *Ecología*, 17. pp. 181-190.
- González-Aramada, B. (2009). “Delimitación de áreas de producción potencial de trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.) en Navarra mediante GIS”. Proyecto fin de carrera. Universidad Pública de Navarra. pp. 157.
- Honrubia, M., Fernández, A., Moya, D., González, A., & De las Heras, J. (2006). “Potencialidad de la trufa negra (*Tuber nigrum* Bull.) en la provincia de Albacete”. *Montes*, 83. pp .35-40.
- Imagen Sentinel del Centro de datos científicos de Copernicus. 2017. [En línea]
<https://scihub.copernicus.eu/>
- Instituto Aragonés de Estadística. 2017. Disponible [en línea]
<http://www.aragon.es/iaest>

- Jara Taito, C., Tagle Edwards, J., Campos Herreran, M.J., Bozzolo Verhaaf, E., Pinto Larraín, V., Gallardo, R., Echevarría Vásquez, H., Thauby Krebs, F., Barahona Guzmán, P., & Aspee, A. (2012). “Situación mercado de la trufa en el Mundo”. *Agrimundo.cl*, 40(8). pp. 9.
- Johnston, B.F., & Mellor, J.W. (1961). “The role of agricultura in Economic Development”. *American Economic Asotiation*, 51(4). pp, 566-593.
- Lopez Martín, F., Cabrera Millet, M., & Cuadrat Prats, J.M. (Coord) (2007): Atlas Climático de Aragón.
- Martinez de Azagra, A., & Grigelmo Esteban, C. (1992). “Implantación de truferas”. *Hojas Divulgadoras*, 12(91), pp. 24.
- Oliach i Lesan. D., Bonet Leidos. J.A., Fischer. C.R., Olivera Ruestes. A., Martinez de Aragón. J., & Colinas Gonzalez. C. (2010). “Estado actual de la trufa y la truficultura”. *Dosier Tecnic*, 26. pp. 19.
- Olivas Gallegos, U., Valdez Lazalde, J., Aldrete, A., González Guillén, M., & Vera Castillo, G. (2007). “Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: definición mediante análisis multicritério y SIG”. *Filotec*, 30(4), pp. 411-419.
- Pachauri. K.P., & Meyer. L (Ed)(2014). *Cambio climático 2014 informe de síntesis. IPCC*, pp. 157.
- Palazón, C., Delgado, I., Barriuso, J., Sánchez, S., & Asensio, C. (2008). “Obtención de trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.) a partir de plantación cultivada, en terreno tradicional de regadío”. *ITEA*, 104(4), pp. 472-481.
- Pérez Cabello. F. (2016). “Apuntes Geografía de Aragón”. Grado en Geografía y Ordenación del Territorio.
- Rodríguez-Pérez, J.R., Accedo Casado, C., Marabel García, M., & Álvarez Taboada, M.F. (2008). “Localización mediante SIG de zonas potencialmente truferas en la provincia de León”. *Uned. Espacio, Tiempo y Forma*, Nº 1, pp. 83-91.
- Sanchez, S., De Miguel, A.M., Sáez, R., Martín-Santafé, M., Águeda, B., Barriuso, J., García-Barreda, S., Salvador-Alcalde, D., & Reyna, S. (2016). “La trufa de verano en la península ibérica: estado actual y potencialidad del cultivo”. *ITEA*, 112(1), pp. 20-33.
- Serrano-Notivoli, R., Incausa-Giné, A., Martín-Santafé, M., Sánchez-Durán, S., & Barriuso-Vargas, J.J. (2015). “Modelización espacial del hábitat potencial de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vittad.) en la provincia de Huesca (España)”. *ITEA*, 111(3), pp. 227-246.
- Uson Gasca. T. (2016). “Informes Foresta Algairén”.
- Villatoro, M., Henríquez, C., & Sancho, S. (2008). “Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, CA, CICE y P del suelo”. *Agronomía Costarricense*, 32(1), pp. 95-105.