

Trabajo Fin de Grado

DETERMINACIÓN DEL HÁBITAT POTENCIAL DE LA TRUFA NEGRA (*Tuber Melanosporum* Vittad.) EN LA COMARCA DEL MATARRAÑA (TERUEL)

Autor

Darío Sabater Segurana

Directores

José María Cuadrat Prats
Roberto Serrano Notivoli

Facultad: Filosofía y Letras
Año: 2015

Agradecimientos

Al Doctor José María Cuadrat por darme la oportunidad de realizar este proyecto.

A Roberto Serrano por asesorarme, orientarme, y dedicarme parte de su tiempo del cual no disponía.

A mi padre por inculcarme su amor por la naturaleza en general y, en especial, el mundo de la truficultura además de ayudarme en la fase de la recogida de muestras de tierra.

Resumen

El cultivo de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vittad.) resulta extremadamente difícil debido a las múltiples exigencias ambientales que requiere. Este trabajo plantea un modelo de distribución de su hábitat en la comarca del Matarraña, situada en la provincia de Teruel (España). Para llevarlo a cabo, se utilizan factores condicionantes y limitantes de la presencia de la trufa negra en función de trabajos y experiencias previas, junto con una malla regular densa de muestras de suelo tomadas directamente en campo y una amplia información ambiental adicional. Posteriormente, se han incluido todas las variables ambientales capaces de explicar la presencia o la ausencia de la especie en el territorio, aplicándolas a un Sistema de Información Geográfica para integrarlas en su dimensión espacial y, a través de un modelo de decisión de evaluación multicriterio, se ponderaron para obtener una cartografía de aptitud. La combinación de las variables que condicionan y limitan la aparición espacial de la trufa negra en el territorio, ha generado como resultado una cartografía de distribución del hábitat potencial de la especie en la que se muestra, en diferentes categorías, cuáles son las zonas con mayor o menor capacidad de producción de trufa negra.

Palabras clave: Trufa negra, SIG, evaluación multicriterio, modelización, cartografía,

Abstract

Black truffle (*Tuber melanosporum* Vittad.) cultivation is extremely difficult due to multiple environmental demands required. This thesis, presents a distribution's model of habitat in the Matarraña's region, located in the province of Teruel (Spain). To carry it out, conditioning and restricting factors based on previous experiences have been used and a regular dense net made of soil samples taken directly on the field and extensive additional environmental information. Subsequently, all able environmental variables have been included to explain the presence or absence of the species in the territory, applying them to a GIS to integrate their spatial dimension, through a multi-criteria decision model assessment they were weighted to obtain a mapping of fitness. The combination of the variables that condition and limit the spatial appearance of black truffles in the territory have generated as a result a distribution map of potential habitat of the species in which it is shown, by different categories, which areas with higher or lower production capacity of black truffle.

Key words: Black truffle, GIS, multicriteria evaluation, model cultivation, cartography.

ÍNDICE

1-Introducción.....	6
2-Objetivos	8
3-Materiales y métodos.....	9
3.1-Area de estudio	9
3.2- Requerimientos ambientales de la trufa	11
3.3 Pasos llevados a cabo y evaluación multicriterio	14
3.4 Validación.....	20
4-Resultados	20
Validación.....	22
5-Discusión	24
6-Conclusiones	24
Potencialidades del trabajo	25
7- Bibliografía.....	26
8-Anexos	28

1-INTRODUCCIÓN

Podríamos considerar que, en España, el cambio fundamental experimentado por la truficultura se produjo a partir de la década de los años 70, coincidiendo con un descenso alarmante de la producción silvestre de trufa. Es a partir de esa época cuando se incrementa el ritmo de despoblación del medio rural, se reduce el pastoreo, se abandona el aprovechamiento de las leñas y los cultivos no mecanizables son colonizados por vegetación forestal. De acuerdo a (Reyna y García-Barreda, 2014), existen grandes áreas forestales en las que aparecen formaciones vegetales mixtas compuestas de coníferas y quercíneas. Si no existe un control silvícola adecuado, las formaciones de coníferas acaban siendo la especie predominante sobre las quercíneas debido a su crecimiento vegetativo más rápido, privando a éstas de la humedad e insolación necesaria para la producción de trufas. Por otro lado, este proceso produce un gran incremento de la espesura de los montes que dificulta la aireación del suelo, tan necesaria para la producción de trufa. Además de todo esto, se realizaron repoblaciones forestales con coníferas, en áreas no adecuadas que pertenecían al encinar-coscojar que agravan en algunos lugares el declive de la producción trufera silvestre.

La importancia de la truficultura silvestre en Aragón a partir de la década de 1950-60 ha sido notable, especialmente en aquellas zonas predominantemente rurales en las que se asientan formaciones quercíneas. La comarca del Matarraña se incluye dentro de estas áreas donde existía una producción trufera silvestre relevante.

En la década de los años 90, la Diputación Provincial de Teruel (DPT) llevó a cabo políticas encaminadas a promover y desarrollar este cultivo mediante subvenciones por árbol micorrizado plantado. Actualmente, la Diputación Provincial de Teruel todavía convoca subvenciones para favorecer la truficultura.

Gran parte de las plantaciones de truferas productivas en la actualidad fueron plantadas en los años 90 aprovechando las ayudas de la DPT y permitieron que la provincia de Teruel a día de hoy sea un referente mundial de la producción de trufa negra. Desde 1987 se han plantado grandes extensiones aunque no se conocen cifras oficiales de superficies cultivadas ni de producción a nivel provincial porque solo hay constancia de las plantaciones subvencionadas, de las que no se conoce la producción.

Esta actividad productiva no debe entenderse como sustitutiva de otras actividades más tradicionales del medio rural sino como algo compatible y complementario que permita fijar a la población activa en estos espacios despoblados y consigan preservar sus paisajes.

La trufa negra (*Tuber melanosporum* Vittad.) es un hongo subterráneo que vive asociado a un árbol huésped, generalmente encina (*Quercus ilex* L.), roble (*Quercus robur* L.) o avellano (*Corylus avellana* L.). Tiene un aspecto globoso, áspero e irregular a modo de tubérculo negro y subterráneo, de 3 a 6 cm y un peso variable de 20 a 200 g. Su aspecto y tamaño dependen de la época del año. En primavera es menor que una avellana y de color rojo violáceo; en verano, cuando ya ha crecido algo, es pardo oscuro; al final del otoño comienza a madurar y se va poniendo marrón negruzco con manchas herrumbrosas y luego negro, con la superficie cubierta de verrugas. (García, M., 1991).

Cuando el micelio de la trufa se instala y adueña de un terreno, se aprecian unos síntomas evidentes en la superficie, aparecen los denominados calveros o quemados. En estos calveros se seca la vegetación herbácea y la mayoría de las matas, quedando el suelo prácticamente desnudo. Este hecho se explica por la acción competitiva y herbicida del propio micelio en contra de las plantas no micorrizadas por éste.



Imagen 1: Trufera cultivada con el “quemado” característico

Su área de distribución natural se restringe al centro-norte de Italia, sur de Francia y este de Francia. (Reyna, 2007). Sin embargo, en muchas regiones del arco mediterráneo, donde existe de forma natural esta especie de hongo, se encuentran zonas en las que no se conoce la presencia de trufa negra y que ofrecen condiciones edáficas y climáticas favorables para establecer el cultivo.

Las dificultades que existen para identificar y localizar las áreas aptas para la producción de la trufa negra suponen un hándicap para el fomento de esta actividad agroforestal en las regiones que ya son aptas para ello. Por otro lado, la identificación de los hábitats adecuados para el desarrollo natural de la simbiosis hongo-árbol permite reconocer los ecosistemas aprovechables para la truficultura.

Por estos motivos, en España se han realizado diferentes mapas de aptitud trufera como son los de la Comunidad Valenciana (Domínguez *et al.*, 2003), Albacete (Honrubia *et al.*, 2006), Cataluña (Colinas *et al.*, 2007), León (Rodríguez *et al.*, 2008), Navarra (González, 2009), algunas comarcas de la serranía de Cuenca (Aguirre *et al.*, 2009). La metodología utilizada en la mayoría de los casos es el uso de la cartografía disponible pero con carencia de información edáfica, muy determinante en para este hongo, que se soluciona mediante el uso de series de vegetación, geológicas, litológicas o mediante localizaciones de truferas conocidas en las que se infieren sus características a modo de retroalimentación. Sin embargo, la cartografía resultante posee escasa resolución o la metodología empleada no permite extrapolar a otros territorios limitando la toma de decisiones.

Posteriormente se han realizado otros trabajos como los de la provincia de Huesca (Serrano-Notivoli *et al.*, 2014), Zaragoza (Barriuso *et al.*, 2014) y se está elaborando el mapa de la provincia de Teruel (Barriuso *et al.*, 2015). Estos nuevos mapas trabajan regiones geográficas más reducidas, de mayor resolución espacial, y que posibilitan la definición de las superficies aptas o no para la truficultura.

En el presente trabajo se analizan los factores condicionantes y limitantes que afectan a la distribución de la trufa negra en la comarca del Matarraña, una de las comarcas de la provincia de Teruel con una producción de trufa significativa. Después se integra toda la información obtenida en un SIG y por último se ponderan todas las capas de información en cada punto a través de métodos de evaluación multicriterio.

2-OBJETIVOS

El objetivo principal reside en obtener una cartografía del hábitat potencial de *T. melanosporum* en la comarca del Matarraña. Por otro lado también se identifican las áreas más aptas para el cultivo en función de los usos del suelo restringidos dicho hábitat potencial.

Para realizar el objetivo principal deben llevarse a cabo dos objetivos secundarios que son:

-Recopilación necesaria de todos los parámetros que se usarán posteriormente como la descarga de información SIG o la recogida de muestras de tierra para obtener datos de pH.

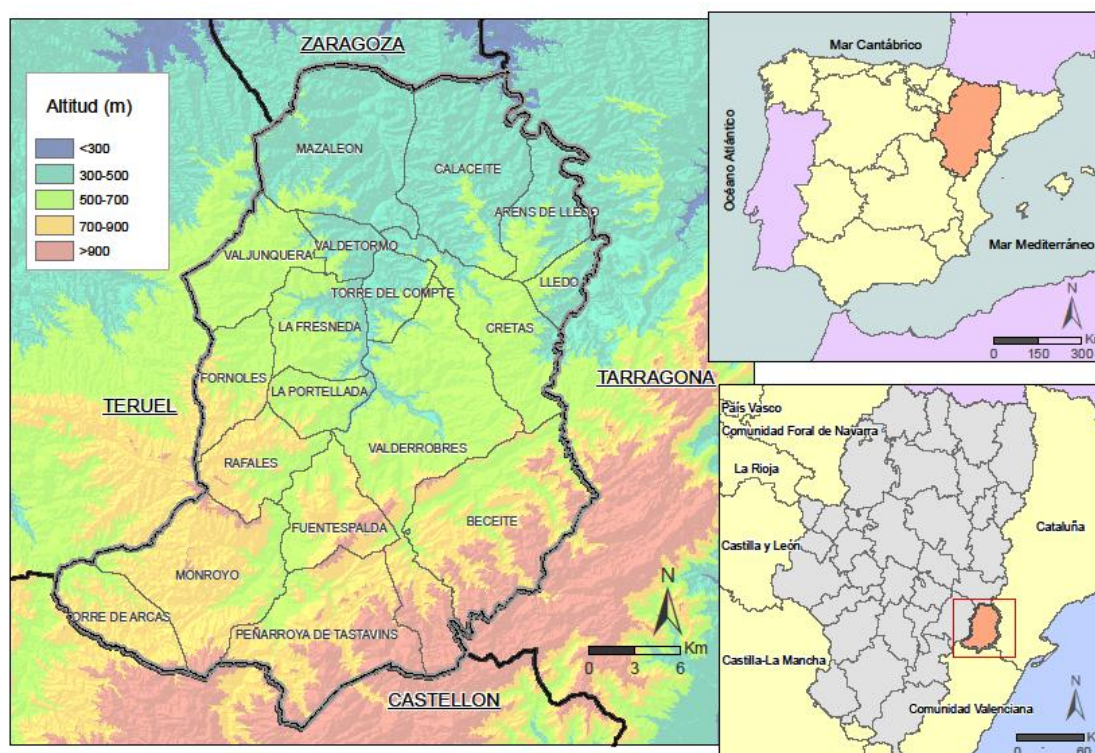
-Con la información descargada y/o analizada en laboratorio es imprescindible realizar una caracterización geográfica, edáfica y topográfica del área de estudio con el fin de establecer rangos de valores mensurables.

3-MATERIALES Y MÉTODOS

3.1-Área de estudio

La comarca del Matarraña (oficialmente Matarraña/Matarranya) es una comarca aragonesa situada al este de la provincia de Teruel. Su capital administrativa es Valderrobres y la cultural es Calaceite. Su territorio corresponde aproximadamente con la cuenca del río Matarraña junto con la parte aragonesa de la cuenca del río Algars y abarca 933 km² divididos en 18 municipios.

Figura 1. Área de estudio



Caracterización topográfica

Presenta una diversidad orográfica variada, con una gradación altitudinal de sur a norte, desde los 1.300 m de Los Puertos hasta los 350 m de Mazaleón a orillas del río Matarraña. Se trata de una zona predominantemente montañosa, donde se unen las últimas estribaciones del Sistema Ibérico con las Cordilleras Costero-Catalanas. Sin embargo, dentro de este entramado montañoso se pueden distinguir 3 grandes áreas diferenciadas.

La Zona del Matarraña medio se caracteriza por un relieve irregular pero bastante suavizado en el que se distinguen espacios llanos y amplios vales, idóneas para el cultivo, con alturas que no sobrepasan los 500 m. Los afloramientos rocosos son escasos, dominando principalmente materiales del terciario como las areniscas y las arcillas. El pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) se convierte en la unidad arbórea principal junto a algunas encinas (*Quercus ilex* L.) y robles (*Quercus robur* L.). La coscoja (*Quercus coccifera* L.) aparece muy comúnmente acompañada de enebros (*Juniperus oxycedrus* L.), romeros (*Rosmarinus officinalis* L.) y tomillos.

La Zona de Muelas y pinares se localizan primordialmente en el sudoeste del territorio. Se trata de un relieve montañoso en el que dominan formas tabulares como las muelas, cubiertas de densos pinares. Ésta área se encuentra en alturas entre los 500 y 1000m, que actúan como una zona de transición entre la alta montaña y la baja y coincide mayoritariamente con la cuenca del río Tastavins. El pino negral (*Pinus nigra* J.F.Arnold.) domina en las cotas de mayor altitud y la encina y el roble se intercalan en el pinar. A medida que se desciende aparecen bosques bien conservados de pino carrasco en algunas sierras acompañados de un sotobosque variado con especies de coscoja, romero, sabina (*Juniperus phoenicea* L.), enebro, tomillo, etc. y, situadas en fondos de barranco y zonas de umbrías se pueden ver madroños, acerolos, nogales y cerezos, entre otros.

Por último, aparece la Zona de los Puertos, localizados al sur de la comarca, con un relieve más accidentado, con las mayores alturas cercanas a los 1400 m (Tossal, del Rei). Están situados sobre un macizo eminentemente calizo, en el que aparecen numerosos cortados, con un relieve muy irregular y una gran variedad de barrancos que drenan y fracturan el territorio. Son frecuentes las formaciones típicas kársticas como simas o macrolapiaces. Los bosques de pino carrasco dominan en las zonas más bajas, acompañados por ejemplares aislados de encinas y robles que llegan a dominar algunas áreas concretas. El romero, coscoja, tomillo (*Thymus wilkommii* Willkomm. y *Thymus vulgaris* L.), sabina o enebro son ejemplos del variado matorral que acompaña al bosque. A medida que se gana altitud, el pino negral comienza a sustituir al carrasco por encima de los 750 m. Los robles y encinas continúan entremezclándose con el pinar, acompañados constantemente del boj (*Buxus sempervirens* L.) como sotobosque, a la vez que aparecen nuevas especies de árboles de alto valor ecológico como los arces (*Acer opalus* subsp. *Granatense* Boiss. y *Acer campestre* L.). Las zonas más elevadas están dominadas por el pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) pero combinado con el pino negral, junto con grandes manchas de boj y ejemplares de encina y enebro común (*Juniperus communis* L.).

Caracterización climática

La comarca del Matarraña se caracteriza por tener un clima mediterráneo continentalizado, en las que las precipitaciones disminuyen de manera importante de sur a norte, es decir, desde las áreas más altas de los Puertos hacia las zonas más bajas, próximas a la Depresión del Ebro. Desde medias anuales en torno a 800 mm de las zonas más altas hasta los 350 mm en las cotas más bajas. Un factor a tener en cuenta es la irregularidad pluviométrica junto con una alta frecuencia y duración de los períodos de sequía.

Además, existen 3 factores climáticos inherentes al clima mediterráneo que son la estacionalidad de las precipitaciones (con dos máximos en primavera y otoño), la torrencialidad (en verano y otoño especialmente) y la presencia del viento (cierzo) como un elemento desecador.

La temperatura media anual registra valores altos, con inviernos templados y veranos cálidos, oscilando entre los 11°C y los más de 15°C, presentando un ligero gradiente térmico relacionado con la orografía del terreno. Los valores más bajos se localizan en la vertiente sureste de las sierras. La amplitud térmica anual se sitúa en valores que oscilan entre los 25°C y los 30°C, registrándose los valores más altos en el sector sureste (Gobierno de Aragón, 2010a).

Caracterización Edáfica

Como unidades de suelo dominante destaca el Cambisol calcárico al sureste y al noreste y el Calcisol háplico al noroeste y suroeste de la Comarca. Los Cambisoles presentan una cierta movilización de carbonatos y un proceso de empardecimiento o brunificación más o menos intenso. El general les caracteriza una importante actividad biológica y son buenos para la agricultura, siempre que la profundidad, la pendiente y la pedregrosidad sean adecuadas. Los Calcisoles se caracterizan por la presencia de horizontes de acumulación de carbonatos. Suelen tener alto contenido en gravas y ser favorables para el desarrollo de la vegetación y de los cultivos (Gobierno de Aragón, 2010b).

3.2- Requerimientos ambientales de la trufa

La trufa negra necesita una serie de condiciones ambientales que en conjunto determinan su aparición exclusiva en algunas áreas del territorio. En este trabajo, las exigencias ambientales se han tratado como parámetros o variables de una ecuación que resolver sobre un territorio y cuyo resultado indica el grado de aptitud potencial de ese territorio para el cultivo de trufa.

Uno de los parámetros ambientales utilizados tiene un carácter limitante porque excluye la posibilidad de colonización de la especie en ciertas zonas debido a sus características (temperatura media del mes más cálido), y otros son condicionantes ya que la posible aparición de la especie está condicionada a la intensidad del parámetro ambiental presente en ese lugar (precipitación total estival, pendientes, etc.).

Los numerosos estudios sobre la distribución de la trufa negra (*T. melanosporum*) y otras especies de similares características biológicas en España (Domínguez *et al.*, 2003; Honrubia *et al.*, 2006; Colinas *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2008; Aguirre *et al.*, 2009; González-Aramada, 2009; Alonso-Ponce *et al.*, 2010), además de otros sobre su cultivo (Reyna, 2012), muestran que la trufa depende de una serie de parámetros edáficos y climáticos básicos para el desarrollo y crecimiento de la especie en cualquier lugar. En el presente trabajo se escogieron aquellos parámetros o variables ambientales que son más determinantes para la presencia de la especie en el área de estudio, y se dividieron en tres grupos en función de su naturaleza (Colinas *et al.*, 2007; Hall *et al.*, 2008, Olivier *et al.*, 2012, Reyna, 2012, Serrano-Notivoli *et al.*, 2014): 1) Topográfico, 2) Climático, y 3) Edáfico.

El grupo 1) que hace referencia a los factores topográficos engloba la altitud (ALT), la pendiente (PEND), y una combinación de altitudes y orientaciones (ORI). Este grupo no actúa de manera negativamente alta para excluir la aparición de la especie ya que el territorio estudiado se encuentra en una altitud dentro o cercana a los valores óptimos (entre 600 y 1000 m) y sus pendientes no exceden en demasía los valores ideales (entre el 5 y el 15%) (García-Barreda *et al.*, 2012).

El grupo 2) integra a los factores climáticos. La trufa negra está adaptada a un ambiente semiárido o mediterráneo (seco con tendencia continental) caracterizado por precipitaciones medias anuales de 600 a 900 mm que suelen concentrarse en primavera, final de verano y otoño (en forma de tormentas principalmente), contrastando con periodos secos en verano e invierno. Las variables incluidas en este grupo la conforman la precipitación total anual (PANUAL) que determina la presencia del árbol que alberga al hongo de la trufa negra, como la coscoja (*Quercus coccifera* L.) y el roble (*Quercus robur* L.), que presentan una ecología muy distinta (Reyna, 2012); la precipitación estival (PVER) suele ser más adecuada para el hábitat de la especie cuando se concentra con carácter mediterráneo (estacional, al principio del otoño y mitad de la primavera); la temperatura media anual (TMED), sin ser una variable climática demasiado indicativa en sí misma, revela un rango genérico en el que la planta es capaz de adaptarse.

Reyna (2012) señala que el óptimo es entre 8 y 15°C, lo que cubre prácticamente la mitad del territorio peninsular español eliminando las zonas de montaña; la temperatura media del mes de julio (TMAX) y la del mes de enero (TMIN) representan el máximo y el mínimo respectivamente de las medias del territorio, y sirven para establecer umbrales térmicos de adaptación. En este trabajo, la temperatura media del mes de julio ejerce de factor limitante, excluyendo prácticamente la mitad norte de la comarca.

El grupo 3) correspondiente a los factores edáficos es seguramente el de mayor relevancia, ya que establece las condiciones del medio directo en el que se ha de desenvolver la especie durante su crecimiento. Los suelos truferos son clasificados (Olivier *et al.*, 2012) desde el punto de vista pedológico en tres tipos diferentes: Leptosoles, suelos pardos calcáreos y suelos pardos cálcicos. Los suelos pardos calcáreos se encuentran incluidos entre los Calcosoles y los pardos calizos entre los Calcisoles. Aunque son los más habituales, no se pueden ignorar los Litosoles y los suelos coluviales, que se dan en truferas silvestres sin posibilidad de cultivo (Reyna, 2012). Como actualmente se carece de una información sobre distribución de los suelos completa para el área de trabajo y su estudio es inabordable para este objetivo, se optó por contemplar los parámetros edáficos de mayor importancia para la presencia de la especie.

Éstos son el pH (PH), que ha de estar entre 7,5 y 8,8; la caliza activa (CAL), con valores inferiores al 30%, y el contenido de materia orgánica (MO) (Colinas *et al.*, 2007; Hall *et al.*, 2008, Olivier *et al.*, 20012, Reyna, 2012).

La textura, incluida en otros trabajos sobre distribución de la trufa, no ha sido seleccionada como parámetro por la escasa información de este parámetro en el territorio y la necesidad de tiempo para el procesado de muestras en el laboratorio de manera que hace difícil su extrapolación a todo el territorio.

La información sobre el pH del suelo es determinante para la presencia de la especie en el territorio, es por ello por lo que se ha optado por ampliar la información existente sobre la comarca del Matarraña en este aspecto, tomando muestras directamente en campo. Para la obtención de la información de pH se ha elaborado una malla regular de puntos georreferenciados repartidos por todo el territorio. Posteriormente, los puntos han sido superpuestos con un mapa topográfico con el cual se ha procedido a establecer las rutas por carreteras y pistas más apropiadas para llegar a las coordenadas de los puntos de muestreo.

En cada punto, se ha anotado la coordenada exacta mediante un GPS (modelo Garmin®, etrex 20) y se ha excavado a una profundidad comprendida entre 10 y 40 cm, de acuerdo a la metodología desarrollada en Serrano-Notivoli (2014). Las muestras de tierra se guardaban en bolsas herméticas de plástico, acompañadas de una breve explicación de las características orográficas, edáficas y vegetales, además de una foto del punto exacto contextualizando su entorno.

Finalmente, las 50 muestras se han llevado al laboratorio de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Zaragoza para proceder a su análisis de pH, mediante un medidor de pH (CRISON[®], modelo D-505). Los resultados obtenidos se han incorporado en un SIG, que unido a las muestras de pH aportadas por el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), ha generado una capa ráster mediante la interpolación de los puntos de muestreo con un Kriging Ordinario.

3.3 Pasos llevados a cabo y evaluación multicriterio

El primer paso ha sido introducir las variables ambientales divididas en tres grupos: las variables climáticas compuestas de precipitación media anual, precipitación estival, temperatura media anual, media máxima anual y media mínima anual; las variables topográficas integradas por altitud, pendiente y orientación; y las edáficas, determinadas por la caliza activa, contenido en materia orgánica y pH.

La cartografía se ha realizado en el sistema de coordenadas “ETRS 1989 UTM, Zona 30” y Datum “D_ETRS_1989”.

La información climática proviene del Atlas Climático de Aragón (López *et al.*, 2007) en formato ráster y a una resolución espacial de 100 m. La información edáfica se obtuvo mediante un total de 79 muestras tomadas a profundidades de entre 10 y 40 cm en zonas distribuidas regularmente por toda la comarca, 8 de ellas contenían información de caliza activa, 10 de materia orgánica y 61 de pH (de las cuales, 50 aportadas por el autor). Las capas de caliza activa, materia orgánica y pH se han generado mediante la interpolación de la información contenida en los puntos correspondientes a los muestreos con Kriging Ordinario.

La información topográfica sobre la altitud se ha obtenido del MDE a 100 m de resolución espacial del Sistema de Información Territorial de Aragón (SITAR sitar.aragon.es), y a partir de esta información se generaron las variables de orientación y pendiente mediante la herramienta *Spatial Analyst* de ArcMap[®] 10.0.

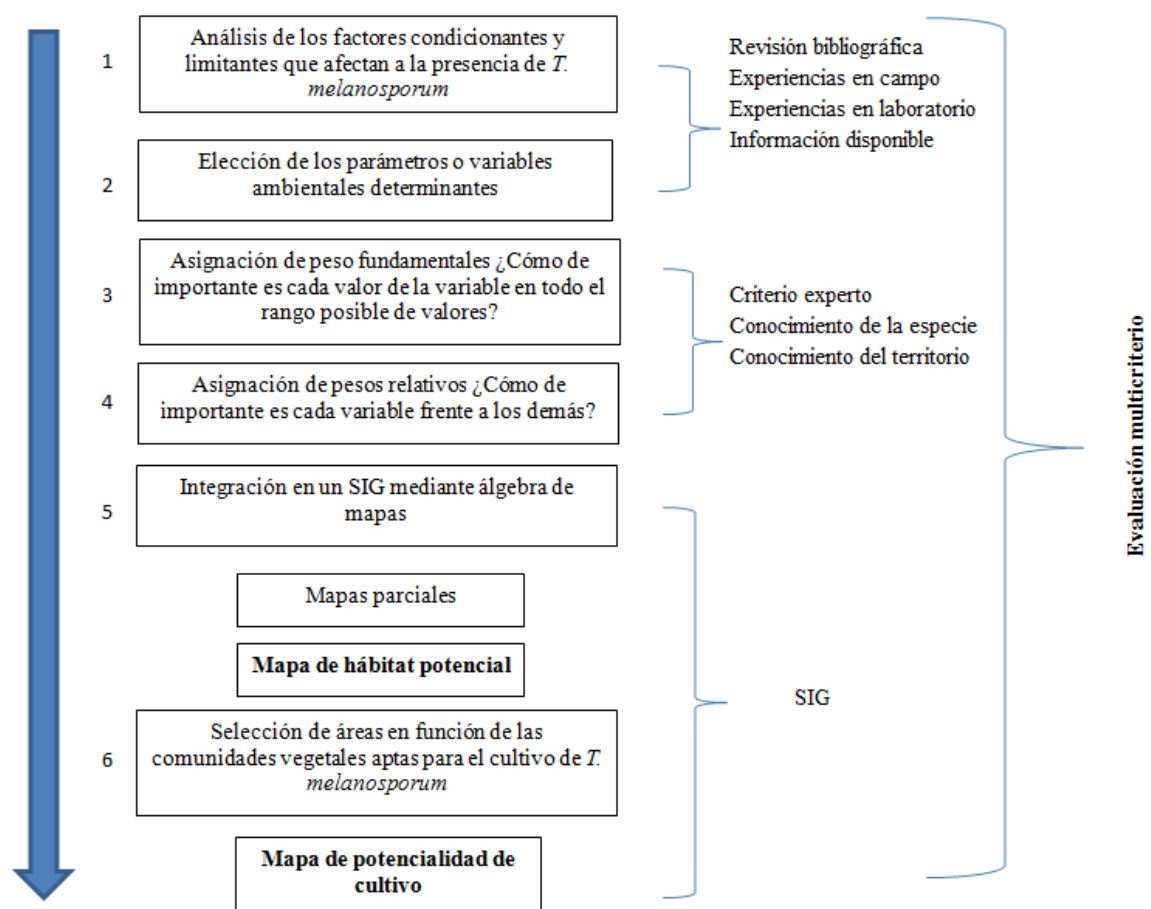
La información sobre las variables necesarias para el desarrollo de la trufa en el territorio se integró en un SIG con el fin de analizarlas desde un punto de vista espacial adaptadas al área de estudio.

Para modelizar espacialmente el hábitat potencial de distribución de la especie se siguió un modelo cartográfico de evaluación multicriterio (EMC) (Figura 3) (Romero, 1993; Barredo y Bosque, 1999; Malczewski, 1999; Gómez y Barredo, 2005). Se trata de un método de decisión en el que, junto con un SIG, los criterios (condicionantes y limitantes) se trabajan mediante variables ambientales adecuadamente reclasificadas y ponderadas.

Las alternativas o variables utilizadas son definidas geográficamente en el sentido en el que los resultados del análisis dependen de su distribución espacial original (Malczewski, 1999).

Se han utilizado once variables diferentes como determinantes de la presencia de la trufa negra, descritos anteriormente. Cada parámetro o variable tiene un valor distinto para determinar la capacidad para la producción de trufa.

Figura 2: Fases y métodos en el proceso de obtención de las cartografías parciales y finales mediante evaluación multicriterio. Adaptado de Serrano-Notivoli *et al.* (2014).



En este trabajo se utilizó el método de asignación directa, en el que se otorgan valores a cada criterio en función de su importancia para la presencia de la especie, siempre en base a la bibliografía existente y a la propia experiencia adquirida en los muestreos de campo. La falta de un criterio común o preestablecido por los investigadores y expertos en la materia es debido a la complejidad de la distribución de una especie tan escasa, y a la gran variabilidad de los parámetros observados en experiencias previas.

Sin embargo, se considera que pueden existir unos parámetros estándar que pueden llegar a dar resultados, aunque no definitivos, si suficientes y útiles, y son los que se han utilizado en el presente trabajo.

Para establecer el rango de aptitud de cada parámetro en las capas del mapa final se hizo una revisión bibliográfica (Reyna *et al.*, 2003; Colinas *et al.*, 2007; Igor *et al.*, 2010; Olivier *et al.*, 2012) para adaptarlas a la realidad territorial de la comarca del Matarraña. De esta manera, en la primera ponderación, se asignaron diferentes pesos a cada uno de los parámetros, estandarizándolos a su vez a una escala de 0 a 1 para que fueran comparables entre sí y poder operar matemáticamente con ellos (Tablas 1, 2 y 3). Esta ponderación es básica para encontrar las localizaciones óptimas del hábitat de la trufa, por lo que se realizó bajo los criterios ecológicos de la planta, que por otra parte son los requerimientos para su presencia.

Tabla 1: Variables del grupo climático y su ponderación de cada una en función de su importancia para la colonización de la trufa negra (PANUAL: precipitación total anual; PVER: precipitación estival; TMED: temperatura media anual; TMAX: temperatura media máxima anual; TMIN: temperatura media mínima anual).

Variable	Rango	Ponderación
PANUAL	350-600 mm	0,8
	600-900 mm	1
PVER	50-75 mm	0,7
	75-185 mm	1
TMED	10-15 °C	1
	15-18 °C	0,7
TMAX	17-24 °C	1
	>24 °C	0
TMIN	1-8 °C	1

Tabla 2: Variables del grupo topográfico y su ponderación de cada una en función de su importancia para la colonización de la trufa negra (ALT: altitud; PEND: pendiente; ORI: orientación).

Variable	Rango	Ponderación
ALT	200-400 m	0,2
	400-600 m	0,8
	600-1.000 m	1
	1.000- 1.200 m	0,8
	1.200-1.500 m	0,2
PEND	5-15 %	1
	15-30 %	0,8
	30-60 %	0,5
	>60 %	0,2
ORI	(S,SE,SW)>600 m	1
	(S,SE,SW)<600 m	0,5
	(N,NE,NW)>600 m	0,5
	(N,NE,NW)<600 m	1
	(E,O)	0,8

Tabla 3: Variables del grupo edáfico y su ponderación de cada una en función de su importancia para la colonización de la trufa negra (MO: materia orgánica; PH: pH; CAL: caliza activa).

Variable	Rango	Ponderación
MO	<2 %	0,8
	2-10 %	1
PH	7,5-8,5	1
CAL	0,1-30 %	1

Los pesos asignados (columna “ponderación” en las Tablas 1, 2,3) han tenido en cuenta la importancia de las variables cuando su efecto no es limitante para la presencia de la especie, siguiendo la metodología empleada en el mapa de hábitat potencial de la trufa negra en Teruel (Barriuso *et al.*, 2015). Varios autores coinciden al establecer los valores óptimos de la precipitación anual entre 600-900 mm y la precipitación estival entre 75-185 mm (Oliach *et al.*, 2005; Sáez y De Miguel, 2008).

Para cada grupo de variables incluidas en las Tablas 1, 2 y 3 se han generado mapas de potencialidad topográfica, climática y edáfica (figura 5).

Después, se ha realizado una segunda ponderación de las variables que requiere la especie en función del territorio estudiado para producir el mapa de hábitat potencial. Los parámetros seleccionados han sido 11 (Tabla 4) que son considerados principalmente los que determinan la existencia de la trufa negra en el territorio. (Serrano-Notivoli *et al.*, 2014).

Tabla 4: Valores asignados para la ponderación final.

Variable	Ponderación de 0 a 1	Ponderación sobre el total
ALT	0,75	11,36%
ORI	0,3	4,55%
PEND	0,4	6,06%
TMED	0,4	6,06%
TMAX	0,5	7,58%
TMIN	0,4	6,06%
PANUAL	0,6	9,09%
PVER	0,85	12,88%
PH	1	15,15%
CAL	1	15,15%
MO	0,4	6,06%

En función de las ponderaciones asignadas a cada parámetro, se ha establecido una suma ponderada donde es el valor en el mapa final, calculado a partir del sumatorio de cada parámetro (v_i) por su peso específico (w_i), dividido entre la suma de todos los pesos asignados.

$$\overline{MF} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Utilizando los valores ponderados se ha creado una suma ponderada que se ha insertado en un SIG mediante álgebra de mapas.

$$(ALT * 0.114) + (ORI * 0.045) + (PEND * 0.061) + (TMED * 0.061) + (TMAX * 0.076) + (TMIN * 0.061) + (PANUAL * 0.091) + (PVER * 0.129) + (PH * 0.152) + (CAL * 0.152) + (MO * 0.061) / (0.114+0.045+0.061+0.061+0.076+0.061+0.091+0.129+0.152+0.152+0.061)$$

El mapa de hábitat potencial derivado a través de la función anterior se ha contrastado con el Mapa Forestal de España 1:50.000 (MFE50) (Ministerio de Medio Ambiente) para eliminar del mapa de hábitat aquellas formaciones vegetales de árboles ectomicorrícicos que, según Reyna *et al.* (2006) y De Miguel *et al.*, (2014) no suponen un precedente de uso del suelo adecuado para el cultivo de la trufa negra.

En cuanto a la valoración para considerar las distintas áreas, desde zonas no aptas a óptimas, se ha procedido a establecer un criterio más restrictivo para las zonas óptimas que otros trabajos realizados con similar metodología (Barriuso *et al.*, 2015; Serrano-Notivoli *et al.*, 2014; Barriuso *et al.*, 2014). Se consideran zonas óptimas aquellas cuyo valor supere en 9 puntos en una escala de 0 a 10, ya que se trata de un área de estudio más reducida y con mayor densidad de información que permite definir los rangos de mejor forma.

Para realizar el mapa de cultivo, se han eliminado aquellas formaciones arbóreas y arbustivas capaces de generar ectomicorrizas, ya que éstas podrían competir con las micorrizas de la *T. melanosporum*. De manera que formaciones forestales como encinares o quejigares han sido excluidas, entre otras. Las especies incluidas han sido formaciones de enebrales, sabinas, acebuchares, vegetación no arbórea y pastos. Este procedimiento ha sido llevado a cabo mediante la siguiente consulta en lenguaje SQL:

NOM_FORARB = 'Melojares' OR "NOM_FORARB" = 'Pinares de pino pinaster en región mediterránea (P.pinaster ssp. mesogeensis)' OR "NOM_FORARB" = 'Mezclas de coníferas y frondosas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea' OR "NOM_FORARB" = 'Pinares de pino salgareño' OR "NOM_FORARB" = 'Pinares de pino albar' OR "NOM_FORARB" = 'Mezclas de coníferas autóctonas en la región biogeográfica Mediterránea' OR "NOM_FORARB" = 'Bosques ribereños' OR "NOM_FORARB" = 'Pinares de pino carrasco' OR "NOM_FORARB" = 'Arbolado disperso de coníferas' OR "NOM_FORARB" = 'Quejigares' OR "NOM_FORARB" = 'Encinares' OR "NOM_FORARB" = 'Bosques mixtos de frondosas en region biogeográfica mediterranea' OR "NOM_FORARB" = 'Choperas y plataneras de producción' OR "NOM_FORARB" = 'Arbolado disperso de frondosas' OR "NOM_FORARB" = 'Pinares de pino piñonero' OR "NOM_FORARB" = 'Arbolado disperso coníferas y frondosas' OR "NOM_FORARB" = 'Mezclas de coníferas autoctonas con alóctonas' OR "NOM_FORARB" = 'Pinares de pino negro'

3.4 Validación

Para poder comprobar la validez de la metodología llevada a cabo, es necesario superponer sobre el mapa de hábitat potencial las 94 presencias conocidas de *T. melanosporum* en la comarca del Matarraña, 93 de ellas provenientes del inventario de plantaciones de trufa negra del CITA y la otra restante aportada por el autor del trabajo.

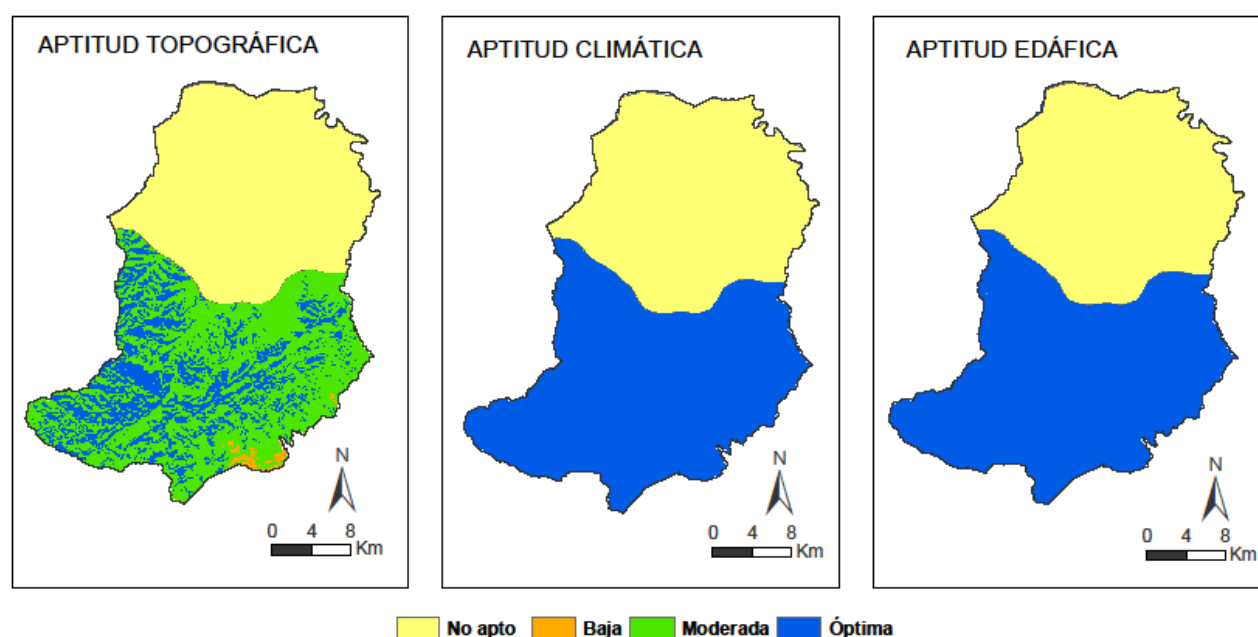
4-RESULTADOS

El mapa de potencialidad por grupos de parámetros (Figura 3) muestra unos resultados distintos entre ellos. Se ha eliminado la zona norte donde la media de las temperaturas máximas es mayor a 24°C, ya que se considera un factor limitante para la presencia de *T. melanosporum*.

La aptitud climática presenta unos valores óptimos en toda la mitad sur de la comarca, en contraste con el norte. Esto se debe principalmente por el efecto altitudinal que aumenta de norte a sur, permitiendo unas condiciones climáticas más óptimas para el desarrollo de la trufa negra. En concreto, la zona norte queda excluida de las ponderaciones de los demás parámetros porque la temperatura media máxima supera el umbral térmico de la especie para su colonización.

El mapa de aptitud edáfica muestra un resultado idéntico al de potencialidad climática. Todo el sur del territorio cuenta con unos valores de caliza activa, materia orgánica y pH adecuados (entre 0,1 y 30 la caliza activa, entre 2 y 10 la materia orgánica y entre 7,5 y 8,5 el pH).

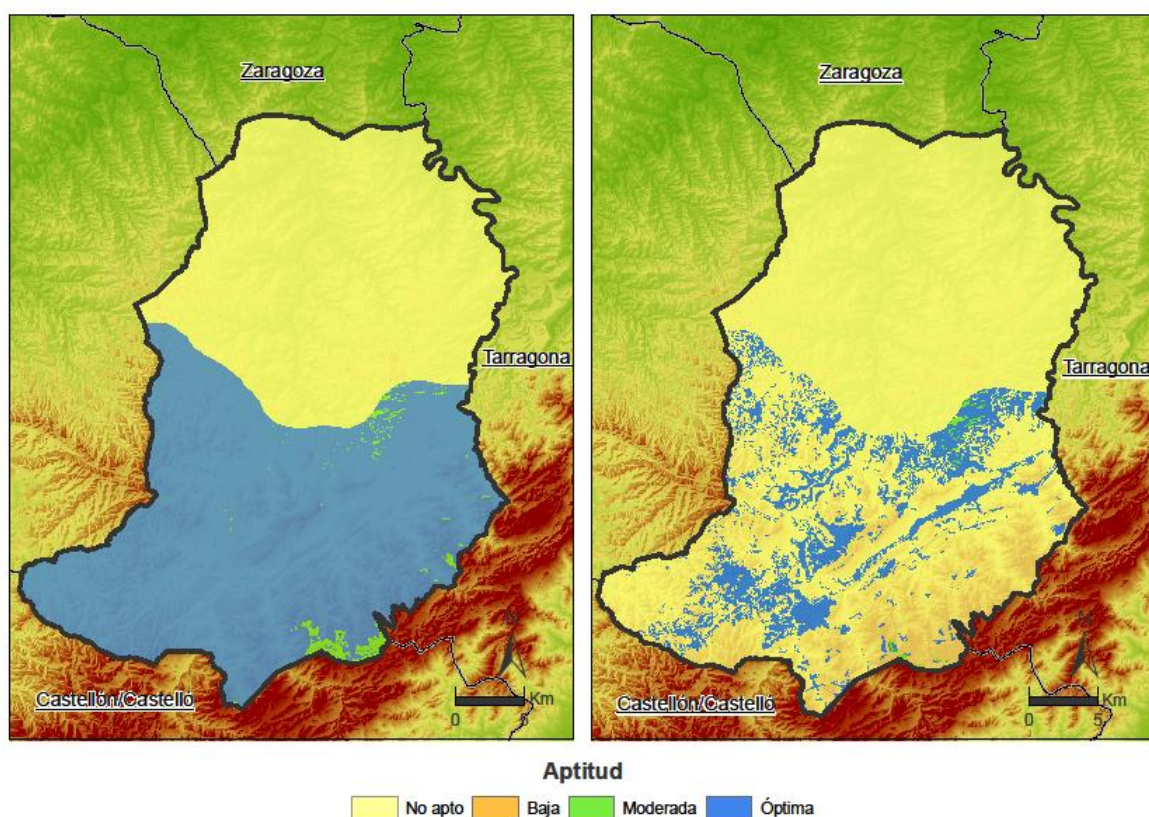
Figura 3: Potencialidad Topográfica, Climática y Edáfica



En el caso del mapa de aptitud topográfica, los valores de aptitud no aparecen tan homogéneos como los dos anteriores, sino que aparecen áreas muy reducidas con baja aptitud localizadas en el sur del término municipal de Peñarroya de Tastavins, en el límite fronterizo con la provincia de Castellón. En este caso la altitud y la pendiente ejerce como un factor negativo para el desarrollo de la especie, ya que estas zonas se encuentran sobre los 1.300m muy superiores a los valores óptimos (entre 600-1000 m) y pendientes entre el 30 y 60% (valores óptimos entre el 5 y 15%). El resto del sur de la comarca tiene valores que se sitúan entre aptitudes moderadas y óptimas. En este caso, las áreas moderadas están condicionadas por la conjunción de los factores de orientación y pendiente principalmente. Las zonas caracterizadas por orientaciones (S, SE, SW) >600m, o (N, NE, NW) <600m poseen ponderaciones bajas que, unido a pendientes elevadas (mayores al 15%), sitúan la calificación topográfica final en moderada.

El mapa final de hábitat potencial de la trufa negra (Figura 4) muestra una aptitud óptima prácticamente para todo el territorio que no ha sido restringido por las variables ambientales desde un inicio (la zona norte). La ponderación final de cada uno de los parámetros utilizados genera un mapa que no es el resultado de realizar la media aritmética de los mapas anteriores (topográfico, climático y edáfico), sino que es el resultado de una modelización en la que cada parámetro tiene un peso mayor o menor atendiendo a la ponderación mostrada anteriormente (Tabla 4). Podemos establecer que la línea que separa la zona no apta de la óptima se sitúa en una barrera altitudinal en torno a los 500 m en la que el efecto de la altura marca definitivamente el hábitat potencial de esta especie ya que el gradiente altitudinal tiene asociado un gradiente térmico, el cual ha sido el único parámetro restrictivo del área norte de la comarca, concretamente la temperatura máxima media anual. Las pocas zonas calificadas como “moderadas” presentan una valoración menor principalmente por el factor altitudinal, que en las áreas más al sur de la comarca superan fácilmente los 1.200 metros. Sin embargo, las zonas de aptitud moderada más al norte no llegan a los 500 metros, de manera que los territorios calificados como “moderados” se han visto ponderados negativamente por situarse en valores de altitud alejados de los óptimos (entre 600 y 1.000 metros).

Figura 4: Mapa de hábitat potencial de la trufa negra (izquierda) y Mapa de distribución de la potencialidad del cultivo (derecha) en la comarca del Matarraña.



Los resultados sobre la distribución del hábitat potencial muestran que las zonas no aptas ocupan 41.905 hectáreas (44,91%) en el conjunto de la comarca, las zonas consideradas moderadas 1.035 Ha (1,11%) y las áreas óptimas 50.360 Ha (53,98%).

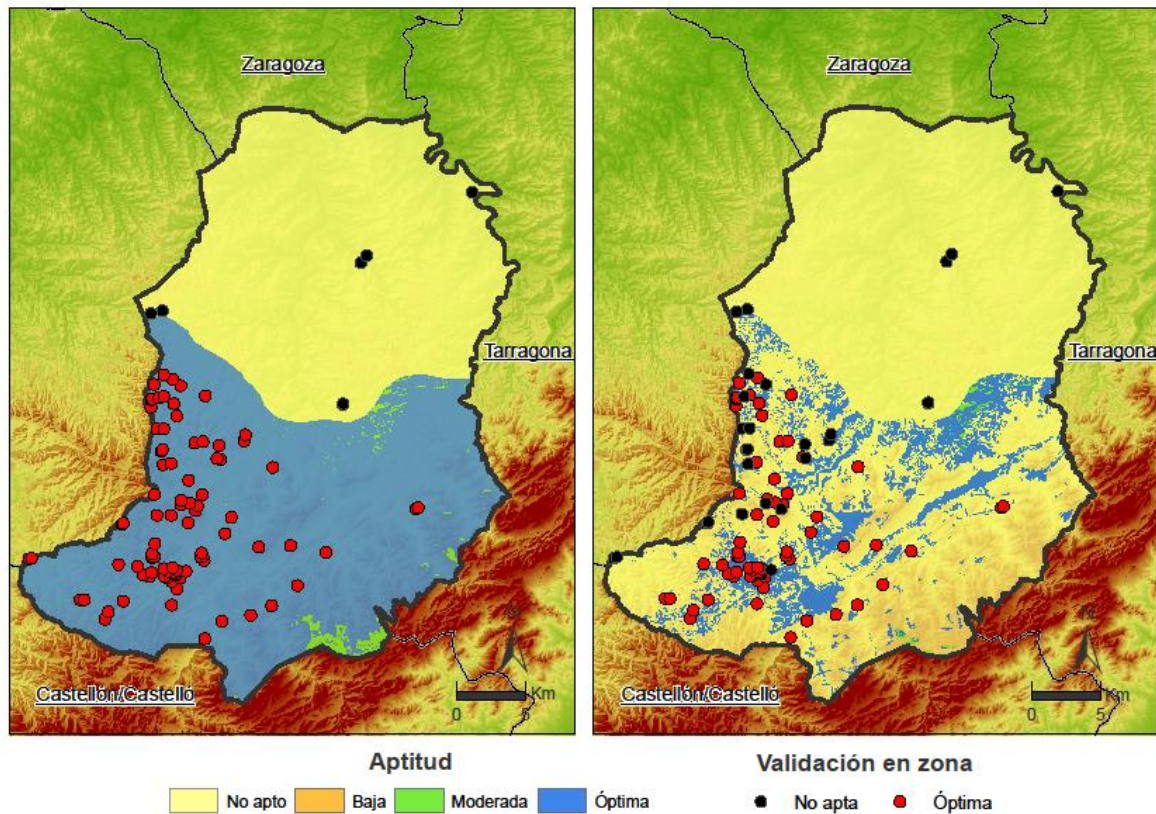
El mapa de la distribución potencial del cultivo (Figura 4 derecha) reduce mucho las zonas aptas para el cultivo, un 41,73% respecto al mapa de hábitat potencial. Este nuevo mapa permite visualizar de forma más detallada aquellas zonas más aptas para el cultivo de la trufa negra, permitiendo su utilización como un modelo de gestión. Las zonas no aptas cubren un área de 80.834 Ha (86,64%), las moderadas 284 Ha (0,30%), y las óptimas 12.182 Ha (13,06%), respecto al área total de la comarca.

Validación.

Al superponer los puntos donde existe constancia de la presencia de la *T. melanosporum* sobre el mapa de hábitat potencial se observa que la mayor parte se localizan sobre las áreas óptimas (Figura 5). En concreto, el 92,55% de las observaciones corresponden a localizaciones en espacios óptimos, mientras que solo un 7,45% se localiza en zonas no aptas.

Por otro lado hay que tener en cuenta que más de la mitad de las observaciones situadas en zonas no aptas están localizadas en puntos cercanos a áreas óptimas.

Figura 5: Ubicación de los puntos con cultivos actuales en los mapas de hábitat potencial y potencialidad de cultivo.



Al realizar el mismo procedimiento sobre el mapa de potencialidad de cultivo, el 71,28% de las parcelas de cultivo se distribuyen sobre zonas óptimas y el 28,72% en áreas no aptas. Sin embargo, existen parcelas situadas muy próximas a zonas óptimas pero que sin embargo se quedan excluidas. La falta de información con una resolución espacial mayor no hace posible un análisis más detallado y profundo, en el cual cabría la posibilidad de que el porcentaje de parcelas de cultivo en zonas óptimas aumentara.

De todas formas, la validación ofrece unos porcentajes altos que apoyan el modelo utilizado para analizar la distribución de la trufa negra en la comarca del Matarranya.

5-DISCUSIÓN

La trufa negra es una especie que posee unos requerimientos ambientales muy específicos en los que necesita unos valores mínimos para cada uno de sus condicionantes. En la actualidad no existe ningún modelo general aplicable a esta especie, ya que cada factor ambiental debe adaptarse al territorio estudiado. Por este motivo, la metodología de EMC aplicada es ideal para llevar a cabo este tipo de modelización, en la que intervienen diferentes expertos tanto en la materia como en el territorio sometido a estudio en las diferentes fases de la evaluación.

En un primer momento, disponemos de la información sobre la especie en cuanto a los rangos generales de cada variable se refiere (Tablas 1, 2 y 3) tal y como se muestra en trabajos de temática similar (Serrano-Notivoli *et al.*, 2014; Barriuso *et al.*, 2014; Barriuso *et al.*, 2015), pero es necesario tener un conocimiento profundo del área de estudio porque cada territorio posee características diferentes que pueden ayudarnos a la hora de asignar los pesos a las distintas variables. De modo que es imprescindible contar además con la ayuda de personas conocedoras de ese territorio.

La elaboración de este modelo potencial de hábitat tiene unos condicionantes previos a su creación, como la definición de los rangos de las variables según la escala de trabajo o la disponibilidad de datos. En este último, existe menor información edáfica en su conjunto como corrobora el hecho de que ni la provincia de Teruel ni la Comunidad Autónoma de Aragón dispongan de una cartografía de suelos de su territorio a una escala de detalle suficiente. Este hecho se intenta paliar utilizando muestreos puntuales con su posterior extrapolación.

6-CONCLUSIONES

Tras el análisis de los factores determinantes para la presencia de la trufa negra en la comarca del Matarraña, los resultados muestran que:

-La información recopilada en su conjunto han permitido abarcar las variables más importantes para formular posteriormente una caracterización ambiental precisa de la trufa negra.

-La metodología EMC combinadas con herramientas SIG es idónea por su versatilidad a la hora de manejar un número amplio de variables ambientales.

-La cartografía resultante muestra una aproximación espacial de la distribución de la especie calificando las zonas en función de sus aptitudes naturales relacionadas con los requerimientos ambientales de la trufa negra.

Como se ha dicho anteriormente, los resultados obtenidos deben servir como instrumento de gestión para implementar políticas encaminadas a aprovechar el entorno natural apto para la producción de la trufa negra. Pero para ello, es necesario tener en cuenta las predicciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2013) en las que muestran tendencias de aumento de temperaturas y también asociadas a ellas un cambio en la cantidad y regularidad de las precipitaciones. Sería recomendable adaptar los modelos de cultivos potenciales para situaciones futuras, ya que es lógico pensar que las áreas aptas para la presencia de la especie se modificarán, limitando las actuaciones de gestión a medio y largo plazo. Sin embargo, las previsiones del IPCC en años anteriores no se han ajustado a la realidad, de manera que existe una gran incertidumbre en el grado en el que se manifiesten los cambios. Por otro lado, hay que añadir que los modelos de distribución de hábitat de la trufa negra poseen un grado de incertidumbre innata, por lo que es necesario contar con una información de partida mayor y más detallada.

Aunque la resolución final ha sido de 100 metros, la finalidad del mapa no busca establecer una definición de tal escala, sino que sirve de orientación para las personas o agentes interesados.

Pueblos como Monroyo, Peñarroya de Tastavins, Fuentespalda o Torre de Arcas están apostando por el desarrollo del cultivo de esta especie con el fin de diversificar la economía productiva y aumentar sus fortalezas contra la vulnerabilidad que ocasiona el sector primario en ciertos momentos. Sin embargo, es necesario llevar a cabo un trabajo más exhaustivo y con mayor disponibilidad de información para conseguir un fin plenamente satisfactorio. Por otra parte puede servir como elemento de fijación de la población a la vez que ejerce de atracción de nueva población.

Potencialidades del trabajo

En el caso de la comarca del Matarraña, los datos de materia orgánica y caliza activa se han obtenido de 10 y 8 muestras respectivamente. En el caso de la información sobre el pH, se ha generado una malla regular de 50 muestras, sumadas a las muestras aportadas por el CITA. Con las muestras obtenidas, tendría interés realizar un análisis de materia orgánica y caliza activa para tener una información edáfica densa y regular, ya que esto último ha sido inabordable en este trabajo por la falta de tiempo y medios.

Este trabajo puede servir de referencia a la hora de generar mapa de hábitat potencial y potencialidad de cultivos para otras áreas de estudio similares a esta, de manera que sería interesante aplicar la metodología aplicada en este proyecto en otras comarcas, estudiando de manera más detallada aquellas que presenten unas mejores condiciones para el cultivo de la especie.

7- BIBLIOGRAFÍA

Aguirre JL, 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. 55 p.

Alonso-Ponce R, Águeda B, Ágreda T, Modrego MP, Aldea J, Martínez-Peña F (2010). Un modelo de potencialidad climática para la trufa negra (*Tuber melanosporum*) en Teruel (España). Forest Systems 19(2): 208-220.

APIA, Gobierno de Aragón (2010b). Memoria resumen y análisis preliminar de incidencia ambiental del plan de zona de desarrollo rural de la comarca del Matarraña/Matarranya. Departamento de Medio Ambiente.

(http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/Presidencia/Areas/01_Programa_Desarrollo_Rural_Sostenible/23_APIA-MATARRANYA.pdf)

Barredo JJ, Bosque J (1999). Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment. Geographical Systems 5, 313-327.

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 (sin editar; URI: <http://hdl.handle.net/10532/2472>).

Barriuso-Vargas J.J., Serrano-Notivoli R., Martín-Santafé M, Sánchez S. (2015). Mapa de aptitud para el cultivo de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vittad.) en la provincia de Teruel (España). (Sin editar)

Colinas C, Capdevila JM, Oliach D, Fischer CR, Bonet JA (2007). Mapa de aptitud para el cultivo de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.) en Cataluña. Centro tecnológico forestal de Cataluña. Solsona. 134 p.

Cuadrat JM, Vicente-Serrano S, Saz MA, (2007). Atlas Climático de Aragón. Departamento de Medio Ambiente. Gobierno de Aragón. 222 p.

De Miguel AM, Águeda B, Sánchez S, Parlade J (2014). Ectomycorrhizal fungus diversity and community structure with natural and cultivated truffle hosts: applying lessons learned to future truffle culture. *Mycorrhiza* 24 (Suppl. 1): S5-S18.

Domínguez JA, López C, Rodríguez JA, Saiz JA (2003). Caracterización de rodales truferos en la Comunidad Valenciana. *Ecología* 17, 181-190.

García, M. 1991. Cultivo de setas y trufas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 174 pp.

García-Barreda S, Reyna S, Pérez-Badía R, Rodríguez- Barreal JA (2012). Ecología de la trufa y las áreas truferas. Cap. 5. Truficultura. Fundamentos y técnicas. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 153-208.

Gómez M, Barredo JI (2005). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio Ed. RA-MA, Madrid.

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. 157 p.

Hall IR, Brown GT, Zambonelli A, (2008). Taming the truffle. The History, Lore, and Science of the Ultimate Mushroom. Timber Press. Portland, Oregon EE. UU. 303 p.

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, 35-40.

Igor B, Matteo G, Paolo R (2010). Carte di attitudine dei suoli ai tartufi in Piemonte metodologie e risultati. Atti 3er Congresso Internazionale de Spoleto sul Tartufo Spoleto 2008: 227-239.

IPCC (2013). Climate Change (2013). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds. Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley P). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, EE. UU. 1535 p.

ISA, Gobierno de Aragón (2010a). Plan comarcal de desarrollo rural sostenible de la comarca del Matarraña/Matarranya. Informe de sostenibilidad ambiental. Departamento de Medio Ambiente.

(http://www.aragon.es/estaticos/ImportFiles/MATARRANA/ISA_MATARRANA.pdf)

Malczewski J (1999). GIS and multicriteria decision analysis. Nueva York, J. Wiley, 392 p.

Oliach D, Bonet JA, Fischer CR, Olivera A, Martínez de Aragón J, Suz LM, Colinas C (2005). Guía técnica para el cultivo de trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.). Ed. Centre Tecnologic Forestal de Catalunya. 30 p.

Olivier JM, Savignac JC, Sourzat P (2012). Truffe et Trufficulture. Ed. FANLAC, Périgueux, France. 398 p.

Reyna S (2012). Truficultura. Fundamentos y técnicas. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 720 p.

Reyna S, de Miguel A, Palazón C, Hernández A, de Román M (2003). Truffle cultivation in Spain: state of the art and future prospects. 3rd International Workshop on Edible and Mycorrhizal Mushrooms, University of Victoria, British Columbia, Canada.

Reyna S, García-Barreda S (2014). Black truffle cultivation: a global reality. Forest Systems 23(2): 317-328.

Rodríguez JR, Acedo C, Marabel M, Álvarez MF (2008). Localización mediante SIG de zonas potencialmente truferas en la provincia de León. Uned. Espacio, Tiempo y Forma.

Serrano-Notivoli R, Incausa-Ginés A, Martín-Santafé M, Sánchez S, Barriuso-Vargas J.J.(2014). Modelización espacial del hábitat potencial de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vittad.) en la provincia de Huesca (España).

8-ANEXOS (Ver documento adjunto)