

*Mapa de aptitud
para el cultivo de
trufa negra*
(*Tuber melanosporum* Vitt.)
en Cataluña

C. Colinas, J.M. Capdevila, D. Oliach,
C.R. Fischer y J.A. Bonet

Solsona, 2007.

TÍTULO:

Mapa de aptitud para el cultivo de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.) en Catalunya

EDITA:

Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC)
C/ Pujada del Seminari, s/n
E-25280 Solsona
www.ctfc.cat

AUTORES:

C. Colinas, J.M. Capdevila, D. Oliach, C.R. Fischer y J.A. Bonet.

PATROCINA:

Departament de Treball de la Generalitat de Catalunya.
Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la
Generalitat de Catalunya.
Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.
Diputació de Lleida.

DISEÑO, MAQUETACIÓN Y IMPRESIÓN: Ampans

DEPÓSITO LEGAL: B-31135-2007

ISBN: 978-84-611-7637-3

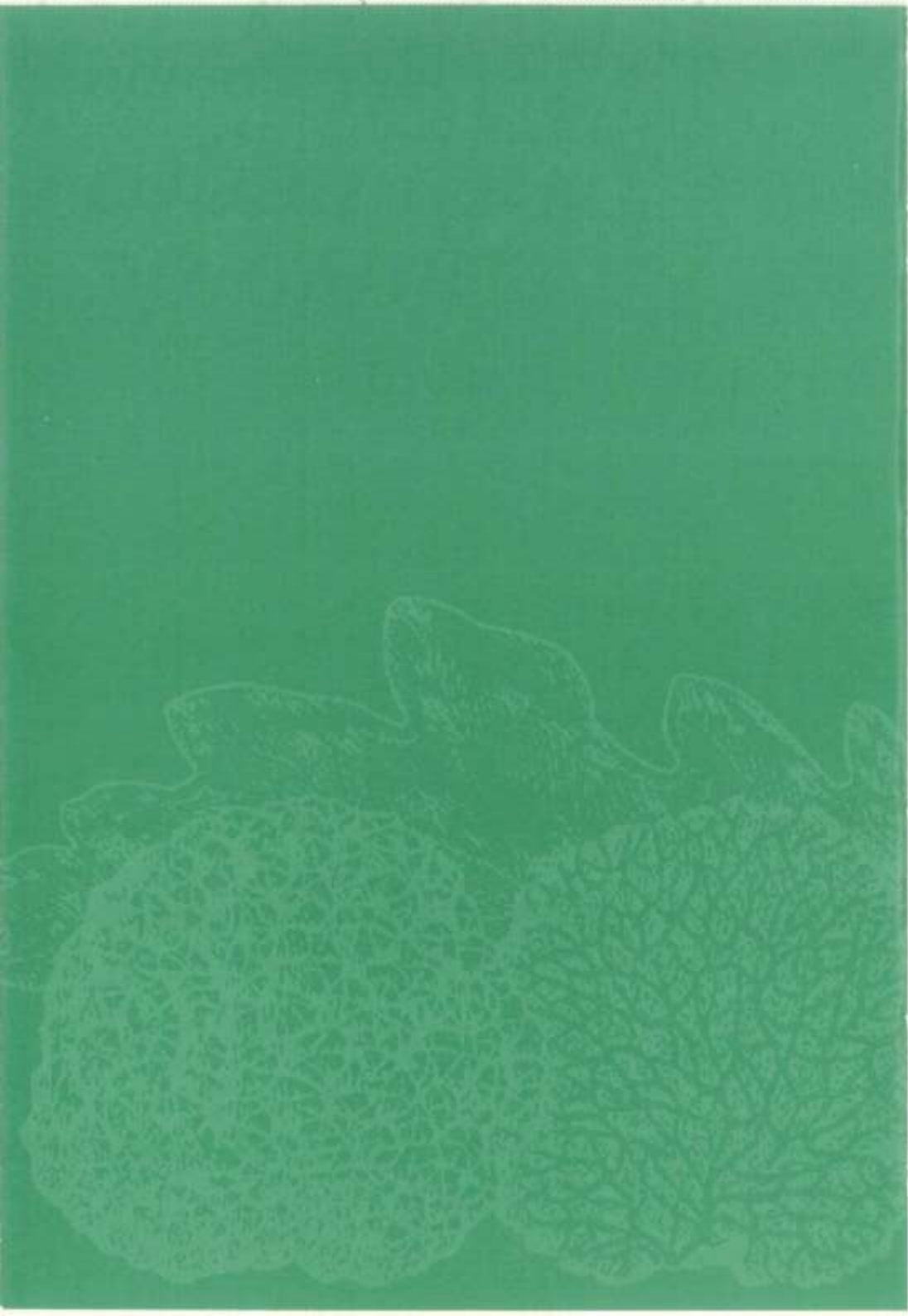
COLINAS, C., CAPDEVILA, J.M., OLIACH, D., FISCHER, C.R. y BONET, J.A., 2007. Mapa de aptitud para el cultivo de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.) en Cataluña. Ed. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona, 134 p. ISBN: 978-84-611-7637-3.

índice

*Mapa de aptitud
para el cultivo de
trufa negra*
(*Tuber melanosporum* Vitt.)
en Cataluña

1. Agradecimientos	7
2. Resumen	9
3. Introducción	11
3.1 ¿Qué es la trufa?	11
3.2 Descripción micológica	13
3.3 Ciclo biológico	14
3.4 Historia de la truficultura	17
3.5 El cultivo de la trufa negra	18
4. Truficultura y ordenación del territorio	23
5. Objetivos	27
6. Metodología	29
6.1. Parámetros que condicionan el desarrollo de la trufa negra	29
6.1.1. Investigación bibliográfica	29
6.1.2. Verificación bibliográfica	30
6.1.3. Rangos de aptitud	31
6.1.4. Priorización de los parámetros	31
6.2. Obtención y análisis de datos y cartografía medioambiental	31
6.2.1. Tratamiento de la información	31
6.2.2. Cartografía edáfica	32
6.2.2.1. Obtención de datos	32
6.2.2.2. Gestión de datos de suelos	33
6.2.2.3. Interpolación de los datos de suelos	34
6.2.3. Cartografía climática	35
6.2.4. Cartografía geográfica	35
6.2.5. Cartografía geológica	36
6.2.6. Análisis	36
7. Definición de los parámetros de las zonas apropiadas para el cultivo de la trufa negra	39
7.1. Valor de los parámetros	40
7.1.1. Parámetros edáficos	40
7.1.1.1. La acidez o alcalinidad	40
7.1.1.2. El Calcio	44
7.1.1.3. La profundidad del suelo	47
7.1.1.4. La textura	48
7.1.1.5. La pedregosidad	53
7.1.1.6. La materia orgánica	54
7.1.1.7. El Nitrógeno	57
7.1.1.8. La relación C/N	60
7.1.1.9. El fósforo	62

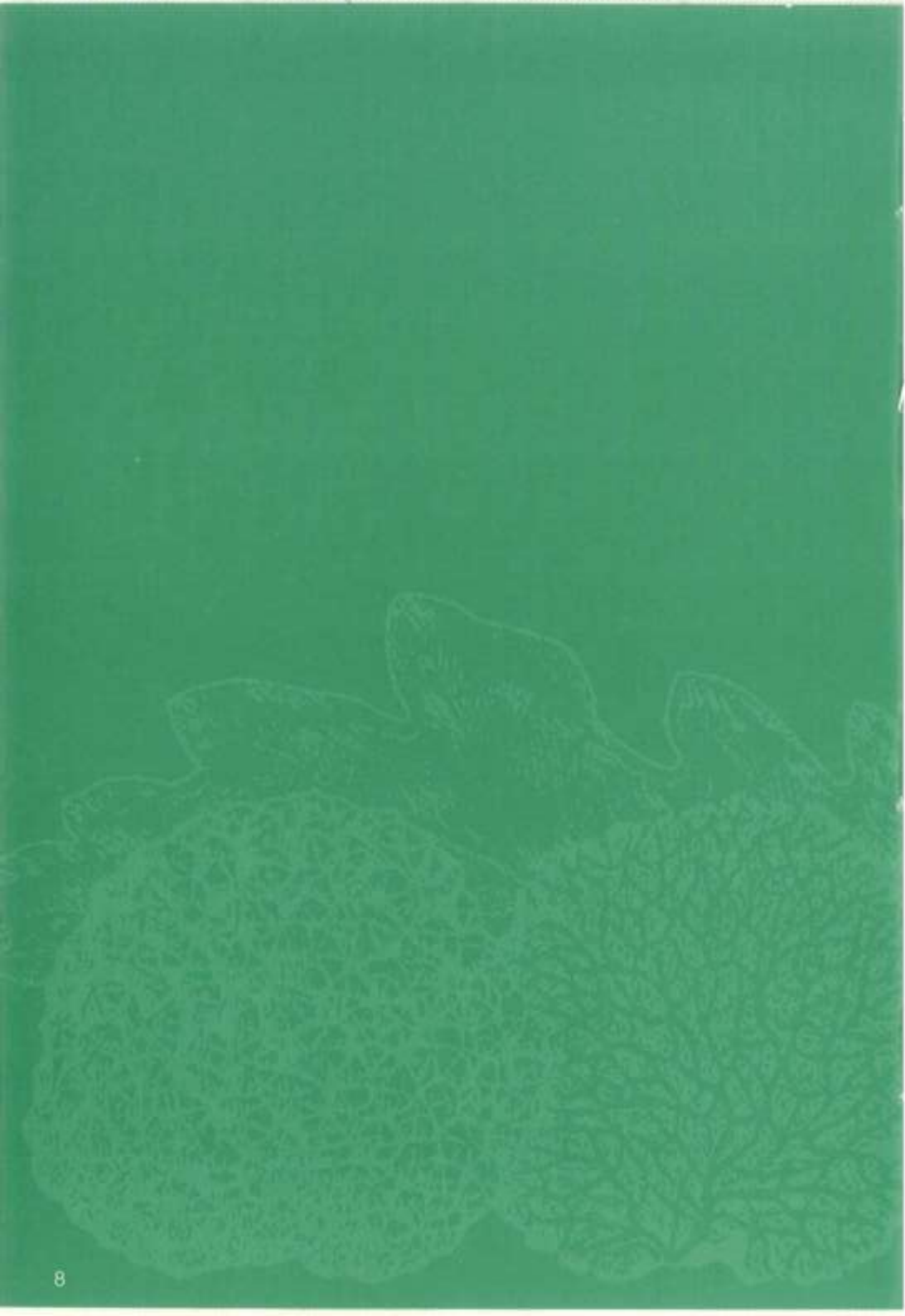
7.1.1.10. El potasio	64
7.1.1.11. La estructura	66
7.1.1.12. Tipos de suelos	67
7.1.1.13. La humedad	68
7.1.1.14. La conductividad	68
7.1.1.15. Los sulfatos	68
7.1.1.16. El magnesio	69
7.1.1.17. El hierro	69
7.1.1.18. El Cinc	70
7.1.1.19. El cobre	70
7.1.1.20. El manganeso	70
7.1.1.21. El boro	71
7.1.1.22. El estroncio	71
7.1.1.23. El molibdeno	71
7.1.2. Parámetros climáticos	71
7.1.2.1. La precipitación	72
7.1.2.2. La temperatura	75
7.1.2.2.1. El período sin heladas	77
7.1.3. Parámetros geográficos	77
7.1.3.1. La latitud	77
7.1.3.2. La altitud	77
7.1.3.3. La orientación	79
7.1.3.4. La pendiente	81
7.1.4. Parámetros geológicos	83
7.1.4.1. La roca madre	83
7.2. Priorización de los parámetros	85
7.2.1. Parámetros edáficos	85
7.2.2. Parámetros climáticos	85
7.2.3. Parámetros geográficos	86
7.2.4. Parámetros geológicos	86
7.3. Selección de los parámetros	87
8. Aptitud para el cultivo de la trufa negra	89
8.1. Aptitud edáfica	90
8.2. Aptitud climática	92
8.3. Aptitud geográfica	99
8.4. Aptitud para el cultivo de la trufa negra	99
8.5. Usos del suelo en las zonas aptas para el cultivo de la trufa negra	101
9. El cambio climático y el cultivo de la trufa negra	105
10. Consideraciones finales	111
11. Bibliografía	115



1

Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin la colaboración de diversas personas y entidades cuyas contribuciones agradecemos especialmente. Jaume Bolxadera (Departamento de Agricultura, Alimentación y Acción Rural, de la Generalitat de Catalunya), Miguel Arán (Applus+ Agroalimentario), Rafael Rodríguez (Universitat de Lleida), José Ramón Olarieta (Universitat de Lleida) y Joan Maria Estrada nos facilitaron el acceso a gran cantidad de datos de análisis de suelos. Marc Coromines y Joan Pere Garrido (Centre Tecnològic Forestal de Catalunya), nos ayudaron en el proceso de la información geográfica y Marina Agullera con las ilustraciones. El Departamento de Trabajo, el Departamento de Agricultura, Alimentación y Acción Rural, el Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya y la Diputació de Lleida han contribuido a la financiación de este trabajo.



2

Resumen

El objetivo de esta monografía es determinar las zonas de Cataluña más adecuadas para el cultivo de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.). Para conseguir este objetivo, se han considerado los rangos de valores adecuados para el desarrollo de la trufa negra de los parámetros seleccionados: la precipitación media anual, la precipitación en los meses de verano, la temperatura media anual, la temperatura media del mes más frío, la temperatura media del mes más cálido, el pH y la textura. A partir del Atlas Climático Digital de Cataluña, del Modelo Digital del Terreno y de analíticas de suelos de diferentes localizaciones de Cataluña, se ha cartografiado la aptitud para el cultivo de la trufa negra. Cataluña dispone de 1.582.662 ha aptas para el cultivo de la trufa negra, 506.804 de las cuales necesitarían la aplicación de riegos de soporte o aportaciones de enmiendas calcáreas al suelo. De éstas 1.582.662 ha, 375.007 ha son terrenos que se dedican a cultivos de secano donde son necesarias las subvenciones de la Política Agraria Comunitaria para hacerlos rentables, o que han sufrido incendios forestales. El cambio climático global comportará un descenso de la superficie apta para el cultivo de la trufa negra del 14% para el año 2040.



3

Introducción

3.1 ¿Qué es la trufa?

La trufa es considerada como el diamante de la cocina, siendo muchos los calificativos que se le atribuyen: divina, misteriosa, preciosa, maravillosa... Esta aura misteriosa que la rodea viene dada, en parte, por sus excepcionales características organolépticas, por una recolección atípica que precisa de la ayuda de perros, cerdos, o incluso moscas (*Sullia gigantea* Meig y *Sullia fuscicornis* Zett.) (Olivier *et al.*, 2002), y por sus mercados tradicionalmente rodeados por el misterio y la nocturnidad. Conocida por su aroma y sabor, la trufa constituye uno de los ingredientes privilegiados de una comida festiva, pero también de un plato sencillo. Existen muchas especies de trufas, pero la más apreciada de las que crecen en la Península Ibérica es la trufa negra. (*Tuber melanosporum* Vitt.) (Foto 1).



Foto 1: *Carpóforo de trufa negra (Tuber melanosporum Vitt.)*

La trufa se encuentra de forma silvestre en muchos de nuestros bosques, sin embargo, Cataluña no ha sido un país que tradicionalmente la haya utilizado en sus hábitos gastronómicos. Por eso, no es de extrañar que casi la totalidad de la producción se exporte al mercado francés, donde necesitan grandes cantidades de trufas para la elaboración de foie gras y patés tradicionales de la cocina francesa. Italia también disfruta de la trufa como componente privilegiado en algunos de sus platos. Son conocidas varias recetas de pasta con trufa negra, como los tallarines o los espaguetis con trufa. En Cataluña, con una incorporación muy tardía de la trufa en el entorno culinario, todavía no se han desarrollado un conjunto de recetas que se hayan convertido en tradicionales. No obstante, actualmente se están haciendo muchas actividades para difundir sus valores gastronómicos, ya sea a través de ferias o de jornadas técnicas y gastronómicas.

La producción de trufa negra silvestre ha sufrido un bajón importante durante las últimas décadas, mientras que la demanda ha ido en aumento. La solución para mantener la producción y satisfacer la demanda actual pasa por incidir en la promoción de su cultivo mediante plantaciones con árboles inoculados con el hongo, y llevando a cabo una gestión selvícola adecuada de nuestros montes.

3.2 Descripción micológica

La trufa negra es el cuerpo de fructificación de un hongo hipogeo, es decir, que produce sus esporas en carpóforos bajo tierra. Esta forma de vida la hace más resistente a la desecación o a las heladas. Las trufas no pueden diseminar sus esporas activamente sino que dependen de los animales para hacerlo.

Otra característica relevante de la trufa es que se trata de un hongo micorrícico. Estos hongos son simbiotes obligados, ya que no pueden completar su ciclo sin estar asociados a una planta huésped de la que reciben carbohidratos. La planta huésped también se beneficia de la simbiosis, ya que recibe agua y minerales del hongo, especialmente cuando crece en suelos pobres en fósforo. En esta simbiosis, el hongo crece alrededor y entre las células externas de las raíces tróficas formando una estructura conocida como micorriza que permite el intercambio de sustancias entre ambas especies. Los huéspedes que forman micorrizas con *T. melanosporum* son encinas (*Quercus ilex* sp. *ilex*, *Q. ilex* sp. *ballota*), robles (*Q. faginea*, *Q. pubescens*), coscojas (*Q. coccifera*), avellanos (*Corylus avellana*), jaras (*Cistus incanus*), pinos (*Pinus pinea*, *P. halepensis*, *P. nigra*), carpes negros (*Ostrya carpinifolia*), carpes o carpinos (*Carpinus betulus*) y tilos (*Tilia* sp.) (Palenzona, 1969; Bencivenga y Granetti, 1990; Manna, 1992; Bencivenga *et al.*, 1995; Fischer, datos no publicados). Sin embargo, los huéspedes más habituales son las encinas, los robles y más raramente otras frondosas (Gerhardt *et al.*, 2000).

El micelio de *T. melanosporum* impide el crecimiento de otros vegetales en torno al huésped, dejando un terreno sin vegetación que se conoce como quemado (Foto 2), que proporciona una mayor resistencia al árbol huésped ante la sequía y la falta de nutrientes por el hecho de no tener competidores.



Foto 2. Quemado de la trufa negra (Alòs de Balaguer, La Noguera, Lleida).

3.3 Ciclo biológico

El ciclo biológico de la trufa (Figura 2.1) empieza con la diseminación de las esporas cuando el carpóforo se descompone y la trufa emite un fuerte olor que atrae a animales que contribuirán a la diseminación de las esporas. Posteriormente, con la germinación de estas esporas (Foto 3) se producirá el crecimiento de los elementos filamentosos del hongo que, de alcanzar el contacto con una raíz trófica de la planta huésped, dará lugar a la formación de micorrizas (Foto 4). Después, el micelio continúa colonizando el suelo, encontrando nuevas raíces y formando nuevas micorrizas hasta que, después de 5-10 años, con las condiciones ecológicas adecuadas, el hongo empieza a producir los codiciados cuerpos fructíferos. A partir de mayo empiezan a formarse los primordios de los cuerpos de fructificación, que después de pasar por una larga fase de crecimiento y de maduración se convertirán en trufas que podrán ser recolectadas a partir de noviembre, cuando hayan alcanzado sus características organolépticas (Figura 2.1).

En Cataluña, la temporada hábil de recolección es habitualmente del 15 de noviembre al 15 de marzo. La fructificación y desarrollo de la trufa puede variar según las condiciones climáticas del año, pudiendo llegar a fructificar durante el mes de julio después de importantes lluvias (Ricard *et al.*, 2003).

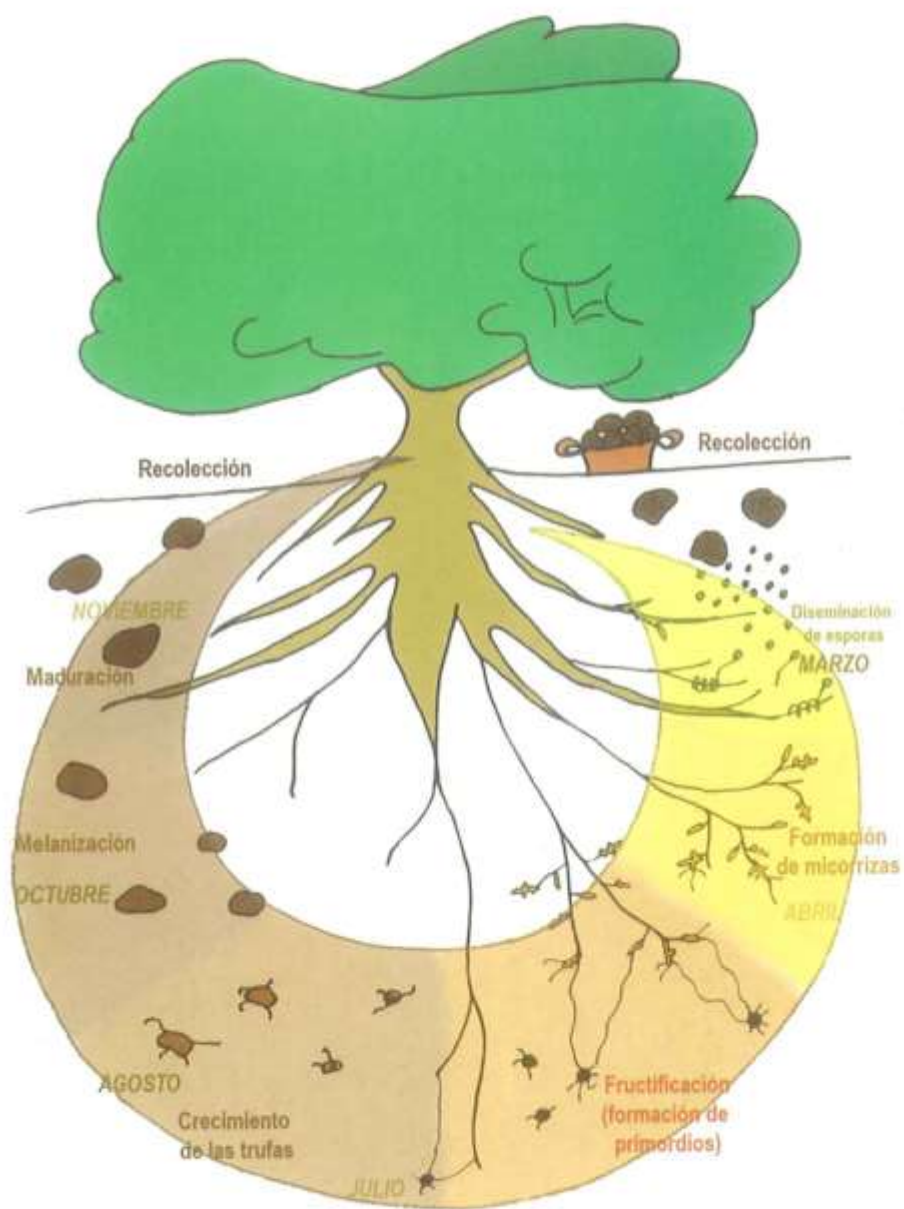


Figura 2.1: Esquema del ciclo biológico de la trufa. Basado en Sourzat (2002).

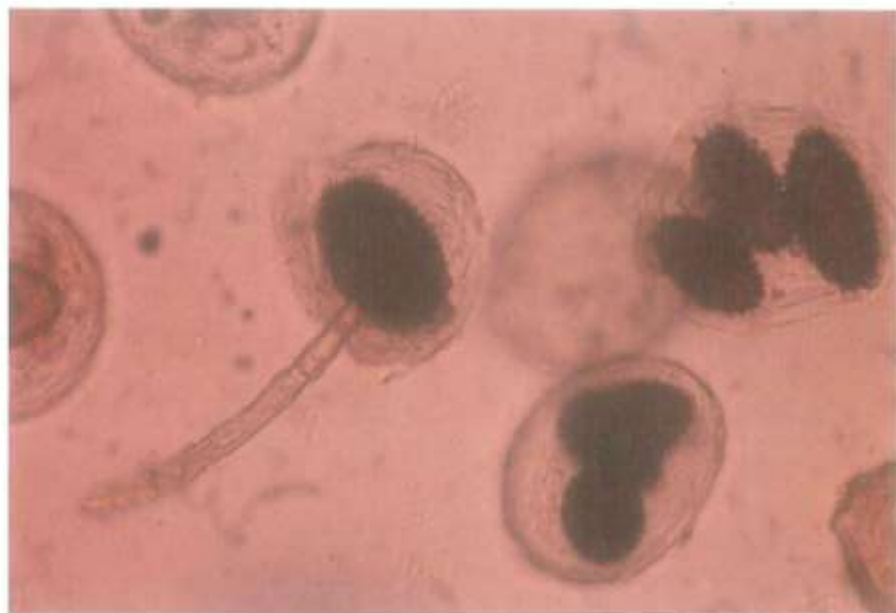


Foto 3: Espora de *Tuber melanosporum* Vitt. germinando.



Foto 4: Micorrizas de *Tuber melanosporum* Vitt agrupadas en un glómérulo.

3.4 Historia de la truficultura

A lo largo de la historia son múltiples las referencias a este fruto de la tierra. Teofrasto (s. III a.C.) escribió que cuanto más truenos, más crecen y en el 1536 Cinarello publica *Opusculum de Tuberius*, donde por primera vez se apunta la posibilidad de que la trufa sea una especie de hongo, hipótesis confirmada por Geoffroy en 1711 y por Micheli en 1778, que distingue entre la trufa negra y la trufa de verano (*Tuber aestivum* Vitt.) (Estrada, 1990).

Josep Talon, al principio del siglo XIX, mencionaba la relación entre trufas y árboles: *si vous voulez des truffes, semez des glands* (si queréis trufas, sembrad bellotas). Pronto surgen las primeras publicaciones de truficultura; en 1869 Chatin y en 1887 Bosredon. En los años 60, diferentes grupos de trabajo de universidades francesas e italianas, desarrollaron las técnicas de inoculación. En 1974 salieron al mercado las primeras plantas inoculadas controladas y certificadas por el INRA francés (Olivier *et al.*, 2003).

La primera referencia que tenemos de la trufa en España es de Andrés de Laguna (Segovia, 1510-1559). Desde el punto de vista técnico la primera publicación española específica sobre la trufa es la de Enrique de Bellpuig del año 1900: *Trufas, Setas, Espárragos y Fresas* (Reyna, 2000), aunque históricamente los mayores avances técnicos en el campo de la trufa se producen en Francia.

En la actualidad, la investigación y desarrollo de la truficultura ha avanzado mucho, sobre todo en Francia y en Italia que disponen de centros específicos de investigación y numerosos grupos de trabajo. En España no ha habido el mismo interés por el hecho de no disponer de un gran mercado propio y de que casi toda la producción se exporte a los mercados franceses e italianos. Sin embargo, hay que destacar las plantaciones de la empresa CATESA-AROTZ en Soria, donde en la actualidad dispone de 600 ha de plantaciones de *T. melanosporum* (Carbajo, 1999). Además, en los últimos 10 o 15 años se ha producido un importante aumento en la actividad del sector trufero tanto en el ámbito de la investigación, como en las iniciativas tomadas por la administración y el sector privado.

A pesar de estos grandes avances en la investigación y en la truficultura, la producción silvestre de trufa negra no deja de decrecer. Si en España en el año 1970 hubo una producción de 200 toneladas (Estrada, 1987), la producción del año 1999/2000 fue de 5 toneladas (Olivier *et al.*, 2002). La producción de trufas en toda Europa ha sufrido un fuerte descenso. En Francia durante el siglo XX, la producción ha pasado de las 1000 a las 50 toneladas (Callot, 1999) y la Federación Francesa de Truficultores estima la producción global de trufa en un 10% de la demanda (Savignac, 2003). Por lo tanto, hace falta continuar avanzando en la investigación

de la truficultura, pero sin dejar de lado las trufas silvestres, intentando mantener y en un futuro aumentar su producción, mediante un buen mantenimiento y técnicas selvícolas adecuadas a los requerimientos de la trufa.

3.5 El cultivo de la trufa negra

La principal razón que ha hecho aumentar el número de plantaciones es su alta rentabilidad, siendo el cultivo de la trufa negra una alternativa muy favorable en las zonas calcáreas donde las condiciones no admiten otros tipos de cultivos o donde los rendimientos que se obtienen por cultivos tradicionales son escasos (López y Torres, 1993).

T. melanosporum puede formar micorrizas con una planta huésped en el vivero si se dan las condiciones favorables. Los árboles huésped más utilizados en truficultura son: *Quercus ilex*, *Quercus humilis*, *Quercus faginea*, *Quercus coccifera* y *Corylus avellana*.

Al salir del vivero, las plantas inoculadas con *T. melanosporum* son plantadas en parcelas con antecedentes de cultivo preferentemente de cereales, forrajes o leguminosas (Reyna, 2000), admitiendo también como buenos precedentes la viña y frutales (Verhac *et al.*, 1990; Sourzat, 2002). Recientemente, se ha observado que los bosques de coníferas quemados también son receptivos a *T. melanosporum*, aunque todavía no hay datos de productividad (Martínez de Aragón *et al.*, 2005). En 1975 se recogió la primera trufa en Italia producida en una plantación establecida con *T. melanosporum* de plantas de vivero (Chevalier, 2002, com. pers.). El mismo resultado se obtuvo en Francia en 1977 (Chevalier y Grente, 1979). Esta técnica ha permitido que se establezcan plantaciones de trufa negra en lugares donde las trufas no se habían desarrollado nunca (Hall *et al.*, 1994).

Chevalier y Frochot (1997) calculan que desde 1973 a 1997 en Francia se han plantado más de un millón de plantas inoculadas, y Bencivenga (1999) estima en unas 5.000 ha la superficie plantada entre 1989 y 1999 con trufa negra y trufa blanca (*Tuber magnatum* Pico) en Italia.

En España, las plantaciones se inician al principio de los años setenta mediante la importación de plantas francesas, y a partir de la década de los ochenta aparecen empresas que cultivan y venden sus propias plantas, y empiezan a dar a conocer la truficultura (Estrada, 1999).

A partir de los ochenta, el creciente desarrollo de la truficultura ha hecho que aumen-

tara en pocos años el comercio de las plantas inoculadas con *T. melanosporum*. En España, en el año 1999 se calculaba una superficie total plantada de 2.000 ha (Estrada, 1999). Actualmente sólo en la provincia de Teruel ya se aproxima a las 3.000 ha plantadas, de las que dos terceras partes se sitúan en la comarca de Gúdar - Javalambre, y se calcula la superficie total plantada en España en unas 4.500 ha.

En Cataluña también existen diversas plantaciones repartidas por todo el territorio. La superficie plantada se encuentra en torno a las 120 ha, experimentando un fuerte incremento estos últimos años, debido al creciente interés por este cultivo (Oliach, 2004).

Para poder realizar una plantación hace falta que se cumplan una serie de requisitos: clima y terreno apropiados, planta huésped adecuada, y la utilización de medidas y prácticas culturales apropiadas en la plantación. Así pues, es necesario una preparación del terreno mediante un arado profundo con el fin de romper la suela de labor, si la hay, y posteriormente un labrado más superficial para nivelar el terreno (Estrada y Alcántara, 1990). También resulta necesaria la elección de la planta más apropiada a cada zona, dándose los mejores resultados en nuestra zona con encina. La planta tendría que tener un sistema aéreo sano y un sistema radicular abundante con un porcentaje de micorrizas de *T. melanosporum* superior al 33% y sin ninguna micorriza de algún otro hongo del género *Tuber*, sobre todo de especies exóticas, como la recientemente comercializada *T. indicum* procedente de Asia, que puede constituir una amenaza para las poblaciones silvestres de *T. melanosporum* en nuestro país. Un bajo porcentaje de micorrizas de hongos de vivero resulta aceptable, aunque no es deseable (Fischer y Colinas, 1996). Actualmente, se encuentra disponible en el mercado español planta con porcentajes de micorrizas de trufa muy superiores al 33% y prácticamente libres de micorrizas de otros hongos. Una vez se ha escogido la planta adecuada se procede a la plantación con una densidad de 250-350 plantas/ha, en suelos calcáreos bien drenados; y preferentemente entre noviembre y marzo (Verhac *et al.*, 1990) o hasta abril en el caso de problemas de heladas tardías (Sourzat, 1997).

Una vez establecida la plantación, tendremos que gestionarla adecuadamente para obtener una buena producción. En otros cultivos hay mucha información sobre la forma de conducir las plantaciones y la respuesta a una determinada gestión es claramente observable: se puede ver en el campo el crecimiento de los árboles, si florecen, si los frutos aumentan de tamaño, etc. En cambio, en el cultivo de la trufa negra, el objetivo es favorecer el desarrollo del hongo y éste no es directamente observable debido a que se desarrolla en el suelo. El primer indicio de un buen desarrollo del hongo, que no determinantes para el éxito de la plantación, es la aparición de los quemados entre el cuarto y séptimo año. Si la planta está en buenas condiciones, el terreno y el clima son adecuados, y se lleva a cabo una

correcta gestión y mantenimiento de la plantación, podremos obtener las primeras trufas entre el sexto y el décimo año. Hasta la llegada de este momento, para poder hacer el seguimiento de la evolución del hongo, se puede observar la proliferación de micorrizas del hongo en las raíces del árbol, o bien detectar el micelio en el suelo mediante técnicas moleculares (Suz *et al.*, 2006).

Los trabajos posteriores a la plantación, con el fin de conseguir un correcto desarrollo de la planta inoculada, corresponden a un laboreo del terreno a poca profundidad, no superior a 10 - 15 cm (Fortuny y Estrada, 1986), aunque existen modelos de producción en que no se laborea. También se recomienda aplicar un riego regular hasta la mitad del verano durante los primeros años de plantación con el fin de favorecer el establecimiento del sistema radicular, y posteriormente en los casos de sequía. Hay que tener presente que un riego excesivo resulta perjudicial para la trufa (Bonet *et al.*, 2006).

La poda de las plantas se recomienda todos los años, consiguiendo que el árbol tenga forma de cono invertido u ovalado, eliminando ramas bajas (Aguilar, 1982; Sáez y De Miguel, 1995). Con la poda se consigue aumentar la radiación solar que llega al suelo, facilitar la posterior instalación de un sistema de riego y la recolección. Una vez la plantación entra en producción (Foto 5), su productividad resulta muy

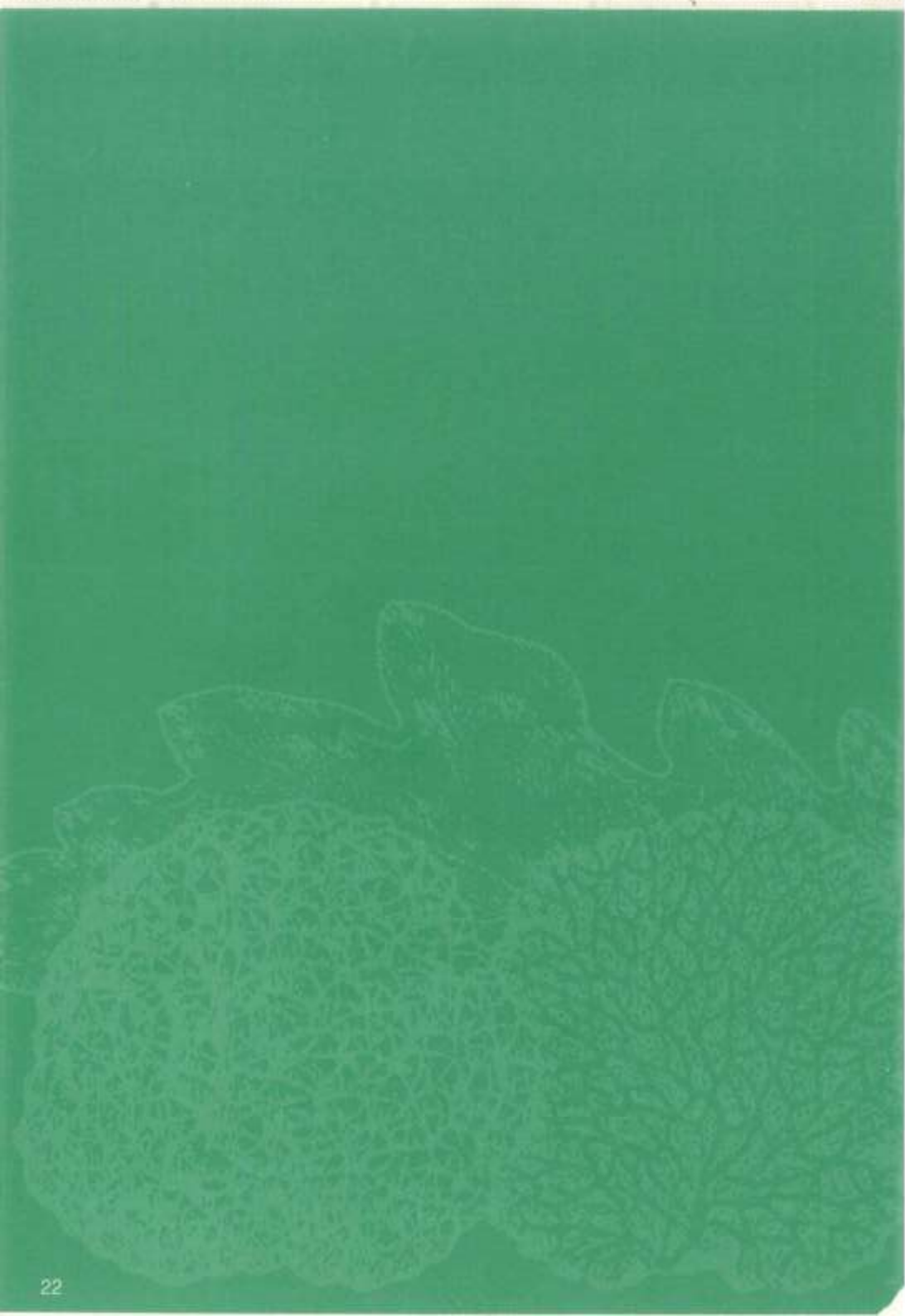


Foto 5: Plantación trufera en producción, Sarrión (Teruel).

variable en función de la zona. En Italia, se obtienen producciones entre 50 kg/ha (Bencivenga y Di Massimo, 2000) y 100 kg/ha (Bencivenga, 2001). En Soria se obtienen producciones de hasta 45 kg/ha de trufa negra en las zonas con riego (Carbajo, 2000). En Francia, se están obteniendo producciones que oscilan entre 15 y 50 kg/ha (Chevalier y Frochot, 1997) con producciones puntuales superiores a los 100 kg/ha, considerando como buenas producciones cuando llegan a 15-20 kg/ha a los diez años (Chevalier, 1998). En Cataluña no se dispone de datos, ya que las plantaciones todavía son jóvenes. Así se calcula que es necesaria una producción mínima de 8 - 10 kg/ha/año para rentabilizar las inversiones realizadas en la instalación y el mantenimiento de una plantación trufera (Olivier, 1997).

Si se combinan las producciones obtenidas con que la trufa negra es un hongo muy apreciado que suele alcanzar precios muy elevados, sobre todo en los mercados franceses e italianos, se obtiene una elevada rentabilidad de las plantaciones de trufa. Este precio puede llegar a superar los 1.000 €/kg en el mercado europeo. Eso hace que el cálculo de rendimiento que se obtiene en las plantaciones de España, Francia e Italia oscile entre los 600 €/ha/año (Deigado y Palazón, 2000) y los 3.000 €/ha/año (Verlhac *et al.*, 1990). Esta elevada rentabilidad favorece el establecimiento de nuevas plantaciones, y el aumento progresivo de la superficie cultivada.





4

Truficultura y ordenación del territorio

La truficultura es una actividad compatible y complementaria con las actividades agrarias tradicionales y no se debe plantear como la única alternativa, sino como una diversificación de la economía rural, favoreciendo un reequilibrio territorial, porque mantener la población en los espacios rurales es una garantía de su preservación. Para alcanzar este objetivo hace falta poner al alcance de la población rural recursos que, siendo respetuosos con el medio ambiente, permitan la obtención de rentas comparables a las urbanas, y el cultivo de la trufa negra puede ser uno de los más eficientes.

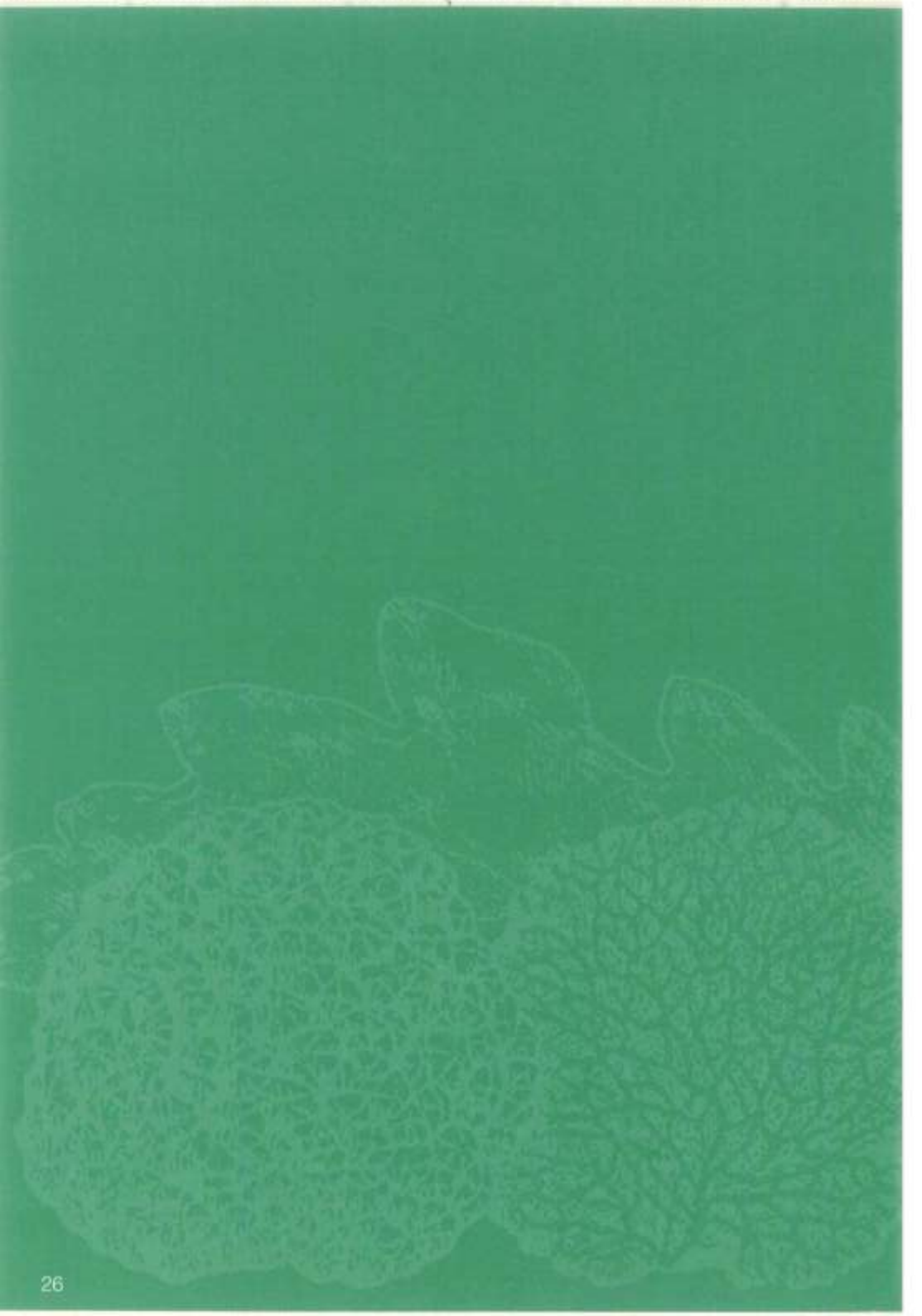
El cultivo de la trufa negra, cada vez adquiere más importancia en las zonas donde las características del suelo y del clima son las adecuadas. De hecho, son muchas las zonas de la Península Ibérica, donde existen actualmente o han existido trufas silvestres, que ofrecen las condiciones óptimas de suelos y clima para establecer el cultivo.

La bibliografía, en lo referente a la ecología y a la identificación de los parámetros más aptos para el correcto desarrollo de la trufa negra, se puede considerar abundante comparándola con los estudios de zonificación o regionalización de áreas aptas para la trufa negra. Se han realizado algunos estudios a pequeña escala sobre la relación de propiedades del suelo y la existencia de *T. melanosporum* (Castrignano *et al.*, 2000), o la regionalización de algunos parámetros del suelo relacionados con la producción de *T. melanosporum* en una plantación experimental (Bragato *et al.*, 2001); estudios más bien destinados a determinar la relación de algunas propiedades del suelo con la producción de la trufa, y no a establecer las zonas más aptas para el cultivo de la trufa negra de una región determinada. La mayoría de estos estudios se han realizado fuera de España, generalmente en Francia e Italia. En la Comunidad Valenciana, se ha realizado un interesante trabajo sobre la caracterización ecológica de masas forestales naturales productoras de *T. melanosporum* de la provincia de Castellón (Dominguez *et al.*, 2001). También hay un estudio sobre las probabilidades de existencia de trufa negra en los bosques de la provincia albaceteña basado en mapas de vegetación (Honrubia *et al.*, 2006), pero en ningún caso una cartografía de las zonas donde la trufa negra se puede convertir en un cultivo rentable.

Gran parte del territorio catalán ofrece a priori las condiciones aptas para el cultivo de la trufa negra y por eso existen mercados de venta de trufas en las cuatro provincias catalanas. Este hecho, añadido al constante retroceso de las trufas silvestres durante los últimos 50 años y al creciente interés experimentado por la truficultura; hacen necesario un modelo de localización de las zonas viables para este cultivo. La localización sobre un mapa de las zonas potencialmente adecuadas para el cultivo de la trufa negra en Cataluña resulta imprescindible para planificar un correcto desarrollo de la truficultura en el ámbito de la Comunidad Autónoma.

Este libro, mediante la identificación y localización de las zonas aptas para el cultivo de trufa negra pretende ser una herramienta que ayude a agricultores, selvicultores y gestores del medio natural a identificar las zonas donde la truficultura es una opción de futuro para favorecer el desarrollo de la Cataluña rural.

Por el contrario, este trabajo no debe ser utilizado para determinar la aptitud para el cultivo de trufa de una parcela concreta, pues ni su escala ni su resolución permiten sustituir los pertinentes análisis de suelo y clima necesarios para garantizar el éxito de la plantación.



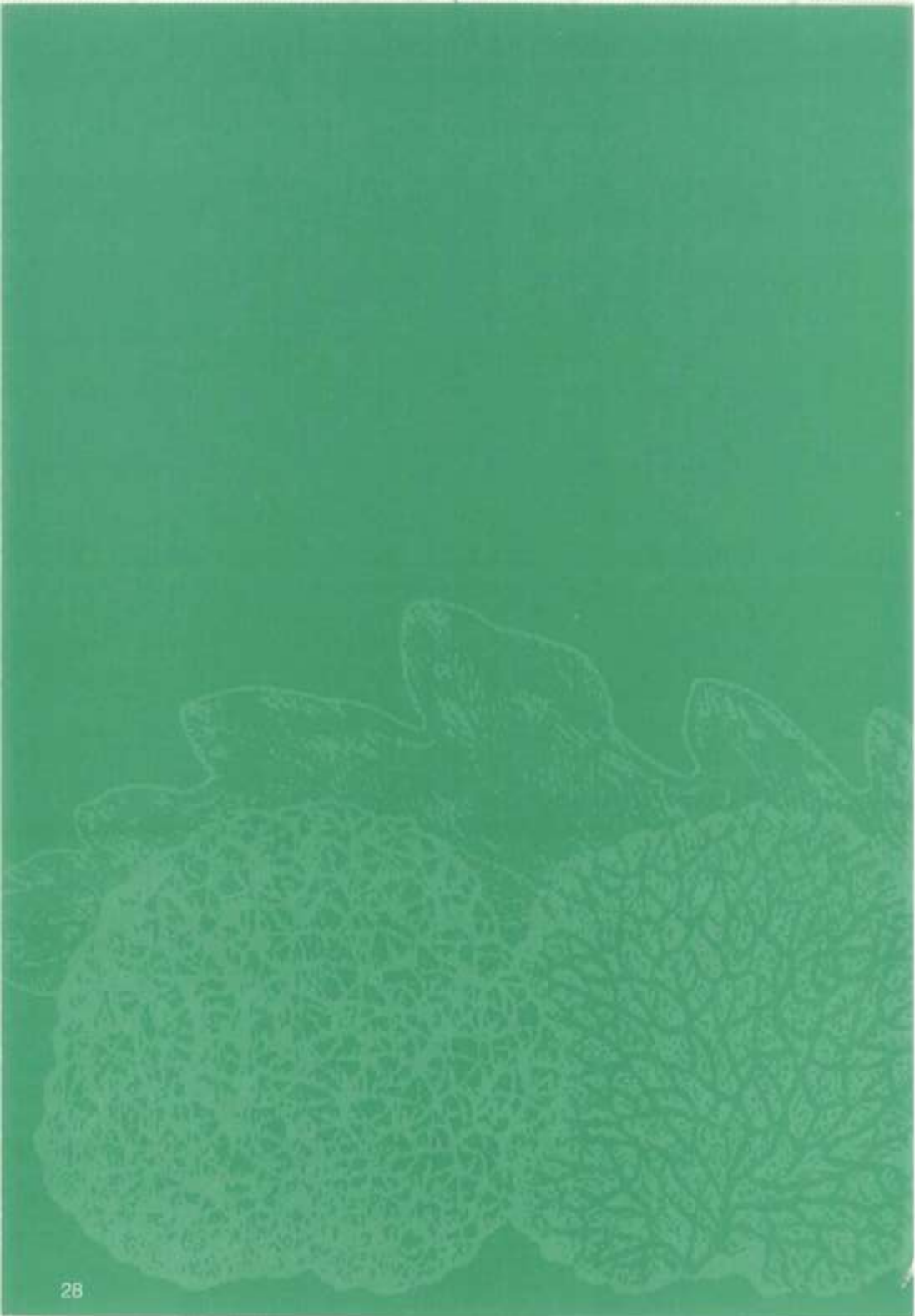
5

Objetivos

El objetivo principal de este estudio es la realización del mapa de aptitud para el cultivo de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.) en Cataluña. La comprobación de los usos del suelo previos más adecuados para el cultivo de la trufa negra de las zonas potencialmente aptas, así como la superficie que ocupan estos usos son objetivos adicionales.

Para alcanzar estos objetivos se han tenido que definir dos objetivos previos:

- Seleccionar los parámetros relevantes y su rango de valores adecuados para el desarrollo de la trufa negra.
- Identificar las zonas de Cataluña donde los valores de los parámetros seleccionados son adecuados por el crecimiento de la trufa.



6

Metodología

La dificultad para identificar y localizar las zonas aptas para el cultivo de la trufa negra supone un obstáculo a la hora de fomentar el establecimiento de nuevas plantaciones. Por este motivo, con la finalidad de alcanzar el objetivo final de identificar las zonas de Cataluña aptas para este cultivo, en el tratamiento de la información se han seguido dos ramas diferenciadas que confluyen en el mapa final. Las dos ramas son: una investigación bibliográfica sobre los diferentes parámetros que definen el hábitat óptimo para la trufa negra y una investigación y tratamiento de la cartografía disponible de los parámetros de aptitud.

6.1 Parámetros que condicionan el desarrollo de la trufa negra

6.1.1 Investigación bibliográfica

Se ha realizado una investigación bibliográfica exhaustiva, para poder determinar los parámetros que resultaban críticos para el desarrollo de la trufa negra, así como los rangos de estos parámetros para establecer las zonas de aptitud para su cultivo. Una vez realizada la investigación bibliográfica se han catalogado los rangos de cada parámetro recomendados por los diferentes autores. Los parámetros se han

dividido en cuatro apartados según su naturaleza (ver apartado 7): parámetros edáficos, parámetros climáticos, parámetros geográficos y parámetros geológicos.

6.1.2 Verificación bibliográfica

Una vez compilados los valores propuestos para estos parámetros se ha procedido a realizar una revisión de las fuentes de los datos presentados en cada una de las referencias utilizadas. En esta verificación se ha establecido un código que identifica el tipo de cita en función de su procedencia:

Tipo 1 Fuente primaria: documento de investigación que presenta datos de observaciones o experimentos propios.

Tipo 2 Fuente secundaria: documento que cita una fuente primaria o un documento que no es una fuente primaria pero cuyas fuentes están basadas en fuentes primarias.

Tipo 3 Otras fuentes: documentos donde no se cita la fuente o donde se cita una fuente que no cita sus fuentes, o tiene errores en la identificación de sus fuentes. En este grupo también se han incluido aquellos documentos que basan sus conclusiones en documentos no publicados, o documentos que recogen los documentos utilizados en listas de bibliografía pero no hacen referencia en el texto a la fuente exacta de los datos en los que se basan cada una de sus afirmaciones, impidiendo su consulta.

A partir de esta codificación se ha realizado un listado de datos donde se especifica la procedencia de cada dato y se establece el rango para cada parámetro, teniendo en cuenta los datos procedentes de fuentes primarias y secundarias, que posteriormente se utilizará para realizar el mapa final de aptitud.

La mayoría de datos disponibles y citados por los diferentes autores hacen referencia a analíticas realizadas en zonas truferas naturales o plantaciones productivas en Francia o Italia. Además, no se dispone de datos de zonas no productoras de trufas, lo que no permite asegurar que, fuera de los rangos propuestos una plantación de *T. melanosporum*, esta no sea productiva.

6.1.3 Rangos de aptitud

Para establecer el rango de aptitud de cada parámetro para el cultivo de la trufa negra se ha tenido en cuenta el rango más amplio mencionado por las citas primarias y secundarias. Es decir, aquellas basadas en datos experimentales u observacionales.

6.1.4 Priorización de los parámetros

Una vez definidos los rangos de aptitud se ha procedido a la priorización de los parámetros a considerar en la realización del mapa de aptitud. Esta priorización se ha realizado basándose en la amplitud de los rangos observados y con la opinión generalizada de los expertos en este campo. No ha sido posible establecer un criterio más objetivo debido al hecho de que la literatura no recoge estudios de discriminación donde se ponga de manifiesto los parámetros que no definen el hábitat de la trufa negra ni los rangos que los acotan. Los estudios disponibles son generalmente observacionales y describen los valores de ciertos parámetros en las zonas donde crece *T. melanosporum* pero no se conoce si estos valores difieren mucho de las zonas donde no crece porque no hay datos disponibles. Así mismo, tampoco se conoce si la razón de que no haya trufa negra en las zonas donde no crece es debido a que el hábitat no sea el apropiado, que no haya llegado ningún propágulo, o que no haya los huéspedes adecuados.

6.2 Obtención y análisis de datos y cartografía medioambiental

La base de esta parte ha sido la recopilación y el análisis de la cartografía necesaria de los parámetros anteriormente determinados como prioritarios. Se ha considerado como prioritaria la cartografía existente en formato digital. La cartografía disponible la podemos dividir en cuatro apartados: cartografía climática, cartografía geográfica, cartografía edáfica y cartografía geológica.

6.2.1 Tratamiento de la información

El tratamiento de toda la información espacial relativa a este trabajo se ha efectuado mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y gestores de bases de datos. Los sistemas de información geográfica utilizados han sido ArcInfo, ArcView, ArcMap y ArcGIS 8.3 (© ESRI - Environmental Systems Research

Institute, Inc., Redlands, EE.UU.) y Miramón @ v.4.1ak (© Xavier Pons, Bellaterra, Barcelona). Miramón se ha utilizado para consultar y descargar los mapas climáticos disponibles en el Atlas Climático Digital de Cataluña (Ninyerola *et al.*, 2004), y para exportarlos al formato de ESRI. ArcInfo, ArcView y ArcMap se han utilizado para el tratamiento de las coberturas resultantes, para georeferenciar las muestras de suelos disponibles y para extrapolar los mapas edafológicos a partir de las muestras de suelos ya georeferenciadas. Para digitalizar otras coberturas se ha utilizado CartaLynx (© Clark Labs., Worcester, EE.UU.). Todos los mapas de aptitud se han realizado mediante ArcMap. Los programas gestores de la base de datos, asociada a la capa de puntos correspondientes a las muestras georeferenciadas, han sido Microsoft Excel y Microsoft Access 2000 (© Microsoft Corporation, Redmond, EE.UU.), junto con el programa ArcMap.

6.2.2 Cartografía edáfica

Este apartado ha sido el más problemático por la dificultad de encontrar cartografía edáfica. En este caso tenemos dos procedencias diferentes de cartografía: el mapa de suelos a escala 1:2.000.000 del Instituto Tecnológico Geominero de España y el mapa realizado por la Sección de Evaluación de Recursos y Nuevas Tecnologías del Departamento de Agricultura, Alimentación y Acción Rural (DAR), donde existen unas 296.296 ha cartografiadas a escala 1:25.000 (de las cuales 12.839 están editadas) y 14.006 ha a escala 1:50.000; la mayor parte de la plana regable de Lleida, área poco interesante con respecto al cultivo de la trufa negra.

6.2.2.1 Obtención de datos

La falta de cartografía comportó una búsqueda de datos de suelos de toda Cataluña. Una parte de los datos fueron cedidos por el DARP, y el resto de datos se obtuvieron después de una exhaustiva investigación bibliográfica de proyectos, trabajos, tesis y publicaciones, de las cuales se pudiera extraer datos georeferenciados referentes a los suelos de Cataluña. Los documentos utilizados son los siguientes: Aran *et al.* (1984), Aran (1987), Avellà (1998), Babot (1987), Badia y Martí (1991), Bech y Vallejo (1984), Bech *et al.* (1988a), Bech *et al.* (1988b), Bianco (1995), Boixadera (1979), Boixadera (1983), Boixadera *et al.* (1999), Boixadera *et al.* (2002), Canellas (2003), Carrillo (1998), Castro (1996a), Castro (1996b), CREAM (1997a), CREAM (1997b), Danés (1984), DARP (1990a), DARP (1990b), DARP (1991), DARP (1992a), DARP (1992b), DARP (1993a), DARP (1993b), DARP (1994a), DARP (1994b), DARP (1995), DARP (1996), DARP (1998a), DARP (1998b), DARP (1998c), DARP (1998d), DARP (1998e), DARP (1999), DARP (2000), DARP (2001), Domínguez *et al.* (2001), Forn (1987), Güell (1999), LAF (1999a), LAF (1999b), LAF (2003), Laporta (2004), López (2000), Magrí (1996), Martí (1992),

Martínez (1998), Matallana (1986), Matallana (1987), Moisés (2004), Montilla (1991), Mujeriego y Carbó (1994), Palou y Ribot (1995), Porta y Julià (1983), Riu (2000), Rodríguez (2003), Sirat (1998), Sempere (2000), Teira (1990), Torra (2001), Vidal (1998), Vilà (1995) y Viladrich (1999). También a partir de las analíticas realizadas por la Asociación Life de Productores de Setas y Trufas (ALPBT), y de las analíticas obtenidas del muestreo de las zonas menos representadas (Osona, Bages, Anoia, Noguera y Pallars Jussà).

6.2.2.2 Gestión de datos de suelos

Una vez realizada la búsqueda de datos se ha conseguido un total de 2.045 puntos, repartidos por toda Cataluña con diferentes datos edáficos referentes a la aptitud del cultivo de la trufa negra (Figura 6.1). Todos estos datos se han digitalizado con el fin de poder tratarlos y, posteriormente, confeccionar un mapa de puntos donde cada uno tenga un valor determinado de cada parámetro, clasificado anteriormente como prioritario. Hay que remarcar que no todas las muestras presentan la misma información y por lo tanto, la base de datos presentará registros incompletos.

Con el fin de conseguir que a cada punto se le asigne un valor para cada parámetro, los diferentes perfiles se han normalizado a un horizonte virtual de 40 cm (Francaviglia *et al.*, 2001), donde cada horizonte de los diferentes perfiles coge el peso proporcional al peso que tome respecto de la profundidad del horizonte virtual que se ha construido.

En la obtención de muestras puntuales existe un consenso que considera una muestra superficial de 0 - 25 cm bastante representativa de las características del suelo, cuando menos a efectos de manejo de nutrición de plantas (LAF, 2003). En el caso de la trufa negra se ha considerado más oportuno tomar como representativa la profundidad de 40 cm, que corresponde a la profundidad donde se encuentran el 99,7% de los ápices micorrizados con *T. melanosporum* en encinas de 4 años (Olivera-Ruestes *et al.*, en prep. a).

En la mayoría de los puntos se disponía de las coordenadas exactas, mientras que en el resto se pudieron localizar de manera aproximada dado que en los análisis constaba el nombre de la finca. Así tenemos un análisis de suelo para cada 15,7 km², aunque hay que tener en cuenta que hay zonas mejor representadas que otras (Figura 6.1).

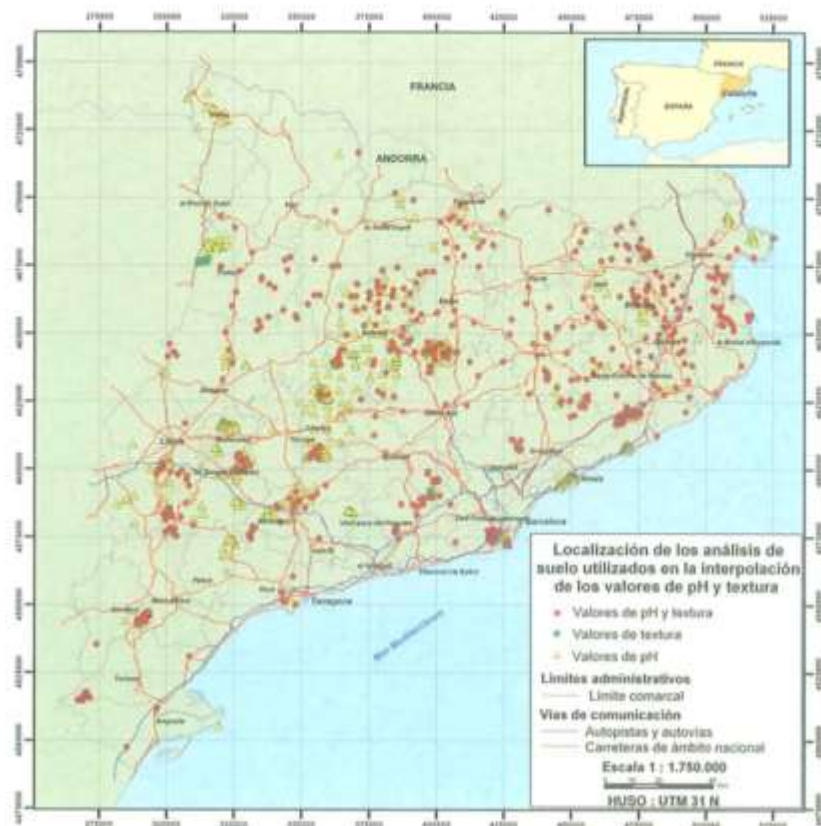


Figura 6.1: Localización geográfica de los análisis de suelos utilizados para la zonificación de aptitud para el cultivo de la trufa negra.

6.2.2.3 Interpolación de los datos de suelos

Para la interpolación de los datos hemos seleccionado el modelo "kriging" debido a su eficiencia en la interpolación de superficies (Herrero-Julià *et al.* 2002) y a su capacidad de evitar la formación de cúmulos (Hu, 1995). Hemos utilizado el "kriging" exponencial ya que ha resultado con un error menor en las zonas más representadas.

Los modelos digitales obtenidos para cada parámetro presentan unas celdas de 180 x 180 m, al igual que el Atlas Climático Digital de Cataluña.

El pH es un parámetro que presenta un error menor, por el hecho de que se ha interpolado a partir de un mayor número de muestras; mientras que la textura pre-

senta un error considerablemente más elevado porque se disponía de menor número de muestras con esta información y por una mayor variabilidad en el valor del parámetro entre muestras relativamente próximas. Pero dado que se trata de una aproximación que intenta representar una tendencia general de la variabilidad de los parámetros en una escala regional, y que no existe ninguna otra alternativa para considerar este parámetro, la textura también será tenida en cuenta en el análisis final para obtener el mapa potencial de aptitud para el cultivo de la trufa negra (*T. melanosporum*) en Cataluña.

El mapa de suelos a escala 1:2.000.000 (Arévalo, 1991) no ha resultado útil para este trabajo por su reducida escala, pero nos ha permitido comprobar la coincidencia general de la zonificación realizada con nuestros datos de suelos, con la realizada a partir de los tipos de suelos generalmente considerados como aptos.

6.2.3 Cartografía climática

El clima resulta una variable muy diversa en el territorio catalán, con variaciones considerables en, relativamente, poca distancia. Por eso, seguramente también es una de las variables más estudiadas y de la cual hay disponible una extensa cartografía en el Atlas Climático Digital de Cataluña (Ninyerola *et al.*, 2004).

En la elaboración del Atlas Climático Digital de Cataluña se utilizó un modelo de regresión múltiple combinado con el inverso de la distancia al cuadrado (IDW) y el modelo "kriging" como interpoladores principales. Los datos de las estaciones meteorológicas utilizadas en la interpolación del Atlas Climático fueron adquiridos en el Instituto Nacional de Meteorología (INM) con dos series climáticas, de 1951 a 1991 y de 1991 a 1999 (Ninyerola, 2000).

A partir de la cartografía climática, teniendo en cuenta los rangos de aptitud establecidos para los parámetros climáticos considerados, y tratándola con la extensión Spatial Analyst del programa ArcMap, hemos obtenido el mapa de aptitud climática de la trufa negra.

6.2.4 Cartografía geográfica

La base de esta cartografía es el mapa topográfico de Cataluña y el Modelo Digital del Terreno (MDT) que es la representación cuantitativa en formato digital de la superficie terrestre. Contiene información en torno a la posición (x, y) y la altitud (z) de los elementos de la superficie. Con el MDT, obtenido a partir de restitución fotogramétrica, y junto con los rangos de aptitud, se pueden configurar las zonas aptas geográficamente para el cultivo de la trufa negra en Cataluña.

6.2.5 Cartografía geológica

La cartografía geológica existente es el mapa geológico de Cataluña 1:250.000 en soporte papel y en formato de imagen digitalizada, y el mapa geológico incompleto a escala 1:50.000. Al no disponer del mapa geológico 1:250.000 en formato digitalizable, y tampoco de la cartografía completa a escala 1:50.000 (queda sin cartografiar el norte de la provincia de Lleida y algunas zonas de la provincia de Gerona), esta cartografía no se ha podido considerar en la realización del mapa de aptitud para el cultivo de la trufa negra. Además, muchas de las características del mapa geológico pueden resultar redundantes con los diferentes parámetros edáficos que ya se han considerado anteriormente.

6.2.6 Análisis

En la obtención del mapa final de aptitud se ha utilizado la extensión Spatial Analyst de ArcMap, tratando las zonas aptas obtenidas desde el punto de vista climático y edáfico. Aquí también se ha considerado la clasificación de los usos del suelo en Cataluña del año 2002 en formato ráster (Departamento de Medio Ambiente y Vivienda, Generalitat de Catalunya, 2002) para observar los diferentes usos de las zonas aptas para el cultivo de la trufa y poder realizar una aproximación sobre cuáles serían las zonas en un principio más adecuadas para poder realizar este cultivo.



7

Definición de los parámetros de las zonas apropiadas para el cultivo de la trufa negra

7.1 Valor de los parámetros

7.1.1 Parámetros edáficos

El suelo es el medio que permite el crecimiento vegetal mediante el almacenaje de agua y nutrientes, que son captados por las plantas mediante los hongos simbióticos. El suelo se encuentra situado entre la atmósfera y la litosfera, factores que determinan sus propiedades. También interviene como factor importante la biósfera, factor que determina la entrada de materia orgánica y su composición. Los parámetros edáficos tienen un papel relevante, ya que no todos los suelos tienen las mismas características y, por lo tanto, no todos serán aptos para realizar un cultivo de trufas.

7.1.1.1 La acidez o alcalinidad

La acidez o alcalinidad de un suelo, representada por el pH, es uno de los parámetros que más condicionan la producción de trufas a causa de su necesidad de pH alcalinos. El pH indica la medida de la acidez o basicidad de un suelo. En una escala de 0 a 14 los suelos pueden alcanzar valores extremos de 3 y 10, si bien normalmente se sitúan entre 5,5 y 8,5. En Cataluña, los suelos generalmente tienen un pH entre 4,4 y 8,4, con valores medios del orden de 6,0 para los ácidos y de 7,8 para los básicos; en suelos calcáreos el pH es del orden de 8 a 8,5. Sin embargo, en ciertas zonas de Les Garrigues y del sur de Tarragona el pH supera ligeramente el valor de 8,5, situándose en torno al 8,6 y 8,7 y, en algunas zonas, incluso se superan estos valores, debido a concentraciones elevadas de sales en el suelo (Porta *et al.*, 1985).

Este parámetro es uno de los más estrictos para la producción de trufas, ya que la trufa vive en suelos con pH alcalino (Olivier *et al.*, 1996). Para cultivar la trufa en suelos ácidos, serían necesarias aportaciones para hacer aumentar el pH. Garland (1995) comenta el ajuste del pH de trufas en Carolina del Norte (EE.UU.), donde con un pH inicial de 5,5 se llega a ajustar hasta 7,0 y 10 años después se llega a corregir hasta 8,0.

En los datos referentes a la exigencia de las trufas respecto del pH del suelo, la mayoría de autores coinciden al situar los límites inferior y superior entre 7,5 y 8,5 respectivamente, con un óptimo alrededor de 8 (Tabla 7.1). Ragione *et al.* (1992) después de realizar un análisis discriminante llega a la conclusión que el valor de 7,6 parece que podría ser el valor de pH mínimo para el desarrollo de *Tuber melanosporum*. No obstante, Bencivenga *et al.* (1990) observaron producción de trufa negra a pH de 7,1.

Tabla 7.1: Valores de pH.

PH					
Mínimo	Máximo	Óptimo/valor medio	Autor	Tipo de cita	Procedencia de la cita
7,8	8,35		Delmas <i>et al.</i> (1981a)	1 ¹	
7,5	8		Delmas <i>et al.</i> (1981b)	1	
7,5	8		Delmas <i>et al.</i> (1982)	1	
7,3	8,5	>7,9	Poitou <i>et al.</i> (1983)	1 ²	
7,9	8,2		Bencivenga (1986)	1 ³	
7,1	8,3		Bencivenga y Granetti (1988)	1 ⁴	
7,05	8,25	8,00	Bencivenga <i>et al.</i> (1990)	1 ⁵	
7,6	8,4	7,9	Raglione <i>et al.</i> (1992)	1	
7,77	8,85		Sáez y de Miguel (1995)	1	
7,5	8		Shaw <i>et al.</i> (1996)	1	
7,84	8,4	8	Sourzat (1997)	1 ^{6,7}	
7,1	8,17		García-Montero <i>et al.</i> (2001)	1	
7,5	8,4		Raglione <i>et al.</i> (2001)	1	
	8,5	7,9 – 8	Poitou (1990)	2	Poitou <i>et al.</i> (1983)
		7,8	Reyna (1992)	2 ⁸	Sánchez y Rubio (1985)
		7,5-8	Delmas (1983)	3	
7,9			Poitou (1987)	3	
	8,5	7,9 – 8	Poitou (1988)	3	
>7,9			Chevalier y Poitou (1990)	3	
7,2	8,5		Fortuny y Estrada (1986)	3	

PH					
Mínimo	Máximo	Óptimo/valor medio	Autor	Tipo de cita	Procedencia de la cita
7,2	8,5		Estrada (1987)	3	
7,5		7,9	Hall y Brown (1989)	3 ⁹	
7	8,5		Estrada y Alcántara (1990)	3	
		≥8	Montant y Kulifaj (1990)	3	
7,5	8,5		Verihac <i>et al.</i> (1990)	3	
		7,5 - 8	López (1990)	3	
		7,9 - 8,3	Estrada (1991)	3	
7,5	8,5	7,9 - 8	Sáez (1991)	3	
6,2	7,8		Pacioni (1992)	3	
7,5	8,5	8	López y Torres (1993)	3	
		7,9 - 8,1	Garland (1995)	3	
7,5	8,5		Bardet (1995)	3 ¹⁰	
7,7	8,3		Olivier <i>et al.</i> (1996)	3 ¹⁰	
7,5	8,5	8	Garland (1996)	3 ¹¹	
7,5	8,5		Callot (1999)	3	
7,5	8,5	8	Palazón <i>et al.</i> (2000a)	3	
7,5	8,5	8	Palazón <i>et al.</i> (2000b)	3	
7,5	8,5	8	Reyna (2000)	3 ¹²	
7,7	8,5		Sourzat (2000)	3 ^{10, 13}	
7,7	8,3		Sourzat (2001)	3 ¹³	
		7,5 - 8	RiOUSset <i>et al.</i> (2001)	3	
7,7	8,3		Sourzat (2002)	3 ¹⁴	
7,6		8	García (2003)	3	
7,5	8,4		Ricard (2003)	3 ^{10, 15}	
7,5		7,9	Hall y Yun (2003)	3	
7,7	8,3		Coves (2003)	3	

- 1: El muestreo realizado cubre casi la totalidad de regiones truferas francesas: el Sureste (Dauphiné, Provence, Rousillon), el Sur (Tarn y Aveyron), el Suroeste (Quercy, Périgord, Charentes) y el Oeste (Poitou).
- 2: Los resultados se obtienen a partir del crecimiento *in vitro* de micelio de *T. melanosporum* en función del pH del medio.
- 3: Estudio de la zona italiana del Alto Valle del Liri (Italia). El rango establecido se obtiene de doca truferas.
- 4: Rango establecido a partir de 145 truferas de las regiones de Abruzzo, Emilia, Lazio, Marche y Umbria de Italia.
- 5: Rango establecido a partir de 133 (el estudio es de 144) truferas de las regiones de Abruzzo, Lazio y Umbria en la Italia central. Comenta que es el parámetro estudiado más uniforme presentando un valor medio de 8,00 y anota que la mayor parte de valores están próximos a 8 y que el valor mínimo de 7,05 es una rara excepción y se trata de una trufera de un castaño.
- 6: Rango establecido a partir de 12 truferas de Francia.
- 7: Datos de suelos truferos del Departamento de Lot en Francia, con un pH alrededor de 8.
- 8: Valor medio de acuerdo con la cartografía de suelos de Morella realizada por el CSIC y la Facultad de Farmacia de Valencia (Sánchez, J. y Rubió, J.L. 1985 en Reyna, 1992).
- 9: Referencia al trabajo de J. Delmas en el Institut National de la Recherche Agronomique de France (INRA).
- 10: Según el INRA de Burdeos (datos no publicados).
- 11: Cita los datos haciendo referencia a los suelos productores de trufa en Europa.
- 12: También da el valor medio para truferas de la Comunidad Valenciana, un pH de 7,88.
- 13: En este estudio hace una síntesis de resultados obtenidos durante varios años y publicados en Sourzat (1997) y presenta datos propios resaltando valores que están fuera de los rangos recomendados. Presenta datos propios de pH en condiciones muy excepcionales en suelos truferos (7 y 7,45), afirmando que estos tipos de suelos no se tienen que recomendar en truficultura. Presenta también datos propios con pH dentro del rango recomendado.
- 14: Cita a Sourzat (2001).
- 15: Datos físico-químicos de los suelos de *Tuber melanosporum* Vitt. en Italia, que a pesar de no especificarlo de una manera clara, coinciden con los de Raglione et al. (2001).

Para establecer el rango de aptitud del pH, se han tenido en cuenta los datos primarios y secundarios (tipo de cita 1, 2), abarcando toda la amplitud que se refleja en estas citas. Siguiendo este criterio, se puede establecer un rango de pH entre el 7,1 y el 8,85, con un óptimo de 7,9 a 8 (Tabla 7.1).

7.1.1.2 El Calcio

La presencia de carbonato cálcico es un requerimiento importante para la presencia de la trufa negra, por lo que, en un principio, Cataluña ofrece un área potencial considerable para su desarrollo por el hecho de poseer una zona calcárea extensa. La presencia de calcio resultante de la descomposición química de las rocas calcáreas determina en gran parte el hábitat de la trufa.

El calcio desarrolla un papel importante en el suelo. Favorece la formación de agregados, permitiendo así una buena circulación del aire y el agua por la porosidad creada. Esta elevada porosidad favorece de forma considerable el desarrollo del micelio del hongo y de las raíces del árbol. Además, el ión Ca^{2+} resulta favorable para el crecimiento del micelio de la trufa, que lo prefiere frente a otros cationes como: potasio K^+ , magnesio Mg^{2+} o el sodio Na^{2+} (Poitou, 1987).

Se diferencia entre calcio total, calcio activo y calcio intercambiable. En la medida del calcio total se determina la riqueza de este mineral en el suelo. En la medida del calcio activo (obtenido por el método Drouineau (Olivier *et al.*, 1996) utilizando oxalato de amonio) se determina la riqueza de calcio únicamente de la fracción fina de la tierra, limos y arcillas (Ricard, 2003), y a pesar de ser un parámetro muy interesante para otros cultivos, en el caso de la truficultura se prefiere el calcio intercambiable (Sourzat, 2001); ya que éste, expresado en CaO intercambiable, determina la riqueza de calcio en la forma de cationes Ca^{2+} en la solución del suelo, un valor muy interesante para la truficultura (Olivier *et al.*, 1996).

A pesar de que el calcio total representa un parámetro de gran relevancia, las citas de los diferentes autores resultan bastante irregulares, habiendo autores que mencionan valores inapreciables o hasta el 90% de calcio total. Sin embargo, todos los autores citan la importancia que este catión toma en el desarrollo de la trufa. Con respecto al calcio intercambiable (% CaO), obtenido por extracción con NH_4OA_c (Tan, 1996), los diferentes autores coinciden más y sitúan los valores recomendados para la trufa negra entre el 0,169% y el 1,35% (Tabla 7.2).

Tabla 7.2: Valores de calcio total y calcio intercambiable.

Calcio total (%)		Calcio Intercambiable (%)		Autor	Tipo de cita
Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
5	50			Delmas y Durand (1971)	1 ¹
Trazas	90			Delmas (1973)	1
38,75	>80	0,169	0,19	Montacchini <i>et al.</i> (1977)	1
trazas	73,8	0,475	1,35	Delmas <i>et al.</i> (1981a)	1 ²
1,06	47,47			Bencivenga (1986)	1 ³
0,0	83,7			Bencivenga y Granetti (1988)	1 ⁴
trazas	83,69			Bencivenga <i>et al.</i> (1990)	1 ⁵
4,1	75,8			Raglione <i>et al.</i> (1992)	1
1	70			Sourzat (1997)	1 ⁶
2,44	78			Sáez y De Miguel (1995)	1
0,95	34,8			Reyna (2000)	1
1	76			Raglione <i>et al.</i> (2001)	1
1,57	14,56			García-Montero <i>et al.</i> (2001)	1
1	75	0,5-0,6		Poitou (1988)	3
1	75	0,5-0,6		Chevalier y Poitou (1990)	3
1	75			Poitou (1990)	3
8				Verlhac <i>et al.</i> (1990)	3
		0,5		Sáez (1991)	3
4	40			Manozzi (1991)	3 ⁷
34	80			Pacioni (1992)	3
10		0,5		Bardet (1995)	3 ⁸
8				Garland (1996)	3 ⁹

Calcio total (%)		Calcio intercambiable (%)		Autor	Tipo de cita
Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
1	70	0,4	1,6	Olivier <i>et al.</i> (1996)	3 ⁸
		0,4	1,6	Palazón <i>et al.</i> (2000a)	3
		0,4	1,6	Palazón <i>et al.</i> (2000b)	3 ¹⁰
1	70	0,4	1,6	Sourzat <i>et al.</i> (2000)	3 ^{5, 11}
1	70	0,4	1,6	Sourzat (2001)	3 ^{6, 11}
1	70	0,4	1,6	Sourzat (2002)	3 ¹²
1	70	0,4	1,6	Coves (2003)	3
1	76			Ricard (2003)	3 ¹³

1: Presenta datos de las regiones francesas productoras de trufa negra del suroeste (73 muestras) y del sureste (113 muestras).

2: El muestreo realizado cubre la casi totalidad de regiones truferas francesas: el Sureste (Dauphiné, Provence, Roussillon), el Sur (Tarn y Aveyron), el Suroeste (Quercy, Périgord, Charentes) y el Oeste (Poitou).

3: Estudio de la zona italiana del Alto Valle del Liri que compara los resultados obtenidos con la zona de Norcino (Italia). El rango establecido se obtiene de doce trufas del Alto Valle del Liri.

4: Rango establecido a partir de 145 trufas de las regiones de Abruzzo, Emilia, Lazio, Marche y Umbria de Italia.

5: Rango establecido a partir de 133 (el estudio es de 144) trufas de las regiones de Abruzzo, Lazio y Umbria en la Italia central. Comenta que el calcio activo es variable y 1/3 del calcio total.

6: Referencia los suelos del Departamento francés de Lot. Presenta datos propios comprendidos dentro del rango recomendado.

7: Datos referentes a la zona italiana de Norcia.

8: Según el INRA de Burdeos (datos no publicados).

9: Referencia a los suelos productores de trufa negra de Europa.

10: Cita a Olivier *et al.* (1996).

11: Presenta datos propios confirmando el rango recomendado basándose en la bibliografía consultada.

12: Cita a Sourzat (2001).

13: Datos físico-químicos de los suelos de *Tuber melanosporum* Vitt. en Italia, que a pesar de no especificarlo de una manera clara, coinciden con los de Raglione *et al.* (2001).

Con los datos de la tabla 7.2, y siguiendo el criterio amplio de tener en cuenta las citas primarias y secundarias, se establece un rango de calcio total entre trazas y 90%, siendo este un rango muy amplio. Reyna (2000), en la Comunidad Valenciana obtiene un rango de calcio total entre el 0,95% y el 34%, un rango mucho más reducido, pero hay que tener en cuenta que estos resultados se obtienen en una pequeña área de truferas y, por lo tanto, no excluye que en un estudio más amplio sea posible encontrar contenidos de calcio total más elevados. Así, Sáez y De Miguel (1995) establecen un rango entre 2,44% y 78% de calcio total en las áreas aptas para la truficultura en Navarra. El rango de calcio intercambiable (CaO) varía entre 0,169% y 1,35% (Tabla 7.2).

7.1.1.3 La profundidad del suelo

La profundidad del suelo es un parámetro realmente importante en el desarrollo de muchas especies vegetales, ya que de ésta depende la capacidad para retener agua y ponerla a su disposición y, por lo tanto, es importante también para la trufa. Dentro del área de distribución de la trufa son preferibles los suelos profundos a los suelos esqueléticos (Reyna, 2000), aunque algunos autores apuntan que no son necesarios suelos muy profundos; ya que existen truferas naturales en suelos de tan solo 5-10 cm, y sólo es un factor limitante por cuestiones de mecanización (Fortuny y Estrada, 1986; Martínez y Grígelmo, 1992; Sáez y De Miguel, 1995). Aun así, la mayoría de autores sitúan como óptima para un buen desarrollo de la trufa una profundidad de 10-40 cm (Tabla 7.3). Sin embargo la mayor parte de estas recomendaciones no están basadas en datos experimentales.

Tabla 7.3: Valores máximos y mínimos de profundidad del suelo.

Profundidad (cm)			
Mínima	Máxima	Autor	Tipo de cita
10	30	Grente <i>et al.</i> (1974)	1
15	40	Sourzat (1997)	1 ¹
10	40	Delmas (1983)	3
10	30	Verlhac <i>et al.</i> (1990)	3
10	40	Pacioni (1992)	3
10	40	Sáez y de Miguel (1995)	3
10	40	Garland (1996)	3 ²

1: Referencia los suelos del Departamento francés de Lot.

2: Profundidad referida a los suelos productores de trufa de Europa.

La mayoría de suelos agrarios ya tienen cierta profundidad y por este motivo es necesario suponer que la profundidad no será limitante, y por lo tanto no se ha considerado en la elaboración del mapa de aptitud.

7.1.1.4 La textura

Las partículas del suelo individualizadas se distribuyen en diversas fracciones según su tamaño. La textura se obtiene del estudio granulométrico de las partículas. Resulta interesante conocer la granulometría porque es una de las características más estables de un suelo, y permite conocer otras propiedades directamente relacionadas con el uso y comportamiento de un suelo (Duchaufour, 1987). Las diferentes fracciones granulométricas según las dos clasificaciones más utilizadas son:

Clasificación de la Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo (SSS en sus siglas en inglés)

- arena gruesa (ISSS) 200 – 2000 μm
- arena fina (ISSS) 20 – 200 μm
- limo (ISSS) 2 – 20 μm
- arcilla <2 μm

(Fuente: Buckman *et al.*, 1991)

Clasificación de la Taxonomía Edáfica del Dep. de Agricultura de los EE.UU. (USDA en sus siglas en inglés)

- arena gruesa (USDA) 500 – 2000 μm
- arena fina (USDA) 50 – 500 μm
- limo (USDA) 2 – 50 μm
- arcilla <2 μm

(Fuente: Duchaufour, 1987)

La mayoría de autores coinciden en que la textura de los suelos (según la Taxonomía Edáfica del USDA) recomendada para las explotaciones truferas tiene que ser una textura equilibrada de tipo franco, descartando los suelos muy arcillosos por su elevada compactación y los suelos excesivamente arenosos por su poca capacidad de retención de agua (Fortuny y Estrada, 1986; Sáez y De Miguel, 1995; Olivier *et al.*, 1996; Reyna, 2000). Por lo tanto, hay que excluir los suelos con texturas extremas (arenosa, limosa, arcillosa) (Delmas y Poitou, 1974). Teniendo en cuenta que las arcillas tienen un peso más elevado, hay que evitar porcentajes superiores al 40 - 50 % en arcillas (Estrada y Alcántara, 1990; Verlhac *et al.*, 1990; Manozzi, 1991; Garland, 1996). Si bien Olivier *et al.* (1996) y Sourzat (2001) también afirman que no son aconsejables suelos con un porcentaje de arcillas superior al 40%, comentan que un contenido elevado de arcilla puede ser compensado por la actividad biológica, hecho reflejado en la relación C/N de la materia orgáni-

ca. Una pedregosidad elevada también puede compensar contenidos elevados de arcillas (37-42%) de determinados suelos truferos (Tabla 7.4 y Figura 7.1).

Hay que tener presente que el concepto de arcilla puede resultar ambiguo según el análisis del suelo, ya que en realidad se miden las partículas de un tamaño inferior o igual a 2 μm . Entre estas partículas existen silicatos de aluminio hidratados y muchos elementos que corresponden, generalmente, al calcio (carbonato de calcio). Así que una descarbonatación de los elementos finos podría llegar a confundirse con el concepto de arcilla (Sourzat, 2001).

Tabla 7.4: Texturas recomendadas por diferentes autores.

Textura		
Apropiada	Autor	Tipo de cita
Desestimar los suelos demasiado pesados o ligeros o mal equilibrados respecto al contexto pedoclimático de la zona	Delmas y Durand (1971)	1 ¹
Desestimar las texturas demasiado arcillosas, demasiado limosas o excesivamente arenosas	Delmas (1973)	1
Desestimar los extremos: suelos excesivamente arcillosos, limosos y arenosos, también los francoarcillosos y los extremos de la francoarenosa	Delmas y Poitou (1974)	1
Desestimar los extremos: suelos excesivamente arcillosos, limosos y arenosos, también los francoarcillosos y los extremos de la francoarenosa	Grente y Delmas (1974)	1
12-93% de arena; 6,5-65% de limo; 5-54% de arcilla	Grente <i>et al.</i> (1974)	1
37,3-41,9% de arena; 19,2-21,3% de limo; 37,9-42,6% de arcilla	Montacchini <i>et al.</i> (1977)	1 ²
4,3-63,2% de arena fina; 0,5-70,0% de arena gruesa; 3,5-53,3% de limo fino; 2,6-36,2% de limo grueso; 7,2-45,8 % de arcilla	Delmas <i>et al.</i> (1981a)	1 ³
Equilibrada. Excluye los suelos fuertemente desequilibrados, especialmente los arcillosos y limosos	Delmas <i>et al.</i> (1981b)	1
7-42% de arena; 47-79% de limo; 6-16% de arcilla	Bencivenga (1986)	1 ⁴

Tabla 7.4: Texturas recomendadas por diferentes autores (continuación)

Textura		
Apropiada	Autor	Tipo de cita
0,9-79,1% de arena; 8,0-79,3% de limo; 6,0-68,5 % de arcilla	Bencivenga y Granetti (1988)	1 ⁵
0,9-79,1% de arena; 8,0-79,3% de limo; 6,0-68,5 % de arcilla	Bencivenga <i>et al.</i> (1990)	1 ⁶
10,7-62,3% de arena; 25,4-83,3% de limo; 1,2-46,2 % de arcilla	Raglione <i>et al.</i> (1992)	1
Equilibrada ⁷	Sourzat (1997)	1 ⁸
Franca, francoarcilloarenosa y francoarenosa	Reyna (2000)	1 ⁹
<46,2 % de arcilla	Raglione <i>et al.</i> (2001)	1
12-93% de arena; 6,5-65% de limo; 5-54% de arcilla	Delmas (1983)	3
Desestimar texturas arcillosas pesadas, arenosas finas y muy limosas	Poitou (1990)	3
Equilibrada	Fortuny y Estrada (1986)	3
Equilibrada, desestimar suelos muy arenosos o con mal drenaje	Estrada (1987)	3
Francoarcillosa, arcillolimsa, arenofranca	Poitou (1987)	3 ¹⁰
Francoarcillosa, arcillolimsa, arenofranca o franca	Poitou (1988)	3 ¹⁰
Equilibrada, tipo franca. Arcillas <50%	Estrada y Alcántara (1990)	3
Francoarcillosa, arcillolimsa, arenofranca	Chevalier y Poitou (1990)	3
<40 – 45% de arcillas	Verihac <i>et al.</i> (1990)	3
Desestimar arcillosa, limosa, francoarcillosa, francoarenosa y excesivamente arenosa	Sáez (1991)	3
Equilibrada, tipo franca	Estrada (1991)	3
< 50% de arcilla	Manozzi (1991)	3 ¹¹
Arenosa, arenolimsa, limoarcillosa, arcillolimsa, arenoarcillosa	Pacioni (1992)	3

Tabla 7.4: Texturas recomendadas por diferentes autores (continuación)

Textura		
Apropiada	Autor	Tipo de cita
Franca (10-40% de arcillas, 10-70% de limos, 10-80% de arena)	Reyna (1992)	3
Franca	López y Torres (1993)	3 ¹²
Equilibrada, tipo franca. Desestimar suelos muy arcillosos, limosos y los excesivamente arenosos	Sáez y De Miguel (1995)	3
<40% de arena o arcillas	Garland (1996)	3 ¹³
< 40% de arcilla. Los suelos con un 40-55% de arena son fáciles de cultivar y buenos para la trufa	Olivier <i>et al.</i> (1996)	3 ¹⁴
<40% de arcilla	Sourzat (2000)	3 ^{14, 15}
Equilibrada	RiOUSSET <i>et al.</i> (2001)	3
< 40% de arcilla	Sourzat (2001)	3 ^{14, 15}
Desestimar arcillosos	Casas (2002)	3
< 46,2% de arcilla	Ricard <i>et al.</i> (2003)	3 ¹⁶

1: Presenta datos de las regiones francesas productoras de trufa negra del suroeste y del sureste.

2: Estudio de 4 estaciones con trufas con altas producciones de trufa negra en la Italia central, en trufas silvestres o implantadas en parcelas experimentales.

3: El muestreo realizado cubre casi la totalidad de regiones trufas francesas: el Sureste (Dauphiné, Provence, Roussillon), el Sur (Tarn y Aveyron), el Suroeste (Quercy, Périgord, Charentes) y el Oeste (Poitou).

4: Estudio de la zona italiana del Alto Valle del Liri (Italia). El rango establecido se obtiene de doce trufas.

5: Rango establecido a partir de 145 trufas de las regiones de Abruzzo, Emilia, Lazio, Marche y Umbria de Italia.

6: Rango establecido a partir de 133 (el estudio es de 144) trufas de las regiones de Abruzzo, Lazio y Umbria en la Italia central.

7: Se refiere a suelos donde los contenidos de arena, limo y arcilla están repartidos en proporciones parecidas. Estos suelos presentan la mayor parte de las cualidades positivas de las texturas arenosas, limosas y arcillosas, sin tener sus defectos.

8: Referencia los suelos del Departamento francés de Lot.

9: Textura de 9 trufas de la Comunidad Valenciana, aunque también menciona que la

textura recomendada por diferentes autores es la que corresponde a la franca, francoarcillosa, francolimosa y francoarenosa, evitando los extremos arenoso y arcilloso.

10: Menciona las texturas en las que la arcilla toma un papel relevante en la fijación de iones como el Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+} , no excluye las otras texturas, pero quiera destacar el papel de la arcilla.

11: Se refiere a la zona italiana de Norcia.

12: A partir de los análisis de las zonas truferas más importantes de España.

13: Datos referentes a los suelos productores de trufa de Europa.

14: Según el INRA de Burdeos (datos no publicados).

15: No obstante presenta el contenido de arcilla de la zona del quemado de un trufero silvestre en producción de trufa negra de 48,2%. Anota que un fuerte contenido de arcilla se puede ver compensado por la actividad biológica y por la pedregosidad del suelo.

16: Datos físico-químicos de los suelos de *Tuber melanosporum* Vitt. en Italia, que a pesar de no especificarlo de una manera clara, coinciden con los de Raglione et al. (2001).

Con los datos de la tabla 7.4, y siguiendo el criterio amplio de tener en cuenta las citas primarias y secundarias, todas las clases texturales son aptas para el desarrollo de la trufa excepto sus extremos; siendo un rango muy amplio. No obstante, hay que tener en cuenta que estos datos se basan mayoritariamente en muestras obtenidas de truferos o de zonas truferas silvestres, en los que hay otros parámetros, como la estructura, el contenido de materia orgánica y la pedregosidad, entre otros, que influirán en el hábitat edáfico. En el caso de la truficultura, el uso de maquinaria pesada, podría hacer inviable el cultivo en aquellas texturas más pesadas con altos contenidos de arcilla debido a la compactación que podría producir. Por lo tanto hemos considerado óptimas las clases texturales franca (F), francoarenosa (F-Ar) y francoarcilloarenosa (F-A-Ar). También se pueden incluir cuatro clases texturales más, que directamente no son citadas, pero con un contenido de arcilla menor del 46,2% (Raglione et al., 2001): textura francoarcillosa (F-A), francolimosa (F-L), francoarcillolimosa (F-A-L) y arenofranca (A-F). Parte de las texturas arcillosa, arcilloarenosa y arcillolimosa, con un contenido de arcilla menor del 46,2% (Raglione et al., 2001), podrían ser consideradas aptas, pero entrarían en contradicción con el resto de autores y, al estar en el límite, no se tendrán en consideración. Se han excluido los porcentajes extremos de arena, limo y arcilla de las clases texturales consideradas aptas. Sin embargo, también se encuentra alguna discrepancia en los suelos con textura francoarcillosa, ya que dependerá mucho de la zona considerada y de la naturaleza del suelo, por eso se ha considerado apto el rango más amplio. Así, consideraremos más adecuados para el cultivo de la trufa los suelos con las texturas más equilibradas, y siempre por debajo de 40-50% de arcilla, porcentaje que dependerá de factores como la pedregosidad, la materia orgánica y la actividad biológica, que favorecen la aireación y evitan, por lo tanto, la excesiva compactación del suelo.

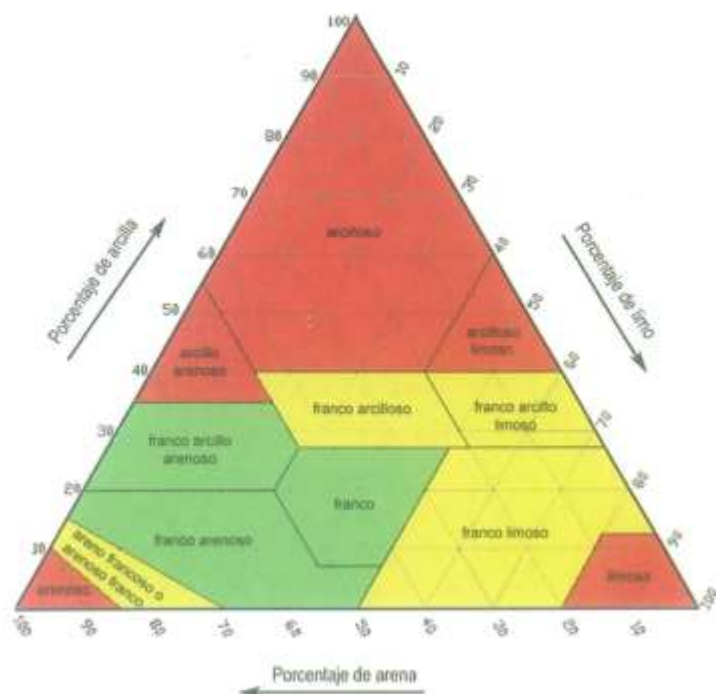


Figura 7.3: Aptitud del suelo para el cultivo de la trufa negra en función de la textura según las citas primarias y secundarias. En verde se representan los suelos con las texturas que se consideran óptimas, en amarillo los suelos con las texturas aptas, y en rojo los suelos con las texturas no aptas.

7.1.1.5 La pedregosidad

La pedregosidad superficial es un elemento valorado de manera muy positiva por los truferos, porque contribuye a un buen drenaje y aireación del suelo, y a la disminución de la evaporación en verano. También provee constantemente de carbonato cálcico y protege contra la compactación y erosión producida por la lluvia (Delmas y Poitou, 1974; Poitou, 1990; Reyna, 2000).

El contenido de pedregosidad en el suelo aparece relacionado con una mayor producción de trufas (Oliach *et al.*, 2005) excluyéndose los suelos demasiado pedregosos, en los que el volumen de pedregosidad sobrepasa sobradamente el del suelo fino (Fortuny y Estrada, 1986; Sourzat, 1997). No obstante, y según Reyna (2000) la presencia de gravas en los suelos truferos es muy variable y oscila entre el 0,2 y el 90%, pudiendo llegar a producirse empedrados superficiales que cubren

completamente el suelo. Poitou (1990) indica que los suelos truferos están caracterizados por una abundancia de guijarros y gravas angulosas, pudiendo representar el 80% del peso del suelo en los 10 primeros centímetros. Esta variabilidad se ve confirmada en la Italia central, con una media de 52,8%, pero con un rango de 8,9% a 92,1% (Bencivenga y Granetti, 1988; Bencivenga *et al.*, 1990). En Francia, los resultados obtenidos varían entre el 1% y el 75% de elementos grandes (Delmas *et al.*, 1981a). Bencivenga (1986) encuentra que los terrenos productores de trufa negra son ricos en pedregosidad, entre el 41,60% y el 89,50% y con un bajo contenido en arcilla de estos suelos, comprendido entre 6,37% y el 15,96%, tratándose de suelos profundos. Además, la pedregosidad puede ser una característica determinante en el valor trufero de un suelo, ya que en climas secos una cobertura total de piedras puede ser favorable, y una tasa elevada de gravas en el perfil de un suelo favorece el drenaje en regiones con una pluviometría abundante (Delmas y Poitou, 1974).

Teniendo en cuenta las referencias de los diferentes autores consideramos la pedregosidad como un factor favorable para la producción de trufas, siempre y cuando no sea excesiva.

7.1.1.6 La materia orgánica

Si bien la materia orgánica, sólo representa como media un 5% en peso de un suelo productivo, juega un papel muy importante en su productividad. Los componentes orgánicos del suelo son los residuos vegetales en descomposición, la materia orgánica resistente y los organismos vivos, aunque la mayor parte de materia orgánica proviene de los residuos vegetales. Como materia orgánica resistente, se tiene que destacar el humus, conjunto de sustancias poliméricas de coloración amarillenta a marrón-negruzca, con moléculas que tienen pesos moleculares elevados y son resistentes a la descomposición. El humus es el resultado de una transformación de los residuos vegetales en la que se produce un aumento de la relación C/N. El humus presenta una superficie y capacidad de absorción muy superior a la de cualquier arcilla y, a diferencia de éstas, no comporta problemas estructurales con grandes cantidades, sino que aumenta la granulación (Buckman y Brady, 1991). El tipo de humus que se forma en las trufas se clasifica como Mull-cálcico, con una relación carbono/nitrógeno de 10 a 20, es decir, humus rico en nitrógeno (Reyna, 1992; Callot, 1999).

La materia orgánica confiere una coloración oscura al suelo con una mejora significativa de la estructura, favorece la formación de agregados, formando un suelo más poroso, y aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo. También regula el pH del suelo e interviene en el balance hídrico confiriendo una gran capacidad de retención de agua, además de estimular la actividad biológica y el creci-

miento de las plantas. Por todas estas razones, la materia orgánica es un buen indicador de la capacidad de un suelo de soportar la vida vegetal, y un parámetro a tener en cuenta al mismo tiempo de realizar la elección de un suelo para el cultivo de la trufa negra.

La cantidad de materia orgánica en suelos truferos es bastante variable, con mínimos y máximos absolutos de 0,16% y 35,40%, y según la mayoría de autores valores recomendados entre 1 y 8%, con un óptimo situado entre 3 y 6% (Tabla 7.5). La materia orgánica de una zona productora de trufas se transforma tanto cuantitativamente como cualitativamente porque el desarrollo vegetativo del micelio de la trufa juega un papel importante. Así las zonas productoras de *T. melanosporum* muestran un bajo contenido en materia orgánica libre (>20 μm), correspondiente a la materia orgánica parcialmente degradada; y un alto contenido en materia orgánica ligada (<20 μm), correspondiente a la materia orgánica humificada estable y bien evolucionada (Ricard, 2003). En general, podemos decir que se observa una disminución de la materia orgánica total (Bragato, 1997) y un aumento de la relación materia orgánica ligada/materia orgánica libre en las trufas.

Tabla 7.5: Valores mínimos, máximos y óptimos o medios de materia orgánica.

Materia orgánica (%)					
Mín.	Máx.	Óptimo/ medio	Autor	Tipo cita	Método ¹
<1	5,0		Delmas y Durand (1971)	1 ²	ND
1,5	8		Delmas y Poitou (1974)	1	VS
1,5	8		Grente y Delmas (1974)	1	ND
1,5	8		Grente <i>et al.</i> (1974)	1	ND
0,8	8,3		Delmas <i>et al.</i> (1981a)	1 ³	ND
2,9	7		Delmas <i>et al.</i> (1981b)	1	ND
5,3	10,6		Bencivenga (1986)	1 ⁴	ND
1,1	17,4	4,6	Bencivenga y Granetti (1988)	1 ⁵	ND
1,13	17,40	4,58	Bencivenga <i>et al.</i> (1990)	1 ⁶	VH
1,1	3,66		Sáez y De Miguel (1995)	1	ND
2,16	3,92		Shaw <i>et al.</i> (1996)	1	VS
1,5	10,1	4 - 6	Sourzat (1997)	1 ⁷	ND
	6		Reyna (2000)	1	ND

Tabla 7.5: (continuación).

Materia orgánica (%)					
Mín.	Máx.	Óptimo/ medio	Autor	Tipo cita	Método ¹
0,16	35,40	12,96	García-Montero <i>et al.</i> (2001)	1	ND
		3	Aguilar (1982)	3	ND
1,5	8		Delmas (1983)	3	
2	8		Fortuny y Estrada (1986)	3	ND
2	8		Estrada (1987)	3	ND
1,5	8		Poitou (1987)	3	VS
1,5	8		Poitou (1988)	3	VS
1,5	8		Chevalier y Poitou (1990)	3	ND
1,5	8		Poitou (1990)	3	ND
1	8		Estrada y Alcántara (1990)	3	ND
2	8		López (1990)	3	ND
1,5	8		Sáez (1991)	3	ND
1,5	8		Estrada (1991)	3	ND
1,5	3		Manozzi (1991)	3 ⁶	ND
1	8		Reyna (1992)	3	ND
1,5	8		López y Torres (1993)	3 ⁵	ND
1,5	8		Bardet (1995)	3 ¹⁰	ND
1,5	8		Olivier <i>et al.</i> (1996)	3 ¹⁰	VS
2	10		Palazón <i>et al.</i> (2000a)	3	ND
2	10		Palazón <i>et al.</i> (2000b)	3	ND
1,5	8		Sourzat (2000)	3 ^{10, 11}	VS
1,5	8		Sourzat (2001)	3 ^{10, 11}	VS
2	6		Sourzat (2002)	3 ¹²	VS
1,5	8		Coves (2003)	3	ND
1	8		Ricard <i>et al.</i> (2003)	3	VS

- 1: Método de medición del contenido de la materia orgánica en el suelo: VS (vía seca) basados en la medida del CO_2 después de una combustión (Porta et al., 1993). VH (vía húmeda) basado en la oxidación parcial del carbono con un agente oxidante (Porta et al., 1993). ND (no disponible) los autores no dan información del método que utilizan para cuantificar la materia orgánica en el suelo.
- 2: Presenta datos de las regiones francesas productoras de trufa negra del suroeste (74 muestras) y del sureste (113 muestras). Los autores destacan la diferencia del contenido de carbono entre las dos zonas, debido a la acción climática diferente que existe entre ellas.
- 3: El muestreo realizado cubre casi la totalidad de regiones truferas francesas: el Sureste (Dauphiné, Provence, Rousillon), el Sur (Tarn y Aveyron), el Suroeste (Quercy, Périgord, Charentes) y el Oeste (Poitou).
- 4: Estudio de la zona italiana del Alto Valle del Liri (Italia). El rango establecido se obtiene de doce trufas.
- 5: Rango establecido a partir de 145 trufas de las regiones de Abruzzo, Emilia, Lazio, Marche y Umbria de Italia.
- 6: Rango establecido a partir de 133 (el estudio es de 144) trufas de las regiones de Abruzzo, Lazio y Umbria en la Italia central. Mide la materia orgánica a partir del carbono orgánico por oxidación con bicromato potásico y valoración titulométrica con sal de Mohr. Comenta que se trata de cantidades bastante elevadas con respecto a aquellas que se encuentran en terrenos agrícolas situados en ambientes análogos.
- 7: Datos del Departamento francés de Lot.
- 8: Hace referencia a analíticas de la zona italiana de Norcia.
- 9: A partir de los análisis de las mejores zonas truferas de España.
- 10: Según el INRA de Burdeos (datos no publicados).
- 11: Presenta datos propios confirmando el rango recomendado basándose en la bibliografía consultada.
- 12: Establece un rango entre 2-6% mientras que en Sourzat (2001) lo establece entre 1,5% a 8%, un rango más amplio.

Siguiendo el criterio del rango más amplio de las citas tipo 1, consideramos un rango de aptitud para la materia orgánica entre 0,16% y 35,40% (Tabla 7.5).

7.1.1.7 El Nitrógeno

El nitrógeno es el macroelemento más importante: es un constituyente esencial en el interior de la célula, formando parte de los ácidos nucleicos, las proteínas y otros compuestos de gran importancia biológica, entre los que se encuentra la clorofila. Es un factor esencial y limitante del crecimiento de los organismos. Sin embargo, su concentración en el suelo generalmente es muy pequeña. Así la mayoría de suelos contienen por término medio un 0,15% de nitrógeno (Tan, 1996), aunque en suelos de montaña se puede presentar un valor más elevado, con un valor medio de 0,3%, que puede llegar excepcionalmente hasta el 1% (Sequi, 1995).

El nitrógeno en un suelo se puede encontrar en forma de nitrógeno orgánico, que representa la mayor parte del nitrógeno en el suelo, y en forma de nitrógeno inorgánico o mineral, el más fácilmente asimilable por las plantas y que continuamente se va formando, bajo condiciones normales, por la descomposición y mineralización del nitrógeno orgánico. La suma de ambas sería el nitrógeno total. Existen muchos métodos para la determinación del nitrógeno de un suelo, pero el método Kjeldahl, que es un método de oxidación húmeda (Tan, 1996) es el más utilizado por la mayoría de autores consultados y determina el nitrógeno en compuestos orgánicos basado en su reducción en amoníaco y la valoración final de éste.

La importancia del nitrógeno, el fósforo y el potasio en el suelo para la producción de trufas es baja, aunque son nutrientes esenciales. En general, la mayoría de los suelos tienen las cantidades suficientes para mantener el crecimiento del hongo y del árbol (Reyna, 2000), por lo tanto, salvo casos excepcionales no habrá problemas de deficiencia de estos nutrientes. Frecuentemente, los problemas asociados a macronutrientes son debidos a concentraciones demasiado elevadas provenientes de la aportación de abonos en campos de cultivo. Las plantas dependen de las micorrizas para captar nutrientes en las concentraciones habitualmente bajas del suelo. Cuando las concentraciones son altas la planta los puede absorber sin necesidad del hongo y deja de formar micorrizas, lo que provoca la muerte del hongo que depende del árbol para obtener energía.

Tabla 7.6: Valores de nitrógeno orgánico y nitrógeno total recomendados.

Nitrógeno orgánico (%)			Nitrógeno total (%)		Autor	Tipo de cita
Mín.	Medio	Máx.	Mín.	Máx.		
			0,1	0,5	Delmas y Durand (1971)	1 ¹
			0,198	0,394	Montacchini <i>et al.</i> (1977)	1
0,046		0,522			Delmas <i>et al.</i> (1981a)	1 ²
			0,09	0,59	Bencivenga y Granetti (1988)	1 ³
			0,087	0,587	Bencivenga <i>et al.</i> (1990)	1 ⁴
	0,3				Reyna (2000)	1 ⁵
0,53	1,25	2,94			García-Montero <i>et al.</i> (2001)	1 ⁶

0,1		0,3			Poitou (1987)	3
0,1		0,3			Poitou (1988)	3
0,1	0,3				Chevalier y Poitou (1990)	3
0,1		0,3			Poitou (1990)	3
0,1		0,3			Sáez (1991)	3
0,1		0,3			Estrada (1991)	3
0,1		0,3			López y Torres (1993)	3
0,1		0,3			Sáez y De Miguel (1995)	3
0,1		0,3			Bardet (1995)	3 ¹
0,1		0,3			Olivier <i>et al.</i> (1996)	3 ¹
			0,1	1	Reyna (2000)	3
0,1		0,3			Sourzat (2000)	3 ^{1, 4}
0,1		0,3			Sourzat (2001)	3 ^{1, 4}
0,1		0,3			Sourzat (2002)	3
0,1		0,3			Coves (2003)	3

1: Presenta datos de las regiones francesas productoras de trufa negra del suroeste (74 muestras) y del sureste (113 muestras). Los autores no indican si se trata de nitrógeno orgánico o nitrógeno total. Indica que el contenido de 0,15 a 0,2% de nitrógeno podría ser considerado óptimo según la información obtenida hasta el momento.

2: El muestreo realizado cubre la casi totalidad de regiones truferas francesas: el Sureste (Dauphiné, Provence, Rousillon), el Sur (Tarn y Aveyron), el Suroeste (Quercy, Périgord, Charentes) y el Oeste (Poitou). El autor menciona que cuantifica el nitrógeno total utilizando el método Kjeldhal. Consideramos que se trata de nitrógeno orgánico, ya que este método analítico determina el nitrógeno en compuestos orgánicos basado en su reducción en amoníaco y la valoración final de éste.

3: Rango establecido a partir de 145 truferas de las regiones de Abruzzo, Emilia, Lazio, Marche y Umbria de Italia.

4: Rango establecido a partir de 133 (el estudio es de 144) truferas de las regiones de Abruzzo, Lazio y Umbria en Italia central.

5: Da un valor medio de nitrógeno Kjeldhal de 9 truferas de la Comunidad Valenciana de 0,3%.

6: El autor menciona que mide el nitrógeno total utilizando el método Kjeldhal. Consideramos que se trata de nitrógeno orgánico, ya que este método analítico determina el nitrógeno en compuestos orgánicos basado en su reducción en amoníaco y la valoración final de éste.

7: Según el INRA de Burdeos (datos no publicados).

8: Presenta datos propios confirmando el rango recomendado basándose en la bibliografía consultada. No obstante, presenta valores de nitrógeno orgánico por encima del rango recomendado (0,38%, 0,35% y 0,8%).

En el caso del nitrógeno orgánico, los límites del rango apto dado por las fuentes directas varían entre el 0,046% y el 2,94%. Respecto del nitrógeno total el rango varía entre 0,09% y 2,94% (Tabla 7.6).

7.1.1.8 La relación C/N

La relación C/N da una indicación de la actividad biológica (Olivier *et al.*, 1996; Sourzat, 2001). Los valores de la relación C/N van disminuyendo a medida que se descompone la materia orgánica y refleja el grado de mineralización de un suelo (Porta *et al.*, 1985) y la calidad de la materia orgánica (Poitou, 1988). Por este motivo, el estudio de la relación C/N puede resultar interesante en suelos pesados, con un elevado porcentaje de arcillas (Sourzat, 2001).

Los valores normales en un suelo de cultivo se encuentran entre 8 y 12 (Porta *et al.*, 1985). La mayoría de autores coinciden al situar un mínimo y un máximo de los valores recomendados de la relación C/N de 8 y 15 respectivamente, con un óptimo de 10 a 11. Sin embargo, Reyna (2000) sitúa el mínimo y el máximo en 5 y 20, respectivamente. Por el contrario, Delmas *et al.*, (1981b) exponen que en una relación C/N superior a 11, *T. melanosporum* desaparece completamente (Tabla 7.7 y Gráfico 7.4). Callot (1999), a pesar de hablar del humus del tipo mull, deja claro que un suelo con una relación C/N de 10 es favorable para la trufa negra, mientras que un suelo con una relación C/N de 20 (humus de tipo moder) es desfavorable a la trufa negra.

Tabla 7.7: Valores mínimos, máximos y óptimos de la relación C/N.

C/N				
Mínim	Máxim	Óptim/Mig	Autor	Tipus de cita
<9,5	>12		Delmas y Durand (1971)	1 ¹
		10	Delmas (1973)	1
	15	10	Delmas y Poitou (1974)	1
		10	Grente y Delmas (1974)	1
		10	Grente <i>et al.</i> (1974)	1
8,57	13,7		Delmas <i>et al.</i> (1981a)	1 ²
	11		Delmas <i>et al.</i> (1981b)	1

10,0	26,0	14,0	Bencivenga y Granetti (1988)	1 ³
10,0	26,0	14,0	Bencivenga <i>et al.</i> (1990)	1 ⁴
7,16	15,68		Sáez y De Miguel (1995)	1
8	12	10	Sourzat (1997)	1 ⁵
0,1	13,7	5,53	García-Montero <i>et al.</i> (2001)	1
		10	Nicolás (1973)	3
		10	Aguilar (1982)	3
		10	Delmas (1983)	3
		10	Fortuny y Estrada (1986)	3
8	15	10	Estrada (1987)	3
		10	Poitou (1987)	3
8	11	10	Poitou (1988)	3
		10	Chevalier y Poitou, (1990)	3
8	11	10	Poitou (1990)	3
8	15	10 - 11	Estrada y Alcántara (1990)	3
		10	Verlhac <i>et al.</i> (1990)	3
		10	López (1990)	3
8	12	10	Sáez (1991)	3
8	11	10	Estrada (1991)	3
10	20	10	Reyna (1992)	3 ⁶
8	15	10	López y Torres (1993)	3 ⁷
		10	Bardet (1995)	3 ⁸
8	12		Olivier <i>et al.</i> (1996)	3 ⁸
		10	Callot (1999)	3
		10	Palazón <i>et al.</i> (2000a)	3
		10	Palazón <i>et al.</i> (2000b)	3
5	20	10	Reyna (2000)	3 ⁹
8	12		Sourzat (2000)	3 ^{8, 10}
		10	Riousset <i>et al.</i> (2001)	3
8	12		Sourzat (2001)	3 ^{8, 10}
8	12		Sourzat (2002)	3
8	14		Coves (2003)	3
8	12	10	Ricard <i>et al.</i> (2003)	3

- 1: *Presentan datos de trufas improductivas (119 muestras) y productivas (49 muestras) de Francia.*
- 2: *El muestreo realizado cubre la casi totalidad de regiones trufas francesas: el Sureste (Dauphiné, Provence, Rousillon), el Sur (Tarn y Aveyron), el Suroeste (Quercy, Périgord, Charentes) y el Oeste (Poitou).*
- 3: *Rango establecido a partir de 145 trufas de las regiones de Abruzzo, Emilia, Lazio, Marche y Umbria de Italia.*
- 4: *Rango establecido a partir de 133 (el estudio es de 144) trufas de las regiones de Abruzzo, Lazio y Umbria en Italia central.*
- 5: *Referencia los suelos del Departamento francés de Lot.*
- 6: *Se refiere a la relación C/N del humus que se forma a las trufas, llamado Mull-cálcico, no de toda la materia orgánica.*
- 7: *A partir de los análisis de las zonas trufas españolas más importantes.*
- 8: *Según el INRA de Burdeos (datos no publicados).*
- 9: *Son los valores recomendados por diferentes autores aunque para las trufas analizadas de la Comunidad Valenciana se establece un valor medio de 7.92.*
- 10: *También presenta datos propios confirmando el rango recomendado basándose en la bibliografía consultada.*

Siguiendo el mismo criterio que en los anteriores parámetros, se ha considerado un rango de 0,1 a 26 de la relación C/N con un óptimo alrededor de 10 (Tabla 7.7).

7.1.1.9 El fósforo

El fósforo es otro elemento indispensable para la vida. En los organismos se encuentra en su forma oxidada, como ácido fosfórico y fosfatos. El fósforo total que encontramos en suelos varía considerablemente de un suelo a otro y lo podemos encontrar tanto de forma orgánica como inorgánica. Ambas formas afectan a la disponibilidad para las plantas, ya que la disponibilidad de fósforo depende de un gran número de factores, así diferenciaremos el fósforo asimilable que presenta el método Olsen, el método más utilizado por los autores consultados, del fósforo total.

La medida del fósforo asimilable es interesante para las plantas cultivadas, pero sólo presenta un interés secundario en truficultura, ya que tanto el hongo como los microorganismos son capaces de transformar las diferentes fracciones del fósforo en forma asimilable para el huésped (Poitou, 1987; Poitou, 1988; Olivier *et al.*, 1996; Sourzat, 2001). Los problemas más frecuentes que podemos tener serán debidos a concentraciones demasiado elevadas provenientes de la aportación de abonos en campos de cultivo. La mayoría de autores sitúan los valores recomendados de fósforo total (P_2O_5) entre 0,1 y los 0,3% . Sáez (1991) y Sáez y De Miguel (1995) sitúan los valores recomen-

datos de fósforo asimilable (método Olsen) entre 0,0012 y 0,0018% (Tabla 7.8 y 7.9).

Tabla 7.8: Valores de fósforo total, expresados en porcentaje de P_2O_5 .

Fósforo total (%)				
Min.	Máx.	Óptimo	Autor	Tipos de cita
		0,053	Grente <i>et al.</i> (1974)	1 ¹
0,0025	0,0029		Montacchini <i>et al.</i> (1977)	1
0,0555	0,2531		Delmas <i>et al.</i> (1981a)	1 ²
0,04	0,3		Sourzat (1997)	1
0,1	0,3		Poitou (1987)	3
0,1	0,3		Poitou (1988)	3
0,1			Chevalier y Poitou (1990)	3
1	3		Estrada y Alcántara (1990)	3 ³
0,1	0,3		Poitou (1990)	3
0,1	0,3		Estrada (1991)	3
0,1	0,3		Bardet (1995)	3 ⁴
0,1	0,3		Olivier <i>et al.</i> (1996)	3 ^{4,5}
0,1	0,3		Sourzat (2000)	3 ⁴
0,1	0,3		Sourzat (2001)	3 ^{4,6}
0,1	0,4		Sourzat (2002)	3 ⁷
0,1	0,3		Coves (2003)	3
	0,3		Ricard <i>et al.</i> (2003)	3

1: Las dosis experimentadas varían entre 0,0040% y 0,1440% de P_2O_5 total en planta en contenedor. Observan que un exceso de fósforo en planta de un año reduce el número de micorrizas de trufa negra y el óptimo se sitúa en una cantidad media.

2: Se establece el rango con sólo 5 valores.

3: En la publicación original aparecen los valores 1% y 3% respectivamente debido a un error de imprenta, así tendría que aparecer 0,1% y 0,3% (Estrada, J.M. comunicación personal).

4: Según el INRA de Burdeos (datos no publicados).

5: En la publicación original aparecen los valores 1% y 3% respectivamente debido a un error de imprenta, así tendría que aparecer 0,1% y 0,3% (Olivier, J.M. comunicación personal).

6: También presenta datos propios confirmando el rango recomendado basándose en la bibliografía consultada.

7: Aunque menciona que los límites fisicoquímicos son los de Sourzat (2001), en las 'Actes del Vè Congrès International -science et culture de la truffe- 1999', en este caso cree conveniente ampliar el rango de fósforo total (P_2O_5) entre 0,1% y 0,4%.

Tabla 7.9: Valores de fósforo asimilable. Los datos recogidos de la bibliografía han sido convertidos a partes por millón de P.

Fósforo asimilable (ppm)			
Mín.	Máx.	Autor	Tipo de cita
10,92	43,66	Delmas y Durand (1971)	1
1,3	213,9	Delmas <i>et al.</i> (1981a)	1 ¹
1,5	93	Sourzat (1997)	1 ²
1,5	9,7	Reyna (2000)	1 ³
0,7	3,1	Reyna (1992)	2 ¹
12	18	Sáez (1991)	3
12	18	Sáez y de Miguel (1995)	3
1,1	32,7	Reyna (2000)	3

1: El muestreo realizado cubre la casi totalidad de regiones truferas francesas: el Sureste (Dauphiné, Provence, Roussillon), el Sur (Tarn y Aveyron), el Suroeste (Quercy, Périgord, Charentes) y el Oeste (Poitou). Los autores anotan que el valor de 213 ppm de P se encuentra muy lejos del resto de valores.

2: Medido con el método Jarët-Hébert.

3: Resultados del análisis de 9 truferas en la Comunidad Valenciana, con un valor medio de fósforo asimilable de 2 ppm de P.

4: Valor medio de acuerdo con la cartografía de suelos de Morella realizada por el CSIC y la Facultad de Farmacia de Valencia (Sánchez, J. y Rubió, J.L. 1985 en Reyna, 1992).

El micelio de la trufa negra presenta la capacidad de transformar todas las formas del fósforo. Por lo tanto, sólo consideramos un rango de aptitud para el fósforo total de 0,0025 a 0,3% de P_2O_5 .

7.1.1.10 El potasio

El potasio también se trata de un macronutriente muy importante, aunque la inmensa mayoría de suelos tienen las cantidades suficientes para hacer viable una plantación de trufas (Reyna, 2000). Como el fósforo, el potasio total no refleja la disponibilidad de este nutriente para las plantas. La cantidad de potasio intercambiable normalmente no supera el 1 - 2% del potasio total (Sequi, 1995). Así, según la mayoría de autores la composición en potasio intercambiable de un suelo trufero

varia entre 0,01% y 0,03% (Tabla 7.10). El potasio intercambiable se puede extraer mediante NH_4OAc , MgCl_2 , o NaCl (Tan, 1996). Delmas y Durand (1971) observan que la mayor parte de suelos truferos no superan contenidos superiores al 0,03% de potasio (K) intercambiable (equivalente a 0,072% de K_2O), a pesar de que los contenidos máximos observados son de 0,05 a 0,07% (equivalente a 0,121% y 0,169% de K_2O , respectivamente).

Tabla 7.10: Valores de potasio intercambiables.

K ₂ O (%)			
Mínim	Máxim	Autor	Tipus de cita
<0,024	>0,096	Delmas y Durand (1971)	1 ¹
0,316	0,485	Montacchini <i>et al.</i> (1977)	1
0,0096	0,1217	Delmas <i>et al.</i> (1981a)	1 ²
0,007	0,049	Sáez y De Miguel (1995)	1
0,016	0,031	Shaw <i>et al.</i> (1996)	1
0,004	0,04	Sourzat (1997)	1
0,0077	0,028	Reyna (2000)	1
0,007	0,02	Reyna (1992)	2 ³
0,01	0,03	Poitou (1987)	3
0,01	0,03	Poitou (1988)	3
0,01	0,03	Chevalier y Poitou (1990)	3
0,1	0,3	Estrada y Alcántara (1990)	3
0,01	0,03	Poitou (1990)	3
0,01	0,03	Sáez (1991)	3
0,01	0,03	Estrada (1991)	3 ⁴
0,01	0,03	Olivier <i>et al.</i> (1996)	3 ⁴
0,01	0,03	Sourzat (2000)	3 ^{4, 5}
0,01	0,03	Sourzat (2001)	3 ^{4, 5}
0,01	0,04	Sourzat (2002)	3 ⁶
0,01	0,03	Coves (2003)	3

1: Presenta datos de las regiones francesas productoras de trufa negra del suroeste (74 muestras) y del sureste (113 muestras).

2: El muestreo realizado cubre casi la totalidad de regiones truferas francesas: el Sureste (Dauphiné, Provença, Rousillon), el Sur (Tarn y Aveyron), el Suroeste (Quercy, Pèrigord, Charentes) y el Oeste (Poitou).

- 3: Valor medio de acuerdo con la cartografía de suelos de Morella realizada por el CSIC y la Facultad de Farmacia de Valencia (Sánchez, J. y Rubió, J.L. 1985 en Reyna, 1992).
- 4: Según el INRA de Burdeos (datos no publicados).
- 5: Comenta que los datos propios obtenidos están comprendidos dentro de este rango, excepto algún dato que se encuentra ligeramente fuera del rango.
- 6: Aunque menciona que los límites fisicoquímicos son los de Sourzat (2001), en las 'Actas du Ve Congrès International -science te culture de la truffe- 1999', en este caso cree conveniente ampliar el rango de potasio intercambiable a 0,01- 0,04% .

Siguiendo el criterio del rango más amplio entre las citas de tipo 1 y 2 se puede establecer un rango entre 0,004 y 0,485% de K_2O .

7.1.1.11 La estructura

La estructura describe la forma en que se agregan las partículas individuales de un suelo y el espacio de cavidades asociadas. Estos agregados se mantienen separados los unos de los otros dejando macroporos, y dentro de los mismos agregados encontramos los microporos. La estructura viene determinada por el contenido de materia orgánica, el contenido de calcio, la textura, y por los organismos que viven en el suelo; tanto las raíces como la actividad de la fauna edáfica contribuyen muy activamente en la estructuración de los suelos confiriéndoles esponjosidad. La estructura es el resultado de procesos de diferente naturaleza: biológicos, químicos, físicos y mecánicos; el predominio de uno u otro proceso da lugar a los diferentes tipos de estructura.

Según la mayoría de autores la mejor estructura es aquella que permite una mejor aireación del suelo y una buena circulación del agua por los poros, así como una buena penetración de las raíces del árbol y del micelio de la trufa (Delmas y Poitou, 1973, 1974; Poitou, 1988; Estrada y Alcántara, 1990; Sáez y De Miguel, 1995). Esta descripción corresponde a la denominada estructura granulosa o grumosa, con agregados del tamaño de un grano de trigo (Delmas, 1973; Poitou, 1988; Chevalier y Poitou, 1990), evitando los suelos con estructuras laminares o prismáticas (Grente *et al.*, 1974). Según Ricard (2003) los agregados que dominan en zonas de producción de carpóforos son los agregados de 0,25 a 2 mm, aunque afirma que resulta muy difícil de definir una estructura ideal para un terreno con potencial trufero, ya que la estructura cambia a lo largo del tiempo de una forma considerable. Raglione *et al.* (1992) encuentran que los horizontes donde se desarrolla la trufa presentan siempre una buena estructura, dominando los agregados del tipo granular y grumoso, pero sin ser infrecuentes los agregados poliédricos subangulares. De la estabilidad de la estructura dependen las características hidrodinámicas de un suelo y la facilidad para que las raíces y el micelio se desarrollen y penetren en el suelo, facilitando un buen crecimiento y desarrollo de la planta (Delmas y Poitou

1974). *T. melanosporum* produce los carpóforos en suelos blandos, caracterizados por agregados pequeños (tamaños de 0,25 - 2 mm), porosos y con una presencia escasa de raíces de hierbas; mientras que, cuando los agregados aumentan de tamaño, como en las áreas donde el quemado está ausente, y presentan una densa cubierta herbácea, el suelo se convierte en más compacto y menos oxigenado, cosa que afecta negativamente la producción de carpóforos (Lulli *et al.*, 1999; Bragato *et al.*, 2001; Ricard, 2003).

7.1.1.12 Tipos de suelos

Los pedólogos, que estudian la evolución de los suelos a partir de la roca madre y de los factores físicos, químicos y biológicos de la naturaleza, clasifican los principales suelos truferos en el tipo rendzinas o suelos pardos calcáreos (Olivier *et al.*, 1996; Sourzat, 1997; Hall y Brown, 1989; Hernández, 1994; Sáez y De Miguel, 1995; Rioussel *et al.*, 2001; Delmas y Poitou, 1974; Callot y Jaillard, 1996; Lavina, 2001), Litosoles (Hernández, 1994; Sáez y De Miguel, 1995) o Fluviosoles (Sourzat, 2002). Raglione *et al.* (1992) y Raglione *et al.* (2001), utilizando la Taxonomía Edáfica del USDA (USDA, 1998), exponen que los órdenes aptos son los Inceptisoles, Entisoles y Mollisoles. Raglione *et al.* (2001) todavía concretan más y mencionan que los grupos más aptos son los Xerorthents, Eutrochrepts, Xerochrepts (especialmente los Calcixerollic Xerochrepts), Rendolis (a pesar de que según Lulli *et al.* (1999), los suelos Lithic Rendoll limitarían el crecimiento de *T. melanosporum*, favoreciendo la colonización de *Tuber aestivum*, más resistente a la sequía) y Ustochrepts. Sin embargo, deja claro que estas tipologías de suelos no son las únicas aptas para *T. melanosporum*, ya que su aptitud depende de la interacción de múltiples factores, y menciona que las zonas con materiales carbonados serán aptas para su producción. Barili y Valerio (2000) establecen un orden de aptitud en los suelos de Val Bormida (Italia), colocando los Xerorthents como los más aptos, seguidos de los Eutrochrepts, y finalmente, los Udorthents con una capacidad de retención del agua demasiado elevada, hecho que puede perjudicar el desarrollo de la trufa. Los suelos tienen que ser calcáreos, donde la existencia de calcita es un factor decisivo, ya que la trufa no vive en terrenos ácidos o silíceos. Así, según Olivier *et al.* (1996), normalmente encontramos tres tipos de suelos: rendzinas, denominados rendosoles (rendosoles para las rendzinas cálcicas), suelos pardos calcáreos, denominados calcosoles y los suelos pardos cálcicos, denominados calcisoles; aunque no se pueden ignorar los litosoles y los coluviosoles.

Los suelos aptos para la trufa se encuentran dentro de los Inceptisoles, que son los que tienen mayor representación en España, aunque en Cataluña los suelos dominantes son los Entisoles, suelos muy jóvenes, formados sobre materiales difíciles de meteorizar, como los bancales del levante catalán para el uso de las viñas. También son, aptos los Alfisoles, que son suelos formados sobre superficies jóvenes

que mantienen reservas notables de minerales primarios, libres de erosión y perturbación edáfica, y extensos en régimen xérico, en lugares con un periodo lluvioso y poco cálido alternado con uno seco. Y también son aptos algún subgrupo de los Aridisoles que puede presentar características más o menos aptas para la trufa; con la falta de disponibilidad de agua como el principal factor limitante.

7.1.1.13 La humedad

Se trata de un parámetro que la mayoría de autores no mencionan. No obstante, López (1990) comenta que la humedad del suelo se tendría que mantener entre el 35 y el 70% de la capacidad de campo del suelo. Sin embargo, según Montant y Kulifaj (1990), para un buen desarrollo se necesita una tasa óptima de humedad total del suelo de un 15%.

7.1.1.14 La conductividad

También se trata de un parámetro no muy estudiado y con pocas referencias en la literatura. En cambio, sí que encontramos algunas referencias sobre conductividades inadecuadas en suelos con problemas de salinidad. Según Reyna (2000), en los análisis realizados en suelos truferos de la Comunidad Valenciana se comprueba que la conductividad es siempre baja, con una media de 166,44 $\mu\text{mhos/cm}$. Según López y Torres (1993), la conductividad tendría que ser menor de 350 $\mu\text{mhos/cm}$, umbral que define un suelo no salino. Desde un punto de vista agronómico, se trataría de suelos aptos para cualquier cultivo. Por otra parte, en las zonas truferas no estudiadas nunca se ha encontrado indicios de plantas halófilas, es decir, plantas que indican la presencia de suelos salinos (Reyna, 2000). Por lo tanto, en este parámetro utilizaremos el rango que, según la Taxonomía Edáfica del USDA (USDA, 1998) corresponde a un suelo no salino: suelos con una conductividad menor de 2 dS/m a 25°C (equivalente a 2 mmhos/cm).

7.1.1.15 Los sulfatos

Casi no se han encontrado referencias bibliográficas que indiquen la presencia o ausencia de sulfatos (SO_4^{2-}) en suelos productores de trufas. Según Reyna (2000), en los análisis de suelos productores de trufas en la Comunidad Valenciana se encuentra una presencia escasa de sulfatos (valores entre 0 y 169 ppm), que en ningún caso se trata de suelos yesosos, cosa que habría quedado al descubierto con conductividades elevadas. Bencivenga y Granetti (1989) después de analizar 5 trufas en Umbria (Italia) establecen un valor medio de sulfatos de 45 ppm, una concentración que disminuye con respecto al exterior del quemado. Bencivenga *et al.* (1990), en un estudio realizado en Italia central citan que el contenido de sulfato

tos en 10 trufas representativas de *T. melanosporum* varía entre 10 y 247 ppm (extracción en agua y determinado por el método colorimétrico).

7.1.1.16 El magnesio

El magnesio (Mg) es un elemento que puede ser abundante en ciertos suelos truferos. Se trata de un macronutriente esencial para el crecimiento de las plantas, ya que es uno de los constituyentes de la clorofila y, por lo tanto, vital para la fotosíntesis. Para la mayoría de autores, el magnesio acostumbra a tener unos valores entre 0,01 y 0,03%, aunque Sourzat (2002) sitúa los límites del rango entre 0,01 y 0,05 %. Delmas y Durand (1971), encuentran que los suelos truferos son pobres en magnesio (Mg) intercambiable, entre 0,005% y 0,015%. No obstante, encuentran suelos con contenidos superiores al 0,03%, pero concentrados en una zona concreta (Departamento del Hérault, Francia). Bencivenga *et al.* (1990), en un estudio realizado en Italia central citan que el contenido de magnesio (Mg) en 10 trufas representativas de *T. melanosporum* varía entre 590 y 120 ppm (extracción con una solución de ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA)) y determinado por absorción atómica, encontrándose siempre bien representado. En Francia, encontramos suelos dolomíticos (especialmente ricos en magnesio) que pueden tener un 0,1% de magnesio (Olivier *et al.*, 1996). Poitou (1988) apunta que es difícil definir un límite superior de contenido en magnesio en un suelo, ya que los valores máximos de este macronutriente varían en función de las características de los suelos, pero fija el límite inferior en 0,01% de magnesio expresado en MgO. Además, Sourzat (2001) afirma que ni el déficit ni el exceso de magnesio afectan significativamente a la producción de trufas de una plantación.

7.1.1.17 El hierro

Según Bragato *et al.* (2001), la producción de trufa negra está relacionada con una disminución del contenido de hierro (extracto con una solución de 0,005M DTPA, 0,01M CaCl₂, y 0,1M tetraetilamonio, ajustado a un pH de 7,3), situándose entre los 7,8 y los 25,4 mg/kg. Raglione *et al.* (2001) citan el hierro como un parámetro fundamental para discriminar los suelos de *T. melanosporum* de los de otras especies de trufas, y sitúa los valores entre 31,7 y 323,3 mg/kg (determinados por espectrofotometría de absorción atómica después de la extracción con una solución de acetato de amonio 0,5M + EDTA tamponado a un pH de 4,65). Bencivenga y Granetti (1989) con el estudio de 5 trufas en Umbría (Italia) establecen un valor medio de hierro de 14 mg/kg. En un estudio realizado en Italia central, el contenido de hierro (Fe) en 10 trufas representativas de *T. melanosporum* varía entre 3 y 10 mg/kg (extracción con DTPA y determinado por absorción atómica) (Bencivenga *et al.*, 1990). Mamoun y Olivier (1993) observan que la aportación de hierro disminuye la

micorrización de *T. melanosporum* y estimula la colonización por otros hongos simbioses en plántulas de avellano de un año.

7.1.1.18 El Cinc

Bencivenga et al. (1990), en un estudio realizado en Italia central, observan que el contenido de cinc (Zn) en 10 trufas representativas de *T. melanosporum* varía entre 0,7 y 9,3 mg/kg (extracción con DTPA y determinación por absorción atómica), encontrándose ausente (<1 ppm) en alguna muestra. Raglione et al. (2001) establecen un rango entre 1,1 y 38,7 mg/kg de cinc (la metodología de extracción ha sido la misma que para el hierro), y Bragato et al. (2001) establecen un valor medio de 1,68 mg/kg de cinc. También lo tienen en cuenta Bencivenga y Granetti (1989) que establecen un valor medio de cinc de 3,5 mg/Kg.

7.1.1.19 El cobre

Bencivenga et al. (1990) observan que el contenido de cobre (Cu) en 10 trufas representativas de *T. melanosporum* varía entre 1,2 y 4,9 ppm (extracción con DTPA y determinación por absorción atómica). Raglione et al. (2001) establecen un rango entre 1,1 y 88,9 mg/Kg de cobre (con la misma metodología de extracción que para el hierro y el cinc). Bragato et al. (2001), después de 154 observaciones, establecen un valor medio de 7,46 mg/kg de cobre en la región de Perugia (Italia). Bencivenga y Granetti (1989) también en este caso mencionan el cobre, estableciendo un valor medio de 4,5 mg/kg (valor medio de las 5 trufas estudiadas en Umbria (Italia)).

7.1.1.20 El manganeso

Los valores de manganeso (Mn) analizados por Raglione et al. (2001) se sitúan entre 53,3 y 534,1 mg/Kg de manganeso. Además, el manganeso puede resultar un parámetro interesante, como el hierro, para discriminar los suelos aptos para *T. melanosporum*. Lulli et al. (1999) observaron que cuando hay un pH elevado y CaCO_3 , el oxígeno atmosférico puede oxidar directamente el manganeso y, por lo tanto, cuando encontramos un suelo aireado, como en los quemados de la trufa, hay que esperar una disminución del manganeso extraído con DTPA. Esta afirmación también queda corroborada por los resultados obtenidos por Bencivenga y Granetti (1989), pasando de los 39 mg/kg de manganeso al exterior del quemado a los 35 mg/kg de manganeso en su interior y apoyada por Bragato et al. (2001) que al mismo tiempo establece un valor medio de 28,4 mg/kg de manganeso en Perugia (Italia). Bencivenga et al. (1990), en un estudio realizado en Italia central, observan que el contenido de manganeso en 10 trufas representativas de *T.*

melanosporum varía entre 5 y 12 mg/kg (extracción con DTPA y determinación por absorción atómica).

7.1.1.21 El boro

Los resultados de Bencivenga y Granetti (1989) denotan que no hay una variación significativa de la concentración de boro (B) observado entre el interior y el exterior del quemado observando un valor medio de 1,4 mg/kg dentro del quemado. En un estudio realizado en Italia central, el rango de contenido de boro en 10 trufas representativas de *T. melanosporum* varía entre 0,1 y 1,2 ppm (método de Berger-Troug, que mide el boro soluble) (Bencivenga *et al.*, 1990).

7.1.1.22 El estroncio

Bencivenga y Granetti (1989) también establecen un valor medio para el estroncio (Sr) que en este caso se sitúa en 6,5 mg/kg dentro del quemado.

7.1.1.23 El molibdeno

Bencivenga *et al.* (1990) obtienen que el contenido de molibdeno (Mo) en 10 trufas representativas de *T. melanosporum* varía entre 0,9 y 2,1 mg/kg (extracción con DTPA y determinación por absorción atómica), estando siempre presente con valores considerados como suficientes.

7.1.2 Parámetros climáticos

Para el buen desarrollo de la trufa son necesarias una pluviometría y unas temperaturas bien repartidas, sin extremos marcados (Verlac *et al.*, 1990). Así, las heladas tardías en primavera pueden evitar el nacimiento de los primordios y/o destruir pequeños ascocarpos ya formados y una falta de precipitación acentuada en los meses de verano puede resultar nefasta para la producción invernal de la trufa, ya que es en estos meses de verano cuando el ascocarpo experimenta un crecimiento exponencial (Olivier *et al.*, 1996). La mayoría de autores coinciden en que el clima adecuado para la trufa negra es el mediterráneo, y concretamente el "mediterráneo Continental Xérico" (Palazón *et al.*, 2000a), con un periodo estival caluroso y seco, interrumpido por temporales de lluvia de cerca de 30 mm (Bencivenga *et al.*, 1990). Este dato concuerda con que *T. melanosporum* es un hongo xero-termófilo (Ricard, 2003), es decir, que se desarrolla en climas que presentan una alternancia marcada de las estaciones. Grente *et al.* (1974) consideran que las mejores

condiciones climáticas son aquéllas que comprenden una alternancia suficiente pero no excesiva de estaciones. De esta manera, excluye: los climas de tipo oceánico poco marcado, los climas de tipo continental con veranos muy calurosos e inviernos muy fríos sin estaciones intermedias marcadas, los climas de tipo mediterráneo árido con pluviometría únicamente invernal o insuficiente y los climas con periodo frío excesivamente largo.

7.1.2.1 La precipitación

La disponibilidad de agua es de gran importancia en la truficultura, sobre todo en los meses de verano, cuando las precipitaciones toman un papel decisivo para la próxima cosecha de trufas. Desgraciadamente, la precipitación en sí misma, no es un buen indicador de la disponibilidad de agua para las plantas, ya que la precipitación que puede sustentar holgadamente los bosques de quercineas en lugares fríos y con veranos cortos no permite su supervivencia en lugares más calientes o con veranos más largos. La literatura no contiene información sobre las necesidades hídricas del organismo simbiótico árbol-hongo expresadas como rango de potenciales hídricos del suelo adecuados y los datos disponibles se refieren sólo a precipitación.

En Cataluña, llueve con una distribución muy irregular: mientras que en el Pirineo llueve más de 1.000 mm/año, en las zonas costeras las precipitaciones son más moderadas (500 - 600 mm/año) y en el interior, las condiciones orográficas y las habituales situaciones de transporte atmosférico, determinan precipitaciones por debajo de 400 mm/año (Albert *et al.*, 1985).

El régimen de precipitaciones del área trufera es el típico mediterráneo, con sequía veraniega y un máximo de precipitaciones en otoño. La primavera tiene que ser relativamente húmeda para favorecer el nacimiento de las trufas, al igual que el fin del verano. El invierno no acostumbra a tener una precipitación elevada, hecho que podría favorecer que se pudrieran las trufas en terrenos llanos donde se formasen charcos.

La mayoría de autores sitúan los valores mínimo y máximo recomendados de pluviometría, entre los 300 - 500 y los 900 mm/año. Los valores favorables de precipitación en los meses de verano se sitúan en torno a los 100 mm, para asegurar una buena producción (Martínez y Grigelmo, 1992; Reyna, 1992; Sáez y De Miguel, 1995), siendo muy importante la precipitación del mes de agosto, que tiene que superar los 40 - 50 mm de lluvia (Reyna, 1992; 2000) para obtener una buena producción.

En Soria, presentan una precipitación en los meses de verano entre 28 mm y 54 mm

(Hernández, 1994), muy por debajo de la mencionada por Reyna (1992). El hecho de que en Soria se citen buenas producciones de trufa con valores de precipitación tan bajos puede ser debido a la ubicación de la zona con una altura considerable (>1.000 m) y, consecuentemente, con una evapotranspiración más baja. En Morella, sin embargo, con unas temperaturas de verano más altas, se cita una precipitación necesaria entre 72 y 185 mm (Reyna, 2000), aunque las observaciones sobre la influencia de las condiciones climáticas son numerosas, los métodos utilizados son heterogéneos y los resultados obtenidos son difícilmente comparables (Tabla 7.12). Roux (2003) coincide al afirmar que no importa tanto las cantidades anuales de precipitación como su distribución a lo largo del año, siendo esenciales en el verano, un periodo donde también importa mucho su distribución. Este hecho ya se confirma en la fase de implantación de la plantación en la que aportaciones de agua tienen efectos muy diferentes sobre el desarrollo del hongo si tienen lugar al principio o al final del verano (Olivera-Ruestes *et al.*, en prep. b). Un factor que también tiene mucha importancia es la sequía y la duración de ésta, considerando como sequía el periodo con $P < 2T$, siguiendo el diagrama ombrotérmico, donde T representa la temperatura media mensual en °C y P la precipitación mensual en mm (Olivier *et al.*, 1996; Sourzat, 2002; Michels, 2003; Ricard, 2003). Así, aunque la trufa puede aguantar 20 o 25 (Sourzat, 2000), 30 (Michels, 2003) o hasta 35 días de sequía (Roux, 2002), una duración superior perjudica la producción y calidad de la trufa. Sourzat (2002) también pone de manifiesto que un otoño excesivamente húmedo con precipitaciones muy elevadas como en octubre de 2000 con 300 mm en la región de Périgord (Francia), puede contribuir a la pudrición de las trufas. En el sur de Francia, los años con buena producción se caracterizan por una precipitación importante en abril (entre 90 mm y 140 mm en total), mientras que los años con un descenso importante de la producción se caracterizan por una sequía importante en invierno (CTIFL, 1995). Sourzat (2000) coincide con otros autores en que las precipitaciones en verano son esenciales para una buena cosecha de trufas, y pone énfasis en agosto, afirmando que las mejores cosechas se encuentran con unas precipitaciones de $3T < P < 4T$, donde P es la precipitación mensual en mm y T la temperatura media mensual en °C, con cantidades en torno de 80 a 90 mm.

Tabla 7.12: Valores de precipitaciones recomendadas u observadas.

Precipitación (mm)					
Mín.	Máx.	Óptima	Verano	Autor	Tipo de cita
425	650	500 - 600	28 - 54	Hernández (1994)	1
485	843		72 - 185	Reyna (2000)	1
729	1.443			Hall y Yun (2003)	1 ¹
600	1.500			Ricard (2003)	1

Tabla 7.12: (continuación)

Precipitación (mm)					
Mín.	Máx.	Óptima	Verano	Autor	Tipo de cita
600	800			Nicolás (1973)	3
600	900			Delmas (1983)	3
500	900			Aguilar (1982)	3
		875		Fortuny y Estrada (1986)	3
600	800			Estrada (1987)	3
600	1.500			Hall y Brown (1989)	3 ²
300	900			Estrada y Alcántara (1990)	3
600	900			López (1990)	3
		600 – 900		Sáez (1991)	3
600	900		100	Martínez y Grigeldo (1992)	3
600	900			Pacioni (1992)	3
500	900		100	Reyna (1992)	3
600	900		100	Sáez y De Miguel (1995)	3
500		600 – 900		Palazón <i>et al.</i> (2000a)	3
500		600 – 900		Palazón <i>et al.</i> (2000b)	3
400	900			Casas (2002)	3
			60 – 80	Michels (2003)	3

1: Condiciones climáticas adecuadas para zonas con plantaciones productivas de Nueva Zelanda.

2: Para zonas productoras de trufas de Europa.

Según el criterio establecido por los parámetros edáficos, el rango de precipitación anual sería de 485 – 1.500 mm y, como mínimo, una precipitación en los meses de verano de 72 mm (Tabla 7.12). Tanto en la precipitación anual como en la de los meses de verano, no se han considerado los valores de 425 mm y 28 mm respectivamente, debido a que este dato está basado en observaciones en la provincia de Soria con una evapotranspiración anual y estival inferior a la de la mayoría de regiones de Cataluña. También se han considerado como aptas las zonas con una precipitación inferior y siempre que cumplan el resto de parámetros, si resulta fac-

tible establecer un sistema de riego para suplir la necesidad de agua en los períodos más secos. Esta posibilidad no se tiene que descartar en el resto de zonas que, si bien como media reciben una precipitación adecuada, la irregularidad de la distribución de las lluvias permite la existencia de años extremadamente secos que perjudican la producción de las trufas. Un sistema de riego en estas zonas puede salvar la producción en años secos. La cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades hídricas de la planta resulta pequeña, unos 20 mm después de 20 a 25 días de sequía, y unas aportaciones un poco más importantes en agosto, en torno a los 80 – 90 mm (Sourzat, 2000). Este riego suplementario complementaría la falta de precipitación, y haría factible el planteamiento de sistemas de riego en zonas no consideradas como de regadío dado que una balsa de recogida de agua de lluvia puede resultar suficiente para satisfacer estas necesidades hídricas.

7.1.2.2 La temperatura

El clima mediterráneo, con respecto a las temperaturas, se caracteriza por unos veranos calurosos y unos inviernos moderados, con contrastes que se ven acentuados por la orografía accidentada que presenta Cataluña (Camarasa *et al.*, 1993). El clima favorable para la trufa se caracteriza por una primavera templada, sin heladas tardías (hecho que favorece el nacimiento de las nuevas trufas), un verano relativamente caluroso, un otoño sin heladas adelantadas que podrían detener la maduración de los carpóforos, e inviernos no muy extremos, sin heladas prolongadas que puedan afectar al hongo (Sáez, 1991; Sourzat, 1997). Aun así, la trufa puede soportar temperaturas extremas puntuales de hasta 43°C en verano y -25°C en invierno (Sáez y De Miguel, 1995; Reyna, 1992; Reyna, 2000). La mayoría de autores coinciden en afirmar que hay que evitar los extremos, temperaturas muy cálidas en verano (más de seis días con una temperatura media del aire superior a 23°C (Michels, 2003)), y temperaturas muy frías en invierno (temperaturas mínimas inferiores a -10°C (Sourzat, 2003; Olivier *et al.*, 1996)). Michels (2003) y Sourzat (2003) apuntan que un almohadillado reduce significativamente la amplitud térmica, reduciendo la temperatura del suelo a los 10 cm superiores del suelo en verano y aumentándola ligeramente en invierno. Además, Sourzat (2003) expone que una sequía relativa en otoño hace las trufas más resistentes al frío ya que los carpóforos son menos ricos en agua y con una concentración de sal más elevada. Las temperaturas medias anuales aptas para el desarrollo de la trufa, según los autores consultados se sitúan entre los 8,6°C y 14,8°C, con una temperatura media de las máximas del mes más cálido entre 23°C y 32°C, y una temperatura media de las mínimas del mes más frío entre -2°C y -6°C, aunque puede llegar a soportar temperaturas puntuales situadas entre -25°C y 43°C (Sáez y De Miguel, 1995; Reyna, 1992; Callot y Jaillard, 1996; Reyna, 2000). Según Palacios (2001), en primavera son necesarias unas temperaturas relativamente cálidas (entre 10°C y 12°C) (Tabla 7.14).

Tabla 7.14: Valores de temperatura.

Temperatura °C				
Tma ¹	Tmc ²	Tmf ³	Autor	Tipo de cita
9 - 12			Hernández (1994)	1
14	<23,5		Callot y Jaillard (1996)	1
8,6 - 14,8	17,4 - 23,2	2,3 - 8,2	Reyna (2000)	1 ⁴
9,7	18,3	1,4	García-Montero <i>et al.</i> (2002)	1
	16,5 - 22	1 - 8	Ricard (2003)	1 ⁵
	16,5 - 22	2 - 8	Hall y Brown (1989)	3
11 - 14	<20 - 22	>2	Reyna (1992)	3
	20	2	Martínez y Grigelmo (1992)	3
11 - 14	<20 - 22	>2	Sáez y de Miguel (1995)	3
9 - 15			Casas (2002)	3

1: Temperatura media anual.

2: Temperatura media del mes más cálido (julio).

3: Temperatura media del mes más frío (enero).

4: Datos solo para la Comunidad Valenciana.

5: Amplitud de las temperaturas para las zonas truferas francesas e italianas.

Siguiendo el criterio del rango más amplio podemos establecer los siguientes rangos de temperaturas mostrados en la tabla 7.15.

Tabla 7.15: Valores de temperatura propuestos como aptos para el desarrollo de la trufa negra, rangos coincidentes con los datos observados o recomendados según las citas primarias.

Temperatura	Rango
Temperatura media anual	8,6 - 14,8°C
Temperatura media del mes más cálido	<23,5°C
Temperatura media del mes más frío	>1°C

La temperatura limitará de una manera determinante el área potencial de la trufa negra desde el punto de vista climático, excluyendo las zonas más elevadas y frías del Pirineo y Prepirineo y las zonas interiores más cálidas.

7.1.2.2.1 El período sin heladas

También se trata de un parámetro, en el que no se incide por el hecho de que con los datos de temperatura ya se realiza una aproximación. Según Hall y Brown (1989) el periodo aproximado sin heladas en zonas trufas en Europa se sitúa entre los 160 y los 260 días, tratándose de un clima sin fríos extremos. En Cataluña, dada su gran variabilidad orográfica también encontramos unas grandes variaciones en este parámetro pasando de los 237 días en Bellver de Cerdanya a los 363 de Banyoles o Hostalets de Pierola, habiendo muchas zonas costeras que, durante años, no han habido ningún día de heladas (Departamento de Medio Ambiente y Vivienda, 2003).

7.1.3 Parámetros geográficos

La geografía también condiciona la distribución de la trufa. Los parámetros considerados en este apartado son la latitud, la altura, la orientación y la pendiente. Los parámetros geográficos por sí solos no tienen gran relevancia y deben considerarse en combinación con las variables climáticas y geográficas.

7.1.3.1 La latitud

En Europa, *T. melanosporum* se distribuye entre los paralelos 40° y 48° en España, Francia e Italia (Lawrynowicz, 1992); mientras que Palacios (2001) sitúa la presencia de la trufa negra entre los 29° de latitud N en Ifni (Marruecos), y los 44°-49° de latitud N en Francia. Olivier *et al.* (1996) afirman que el clima en una latitud baja se compensa con la altitud, Garland (1996) sitúa los límites entre 35° y los 47°, tanto en el hemisferio norte como en el hemisferio sur, y Ramírez *et al.* (2003) refiriéndose a Chile (hemisferio sur) sitúa los límites entre los 35° y los 40° de latitud sur y en zonas más frías de los Andes entre los 33° y los 35° de latitud sur. Cataluña se encuentra entre las latitudes 40° 32' y 42° 53', dentro de la zona de distribución natural de *T. melanosporum*.

7.1.3.2 La altitud

La altitud es un parámetro con discrepancias entre autores y depende de la latitud. Bencivenga *et al.* (1990) constatan una estrecha relación entre la orientación y la altitud en que se encuentran las trufas; la cota media de las trufas situadas en exposición norte es más baja, 614 m, con respecto a la del resto de exposiciones, siendo la cota media más alta, 787 m, en la exposición sur. Los límites se sitúan entre los 100 y los 1.800 m de altitud, si bien en Francia, donde las trufas se citan

8

Aptitud para el cultivo de la trufa negra

Una vez identificados los rangos adecuados se han seleccionado las zonas aptas por su clima y suelo para obtener el mapa de zonas aptas para el cultivo de la trufa negra en Cataluña. Finalmente, este mapa de aptitud se ha combinado con los usos del suelo para identificar las zonas donde el cultivo de la trufa negra pueda mejorar los rendimientos de los cultivos actuales.

8.1 Aptitud edáfica

En la aptitud edáfica, la zonificación no resulta tan exacta como en el caso de la aptitud climática (apartado 8.2), porque la interpolación de la representación de los parámetros edáficos considerados se ha realizado a partir de un número más limitado de muestras, con una distribución irregular. Las representaciones digitales obtenidas, a partir de las interpolaciones, sólo son aproximaciones a una tendencia general de cada parámetro analizado, hecho que no excluye que dentro de una zona con unas características determinadas puedan coexistir inclusiones con unas condiciones diferentes.

Cataluña posee, en casi un 80% de su superficie suelos aptos para el cultivo de la trufa negra, siendo la acidez ($\text{pH} < 6,5$) la principal limitación edáfica con una extensa zona en los Pirineos y en la provincia de Gerona y una pequeña zona en la Sierra de Prades con un pH inferior a 6,5 (Figura 8.1 y Tabla 8.1). No obstante, algunas zonas de los Pirineos ya no son apropiadas para el cultivo de la trufa negra desde el punto de vista climático (Figura 8.2 y Tabla 8.2).

En la periferia de estas zonas demasiado ácidas, hay una banda cuyo pH está comprendido entre 6,5 y 7,1 donde el cultivo de trufa negra sería viable previo aporte de enmiendas calcáreas al suelo para aumentar el pH . Estas enmiendas deben ser calculadas en función de las características concretas del suelo. Una estimación de partida sería 1 tonelada de una mezcla de cal (CaCO_3) y cal apagada (Ca(OH)_2) por hectárea y décima de pH que se quiera elevar en los 20 cm superficiales del suelo (Hall y Brown, 1989).



Figura 8.1: Aptitud edáfica para el cultivo de la trufa negra.

Tabla 8.1: Superficies en cada clase de aptitud edáfica.

Aptitud edáfica	Superficie (ha)	Superficie (%)
Suelos adecuados	2.544.878	79,26
Suelos con pH entre 6,5 y 7,1	259. 530	8,08
Suelos con pH < 6,5	403.727	12,57
Suelos con textura no adecuada	2.611	0,08
TOTAL	3.210.746	100,00

8.2 Aptitud climática

El clima de Cataluña es adecuado para el cultivo de la trufa negra, a excepción de las zonas más frías y montañosas de los Pirineos y Prepirineos; las zonas secas y cálidas interiores de la plana de Lleida, la plana del Bages y la franja litoral (Figura 8.2).

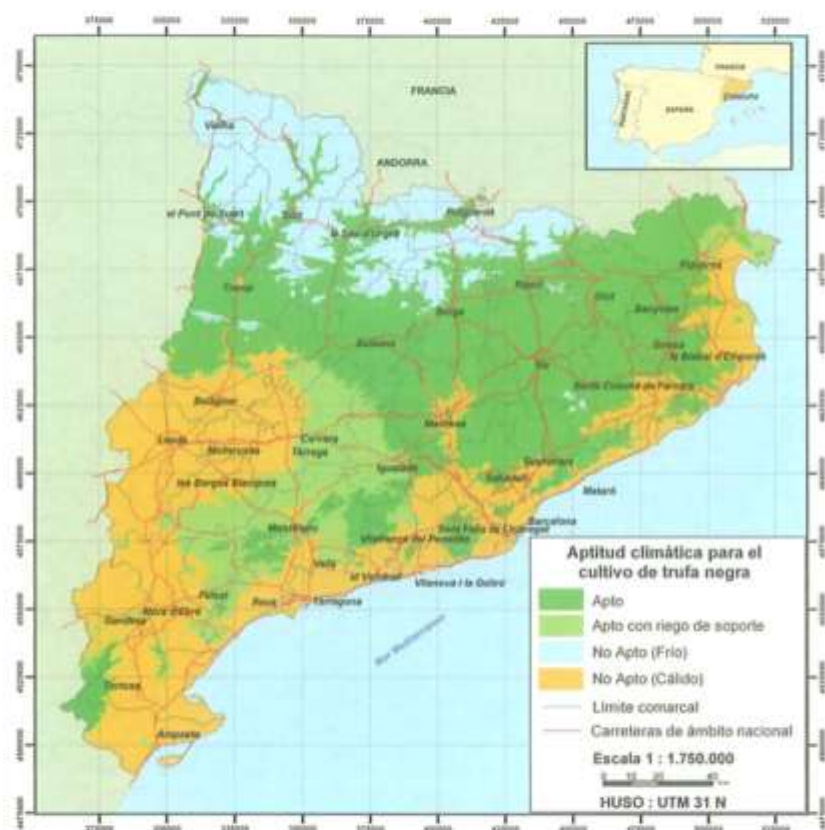


Figura 8.2: Aptitud climática para el cultivo de la trufa negra.

La principal limitación climática para el cultivo de la trufa negra en Cataluña son las temperaturas demasiado elevadas, correspondientes a las zonas con la temperatura media anual superior a $14,8^{\circ}\text{C}$ o la temperatura media del mes de julio superior a $23,5^{\circ}\text{C}$ (Figura 8.3 y 8.4), representando un 32% de la superficie total, siendo la temperatura media de julio la que condiciona y delimita principalmente esta superficie (Tabla 8.2).



Figura 8.3: Aptitud para el cultivo de la trufa negra en función de la temperatura media anual.



Figura 8.4: Aptitud para el cultivo de la trufa negra en función de la temperatura media del mes más cálido.

También se observan como limitación importante las temperaturas demasiado frías, con medias anuales inferiores a los 8,6°C (Figura 8.3) o temperaturas medias del mes más frío inferiores a 1°C (Figura 8.5). Estas zonas frías comprenden casi un 14% del total de la superficie y se trata de las zonas montañosas de los Pirineos y las cumbres más elevadas de los Prepirineos.



Figura 8.5: Aptitud para el cultivo de la trufa negra en función de la temperatura media del mes más frío.

La falta de precipitaciones limita el cultivo de trufa negra principalmente en el interior y sur de Cataluña. Más concretamente, la escasa precipitación media anual desaconsejaría este cultivo en la plana de Lleida y zonas limítrofes, y la precipitación estival excluiría la mayor parte de la mitad sur de Cataluña y una pequeña franja costera del Alto y Bajo Ampurdán (Figuras 8.6 y 8.7).

Hay una región de 379.119 hectáreas, cerca de un 12% de la superficie total donde la única limitación es la falta de precipitación. Esta circunstancia nos ha llevado a definir una zona donde se podría cultivar la trufa negra de forma rentable con un riego de apoyo, correspondiente a aquellas zonas que están dentro de los rangos establecidos en todos los parámetros salvo los de precipitación (Figura 8.2). La mayoría de estas zonas tienen una precipitación en verano inferior a 72 mm y, en algunas, la precipitación media anual desciende por debajo de los 485 mm.



Figura 8.6: Aptitud para el cultivo de la trufa negra en función de la pluviometría media anual.



Figura 8.7: Aptitud para el cultivo de la trufa negra en función de la pluviometría de verano.

Las zonas con temperaturas medias en el mes de julio superiores a los 23,5°C suelen estar también limitadas por precipitaciones en verano inferiores a los 72 mm. Las zonas con una precipitación media anual por debajo de 485 mm también presentan otras limitaciones como la temperatura media del mes más cálido por encima de los 23,5°C y, en menor medida, también con la temperatura media anual demasiado elevada, superior a los 14,8°C.

En las zonas secas, el riego resulta indispensable para hacer viable el cultivo de la trufa negra, ya que la precipitación estival de estas zonas siempre resulta inferior a los mínimos requeridos por la trufa. Sin embargo, al tratarse de aportaciones reducidas, puede resultar factible el planteamiento del riego en zonas consideradas

como zonas no regables, ya que una balsa de recogida de agua de lluvia puede llegar a resultar suficiente para satisfacer la necesidad hídrica de este cultivo. Tampoco hay que desestimar la posibilidad de establecer sistemas de riego en zonas que, en principio, son totalmente apropiadas desde el punto de vista climático, dada la gran irregularidad en la distribución de las precipitaciones de las zonas mediterráneas. El verano de 2003 fue extremadamente seco en gran parte de Cataluña, y el otoño del mismo año, anormalmente lluvioso. Este hecho conlleva que en las estadísticas este año quede reflejado como un año normal o incluso por encima de la media respecto a las precipitaciones, y no obstante, fue un año nefasto para la trufa negra, ya que en los meses de julio y agosto la pluviometría fue muy escasa o nula en muchas zonas productoras. Por este motivo es conveniente prever la posibilidad de riego en futuras plantaciones de trufas para obtener una buena producción, supliendo la necesidad de agua de los periodos críticos mediante un riego de soporte.

Climáticamente tenemos un total de 1.742.449 hectáreas apropiadas para el cultivo de la trufa negra (un 54% de la superficie total), de las que en 379.119 hectáreas (un 12% de la superficie total) resulta indispensable un sistema de riego para hacer viable su producción.

Tabla 8.2: Superficies en cada clase de aptitud climática.

Aptitud climática	Superficie (ha)	Superficie (%)
Apto ¹	1.363.330	42,46
Apto con riego de soporte ²	379.119	11,81
Frío ³	445.850	13,89
Cálido ⁴	1.020.516	31,78
Otros/Sin datos	1.931	0,06
TOTAL	3.210.746	100,00

1: Zonas donde todos los parámetros climáticos se encuentran dentro de los rangos definidos.

2: Zonas donde la precipitación es la única limitación.

3: Zonas donde la temperatura media anual es inferior a 8,6°C o la temperatura media del mes de enero es inferior a 1°C.

4: Zonas donde la temperatura media anual es superior a 14,8°C o la temperatura media del mes de julio es superior a 23,5°C

8.3 Aptitud geogràfica

En este caso, se ha considerado la altitud como principal limitación geogràfica, fijando un rango desde el nivel del mar hasta los 1.800 m. Sin embargo, esta altitud ya se encuentra definida por los rangos de aptitud climàtica, principalmente por las temperaturas; sin encontrar ninguna zona anteriormente definida como apta que se localice por encima de los 1.800 metros de altitud. Así pues, aunque este paràmetro se ha considerado, ha resultado irrelevante en la confección del mapa de aptitud para el cultivo de la trufa negra.

8.4 Aptitud para el cultivo de la trufa negra

Con las combinaciones anteriores se obtiene la representaci3n de las zonas aptas para el cultivo de la trufa negra en Cataluña, así como también zonas donde el cultivo sería viable con diferentes tipos de gesti3n. De esta manera, se han establecido 3 modelos diferentes de gesti3n específica (Tabla 8.3 y Figura 8.8):

Riego de soporte: zonas con una precipitaci3n reducida, donde harà falta el establecimiento de un riego de soporte en periodos de sequia prolongada.

Enmienda calcàrea: zonas con un pH ligeramente àcido para la trufa negra (entre 6.5 y 7,1), donde serà necesaria la aportaci3n de carbonato calcàico para aumentar el pH y situarlo en el rango id3neo para la trufa negra.

Riego de soporte + Enmienda calcàrea: zonas donde harà falta una combinaci3n de riego de soporte y enmiendas calcàreas.

Taula 8.3: Superficies en cada clase de aptitud para el cultivo de la trufa negra en Cataluña.

Aptitud	Superficie (ha)	Superficie (%)
Apto	1.075.858	33,51
Apto con riego de soporte	363.470	11,32
Apto con enmiendas calcàreas	128.382	4,00
Apto con riego de soporte + enmiendas calcàreas	14.953	0,47
No apto	1.628.084	50,71
TOTAL	3.210.746	100,00

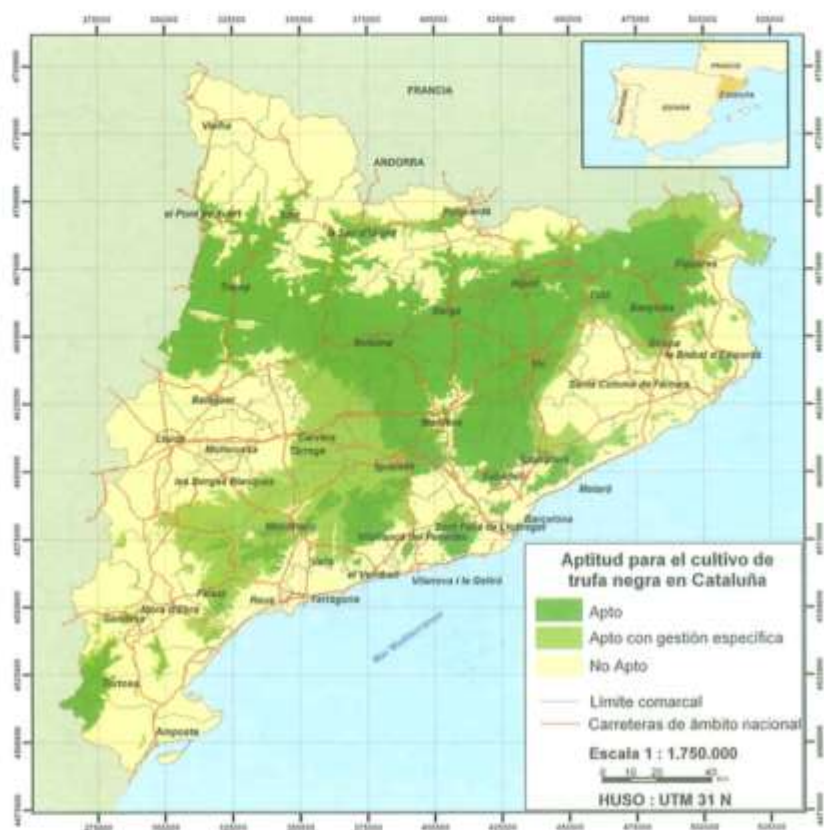


Figura 8.8: Mapa de aptitud para el cultivo de la trufa negra en Cataluña.

La superficie apta para el cultivo de la trufa negra en Cataluña es de 1.582.662 hectáreas, de las cuales 506.804 hectáreas son aptas con gestión específica (un 32% de la superficie apta). En las zonas con gestión específica, la principal limitación para el cultivo de la trufa negra es la falta de precipitación, generalmente en verano que, en muchos casos, no es grave pues la disponibilidad de agua en estas pequeñas cantidades es frecuente por toda Cataluña.

8.5 Usos del suelo en las zonas aptas para el cultivo de la trufa negra

Aunque en casi la mitad de la superficie catalana sea posible cultivar la trufa negra, hay muchas zonas donde los usos del suelo excluyen su cultivo. Para identificar las áreas donde el cultivo de la trufa negra es viable y contemplado por el uso del suelo hemos clasificado las zonas aptas según su uso actual de acuerdo con el mapa digital de usos del suelo de Cataluña (Departamento de Medio Ambiente y Vivienda, 2002).

Tabla 8.4: Superficie de los diferentes usos del suelo totales en Cataluña y en las zonas con potencial para el cultivo de la trufa negra.

Uso del suelo	Superficie de zonas aptas (ha)	Superficie de zonas aptas con gestión específica (ha)	Superficie total de zonas aptas ¹ (ha)	Superficie en Cataluña (ha)
Neveros	0	0	0	174
Infraestructuras viarias	5.051	3.553	8.604	29.308
Urbanizaciones	15.395	5.706	21.101	57.921
Núcleos urbanos	7.489	4.748	12.238	40.816
Zonas industriales y comerciales	3.847	1.951	5.799	22.883
Cultivos herbáceos de secano	195.672	123.286	318.957	479.270
Cultivos herbáceos de regadío	10.083	9.414	19.498	184.940
Frutales de secano	8.155	47.896	56.050	227.030
Frutales de regadío	421	4.857	5.277	75.681
Viña	4.563	22.891	27.454	76.938
Prados supraforestales	0	0	0	69.313

Tabla 8.4:(continuación)

Uso del suelo	Superficie de zonas aptas (ha)	Superficie de zonas aptas con gestión específica (ha)	Superficie total de zonas aptas ¹ (ha)	Superficie en Cataluña (ha)
Maquias y prados	328.582	141.414	469.996	835.811
Bosque esclerófilo	107.255	35.173	142.428	205.092
Bosque de caducifolios	79.083	21.881	100.964	168.232
Bosque de aciculifolios	286.084	70.471	356.555	610.341
Vegetación de zonas húmedas	77	0	77	3.478
Suelo con vegetación escasa o nula	18.215	4.791	23.006	87.502
Zonas quemadas	615	8.136	8.751	11.037
Arenales y playas	0	0	0	3.479
Otros	5.271	637	5.908	21.245
TOTAL	1.075.858	506.804	1.582.663	3.210.490

1: En las superficies totales aptas se incluye las superficies aptas y las aptas con gestión específica.

De un total de 1.582.662 hectáreas: aptas para el cultivo de la trufa negra en Cataluña, hay 435.987 hectáreas con uso potencialmente compatible con el cultivo de la trufa negra (cultivos herbáceos y frutales de secano y de regadío, viña y zonas quemadas). Un 86% de esta superficie (375.007 hectáreas) actualmente se destina a cultivos de cereales y frutales de secano, unos cultivos poco rentables sin la aportación anual de la PAC, y muy vulnerables a las previsibles variaciones de la política de subvenciones. Un 2% (8.751 hectáreas) corresponde en zonas afectadas por incendios forestales donde la trufa negra puede resultar una buena alternativa para rentabilizar la reforestación de estos bosques de baja rentabilidad. Los cultivos de secano y las zonas quemadas suman las 383.758 hectáreas que se podrían beneficiar del cultivo de la trufa negra en mayor medida mediante árboles inoculados.

entre los 100 y los 1.500 m, la mayoría las sitúan entre los 150 y los 400 m (Hernández, 1994; Manozzi, 1991; Olivier *et al.*, 1996; Reyna, 2000). En España, se encuentran entre 600 y 1.500 m, con un óptimo altitudinal entre 900 y 1.200 m pero con algunas trufas puntuales hasta 1.800 m en Granada (Reyna, 2000) (Tabla 7.16).

Tabla 7.16: Valores mínimos y máximos altitudinales.

Altitud (m)			
Mínima	Máxima	Autor	Tipos de cita
330	650	Montacchini <i>et al.</i> (1977)	1 ¹
300	1.200	Bencivenga y Granetti (1988)	1 ²
320	1.075	Bencivenga <i>et al.</i> (1990)	1 ³
400	1.000	Raglione <i>et al.</i> (1992)	1
980	1.360	Hernández (1994)	1 ⁴
0	1.500	Olivier <i>et al.</i> (1996)	1 ⁵
590	1.800	Reyna (2000)	1 ⁶
1.200	1.600	García-Montero <i>et al.</i> (2001)	1 ⁷
400	1.100	Raglione <i>et al.</i> (2001)	1
100	1.500	Sourzat (2002)	1
700	1.400	Recio y Guerrero (1972)	3
150	1.000	Delmas y Poitou (1974)	3
150	1.000	Grete y Delmas (1974)	3 ⁸
100	1.000	Delmas (1983)	3
700	1.500	Aguilar (1982)	3 ⁹
300	1.500	Fortuny y Estrada (1986)	3
300	1.500	Estrada (1987)	3
	1.000	Poitou (1988)	3
100	1.000	Hall y Brown (1989)	3 ¹⁰
300	1.500	Estrada y Alcántara (1990)	3
100	1.000	Verlhac <i>et al.</i> (1990)	3
	1.000	López (1990)	3
100	1.500	Manozzi (1991)	3
100	1.000	Sáez (1991)	3
100	1.400	Reyna (1992)	3
900	1.200	López y Torres (1993)	3 ¹¹
100	>1.000	Sáez y De Miguel (1995)	3

Altitud (m)			
Mínima	Máxima	Autor	Típos de cita
120	1.000	Garland (1995)	3
100	>1.000	Sourzat (1997)	3 ¹²
0	1.500	Palazón <i>et al.</i> (2000a)	3
0	1.500	Palazón <i>et al.</i> (2000b)	3
	1.200	RiOUSset <i>et al.</i> (2001)	3
500	1.500	Casas (2002)	3

1: Estudio de 4 estaciones con trufas con altas producciones de trufa negra en Italia central, en trufas silvestres o plantaciones. La estación de la cota de 330 m se encuentra situada en una pendiente con exposición WNW.

2: Rango establecido a partir de 145 trufas de las regiones de Abruzzo, Emilia, Lazio, Marche y Umbria de Italia.

3: Rango establecido a partir de 144 trufas de las regiones de Abruzzo, Lazio y Umbria en Italia central.

4: En la provincia de Soria.

5: En los Alpes Marítimos encontramos trufas muy cerca del nivel del mar. El límite superior puede ser un factor limitante, cosa que no se puede decir del límite inferior.

6: Cita que la distribución altitudinal de las trufas en la Comunidad Valenciana oscilan entre 590 y 1.480 m.

7: En la comarca del Alto Tajo (Guadalajara y Cuenca).

8: Pudiendo superar los 1.000 m si las condiciones topográficas son favorables.

9: Menciona que en Francia se encuentran trufas entre los 150 m y los 400 m.

10: Referencia a las trufas europeas.

11: Referencia a las trufas de España.

12: Referencia a las trufas de Francia y España.

La altitud también puede ser un factor limitante, más bien por su límite superior que por su límite inferior, que casi llega al nivel del mar. Así pues, siguiendo el mismo criterio que en los parámetros anteriores podemos definir un rango altitudinal comprendido entre el nivel del mar y los 1.800 metros.

7.1.3.3 La orientación

La influencia de la orientación depende principalmente de la latitud y de la exposición a los vientos dominantes (Olivier *et al.*, 1996). Una orientación a la solana evita la exposición a los vientos fríos del invierno y una orientación a la umbria puede garantizar una protección de los vientos secos del sur. La mayoría de trufas tienen exposición sur y raramente norte (Fortuny y Estrada, 1986; Estrada y Alcántara,

1990; Manozzi, 1991; Reyna, 1992; Sáez y De Miguel, 1995; Garland, 1996; Olivier *et al.*, 1996), aunque cuando nos dirigimos a latitudes sur, hay una tendencia a las exposiciones más umbrías (Hernández, 1994). Bencivenga *et al.* (1990) encuentra que las exposiciones oeste (19,4%), suroeste (17,4%) y noroeste (16,0%) tienen más presencia de truferas, con una amplia difusión en las zonas expuestas en el este (14,6%), en el sur (13,2%) y en el sureste (10,4%), y en menor presencia, en orientaciones noreste (6,2%) y norte (2,8%). Sin embargo, las mejores truferas se orientan hacia el mediodía (Reyna, 1992; Reyna, 2000) (Tabla 7.17).

Tabla 7.17: Orientaciones favorables para *Tuber melanosporum*.

Orientación									Autores	Tipo cita
S	S-E	S-O	E	O	N ¹	N-E	N-O			
	O		O	O			O	O	Montacchini <i>et al.</i> (1977)	1 ²
				O					Bencivenga y Granetti (1988)	1 ³
O	O	O	O	O	O	O	O	O	Bencivenga <i>et al.</i> (1990)	1 ⁴
					O				Hernández (1994)	1
O	O	O	O		O				Olivier <i>et al.</i> (1996)	1
O									Reyna (2000)	1 ⁵
O									Fortuny y Estrada (1986)	3
	O				O				Hall y Brown (1989)	3
O	O								Estrada y Alcántara (1990)	3
O	O	O							Verlhac <i>et al.</i> (1990)	3
O				O					Manozzi (1991)	3
	O	O			O				Pacioni (1992)	3

Orientación									
S	S-E	S-O	E	O	N ¹	N-E	N-O	Autores	Tipo cita
								Reyna (1992)	3
				O				Sáez y De Miguel (1995)	3
	O	O						Garland (1996)	3
	O	O						Sourzat (1997)	3
	O	O			O			Sourzat (2002)	3 ⁶
	O	O						Palazón <i>et al.</i> (2000a)	3
	O	O						Palazón <i>et al.</i> (2000b)	3
	O	O						Sourzat (2003)	3

1: Al dirigirse a latitudes más al sur.

2: Estudio de 4 estaciones con trufas con altas producciones de trufa negra en Italia central, sea en trufas silvestres o implantadas en parcelas experimentales.

3: Establecido a partir de 145 trufas de las regiones de Abruzzo, Emilia, Lazio, Marche y Umbria de Italia, situadas mayoritariamente en orientaciones oeste.

4: Rango establecido a partir de 144 trufas de las regiones de Abruzzo, Lazio y Umbria en Italia central.

5: En la provincia de Valencia las trufas tienden a una exposición norte, las otras exposiciones son las exposiciones consideradas como buenas en la región francesa.

6: Sin excluir el resto de orientaciones.

La orientación, en nuestro caso, no la consideraremos especialmente relevante, ya que Cataluña está en una región intermedia entre Valencia donde gran parte de las trufas se sitúan en una orientación norte (Reyna, 2000) y Francia, donde tienden a orientarse hacia en el sur (Sourzat, 1997; Olivier *et al.*, 1996). En Cataluña, al encontrarnos en una zona de transición consideraremos aptas todas las orientaciones, si bien habrá una preferencia por una exposición sur en cotas elevadas.

7.1.3.4 La pendiente

No se acostumbra a encontrar trufas en zonas completamente planas, donde el drenaje del suelo no es bueno y hay riesgo de creación de charcos (Delmas y Poitou, 1974; Reyna, 1992). En cambio, en pendientes pronunciadas, además de

la dificultad de mecanización, se favorecen los procesos de erosión (Poitou, 1988; Sáez, 1991). Las truferas normalmente se sitúan en pendientes moderadas, tendiendo a suaves (<15 %) (Reyna, 2000), que eviten la formación de charcos, que favorecen la pudrición de las truferas (Tabla 7.18). No obstante, se pueden encontrar zonas truferas en terrenos fuertemente inclinados, con pendientes medias del 34% (Bencivenga y Granetti, 1988) o entre el 20 y el 40% (Montacchini *et al.*, 1977). En un estudio de 144 truferas en Italia la inclinación observada varió entre el 0 y el 84%, con un valor medio del 40% (Bencivenga *et al.*, 1990).

Tabla 7.18: Valores máximos de pendiente sin problemas de erosión ni dificultades de mecanización recomendados.

Pendiente	Autor	Tipo de cita	Procedencia de la cita
15%	Delmas y Poitou (1974)	1	
15%	Hernández (1994)	1	
15%	Reyna (2000)	2	Hernández (1994)
13%	Poitou (1988)	3	
5°	Hall y Brown (1989)	3	
10%	López (1990)	3	
12%	Sáez (1991)	3	
15%	Pacioni (1992)	3	
10%	Reyna (1992)	3	
10%	Garland (1996)	3	
10%	Palacios (2001)	3	

Este parámetro no se ha considerado relevante porque la topografía catalana es abrupta y existen numerosas zonas abancaladas que, en principio, serían aptas, pero que no se encuentran reflejadas en la cartografía, y sólo a escalas muy detalladas se puede observar el abancalamiento de la pendiente de la montaña.

7.1.4 Parámetros geológicos

Los suelos aptos para el desarrollo de las trufas suelen derivar de formaciones geológicas calcáreas de diversas épocas. Por este motivo, en los suelos truferos puede resultar interesante tener en cuenta la naturaleza de la roca madre.

7.1.4.1 La roca madre

La mayoría de autores sitúan la naturaleza de la roca madre en sedimentos calcáreos de la Era Secundaria, de los Periodos Jurásico (con preferencia por la época del Jurásico Superior); Cretácico y Triásico; de la Era Terciaria, Periodos Oligoceno y Eoceno, con referencias, también, al Mioceno y Plioceno; e incluso sustratos aluviales calcáreos de la Era Cuaternaria. En la tabla 7.19 se muestran las referencias de los diferentes autores sobre la naturaleza de la roca madre, clasificadas por Era y Periodo. Algunos autores no distinguen los Periodos y sólo mencionan las Eras. Estos casos se pueden diferenciar en la tabla por un signo en que abarca toda una Era.

Tabla 7.19: Naturaleza de la roca madre. El símbolo "=" o hace referencia a un periodo en concreto, mientras que el símbolo "="o hace referencia a toda la era.

Secundaria			Terciaria				Cuaternaria	Autor	Tipo de cita
Cretácico	Jurásico	Triásico	Plioceno	Mioceno	Oligoceno	Eoceno			
-	-			=			=	Delmas y Poitou (1974)	1
-	-			=			=	Grente y Delmas (1974)	1
	=			=				Hernández (1994)	1
-	-				-	-	=	Olivier <i>et al.</i> (1996)	1
-	-				-	-		Raglione <i>et al.</i> (2001)	1
-	-	-						Sáez y De Miguel (1995)	2 ¹

Tabla 7.19: (continuación)

Secundaria			Terciaria				Cuaternaria	Autor	Tipo de cita
Cretácico	Jurásico	Triásico	Plioceno	Mioceno	Oligoceno	Eoceno			
-							Poitou (1988)	3	
-	-	-					Estrada y Alcántara (1990)	3	
-	-				=		Verlhac et al. (1990)	3	
-	-	-					Manozzi (1991)	3 ²	
-	-	-					Pacioni (1992)	3	
	-	-			=		López y Torres (1993)	3 ³	
-	-				=		Sourzat (1997)	3 ⁴	
-	-		-	-			Reyna (2000)	3	
	-						Riousset et al. (2001)	3	
-	-						García-Montero et al. (2002)	3	
=	Era								
-	Período								

1: A partir del Mapa Geológico de Navarra 1:200.000.

2: Se refiere a la zona italiana de Norcia.

3: A partir de los análisis de las zonas truferas más importantes de España.

4: Usa como referencia los suelos del Departamento francés de Lot.

7.2 Priorización de los parámetros

Una vez determinados los parámetros a tener en cuenta, se ha realizado una priorización de éstos para la realización del mapa de aptitud para el cultivo de trufa negra.

7.2.1 Parámetros edáficos

Respecto a los parámetros edáficos, resulta indispensable un pH ligeramente básico, dato asociado a un suelo calcáreo, y también resulta importante un cierto grado de pedregosidad combinado con una textura equilibrada y una composición equilibrada de los nutrientes del suelo.

Para la realización del mapa han sido seleccionados el pH y la textura. El calcio total (CaCO_3), a pesar de ser importante para el desarrollo de la trufa, ha sido excluido porque debido al rango obtenido, no resulta ser discriminante para los suelos con pH comprendidos entre 7,1 y 8,85. Otros parámetros relevantes, como la pedregosidad, la materia orgánica y la relación C/N han sido excluidos por su distribución, que es muy variable, y por la falta de datos en la escala de este estudio.

Los macronutrientes (K, N, P) no resulta necesario considerarlos ya que los suelos normalmente tienen cantidades suficientes de estos nutrientes para hacer viable una plantación. Aun así, es importante realizar un análisis de suelos en el lugar donde se quiera localizar la plantación, para poder detectar posibles desequilibrios de éstos y otros nutrientes, normalmente relacionados con la fertilización de terrenos agrícolas.

7.2.2 Parámetros climáticos

Respecto a la climatología, es necesario tener en cuenta la precipitación media anual, ya que es necesario un mínimo de precipitación para garantizar el ciclo de la trufa. Además, casi todos los autores consultados citan la importancia de las precipitaciones en los meses de verano, precipitaciones que garantizan la buena evolución de la trufa, y que minimizan la necesidad de riego. Según la mayoría de autores, también resultan parámetros relevantes la temperatura media anual, la temperatura media del mes más frío, evitando los inviernos extremos que puedan estropear la trufa y la temperatura media del mes más cálido, evitando también las temperaturas extremadamente altas.

7.2.3 Parámetros geográficos

Aunque la latitud es uno de los parámetros geográficos limitantes, en el caso de Cataluña no deberá tenerse en cuenta, ya que se encuentra dentro del rango natural de distribución de *T. melanosporum*. El parámetro geográfico más relevante y también limitante para el buen desarrollo de la trufa será la altitud, un parámetro a considerar y que, en gran parte, ya viene determinado por las temperaturas. La orientación dependerá de la latitud en que se encuentre y de la exposición a los vientos (visto en el apartado 7.1.3.3). Una interacción importante es la que presentan la altitud y la orientación, ya que a mayores altitudes la trufa tiende a exposiciones más hacia el sur, mientras que en alturas más bajas la orientación no es un parámetro tan relevante. Por lo tanto, la orientación se considera un factor a considerar en cada explotación en concreto y no se ha considerado para la elaboración del mapa. Lo mismo sucede con la pendiente, siendo recomendable cierta pendiente sin dificultar la mecanización de la explotación. Sin embargo, este criterio ha sido excluido de la elaboración del mapa porque la cartografía disponible no contempla los bancales.

7.2.4 Parámetros geológicos

La roca madre no se ha considerado en la realización del mapa, ya que aparte de poder resultar redundante con alguno de los parámetros edáficos considerados, no se dispone de la totalidad de la cartografía catalana, existiendo zonas sin cartografiar con un fuerte potencial para la trufa negra. Además, gran parte del territorio catalán está dentro del rango establecido en este parámetro, excepto las colas altas de los Pirineos y algunas zonas de la provincia de Gerona, y algunas zonas puntuales, como las montañas de Prades.

7.3 Selección de los parámetros

Así pues, hemos seleccionado para la realización del mapa de zonas adecuadas para el cultivo de la trufa negra el pH, la textura, la precipitación (media anual y de los meses de verano) y la temperatura (media anual, media del mes más frío y media del mes más cálido). Esta selección no contempla la interacción entre parámetros. Se puede dar el caso de que valores al límite del rango de un parámetro se vean compensados por valores adecuados de otros parámetros: Por ejemplo, un suelo muy arenoso con precipitaciones adecuadas sería apto para el cultivo, pero no lo sería con precipitaciones bajas.



9

El cambio climático y el cultivo de la trufa negra

En los últimos años, se ha puesto de manifiesto que las actividades antrópicas están produciendo cambios en los sistemas que determinan el clima de la Tierra. Así pues, para recopilar el estado de nuestros conocimientos en las causas del cambio climático, sus efectos potenciales, y las opciones de respuesta se creó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC en sus siglas en inglés) de forma conjunta por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). A partir de su Tercer Informe de Evaluación, el IPCC corrobora que un aumento de los gases con efecto invernadero provoca de forma indirecta un aumento de la temperatura media mundial, y estima que la temperatura media mundial de la superficie de la Tierra ha aumentado unos $0,6 \pm 0,2$ °C durante el siglo XX (Watson *et al.*, 2001). Este aumento de la temperatura provoca una subida del nivel del mar, un adelanto de la floración y de la época de cría de los insectos, un desplazamiento del área de distribución de plantas y animales hacia latitudes más altas y un gran abanico de cambios más, y podría afectar a la distribución de la trufa negra en Cataluña.

El cultivo de la trufa también se verá afectado por estos acontecimientos, y algunas áreas que actualmente son aptas para el cultivo de la trufa dejarán de serlo, abriéndose a este cultivo otras áreas nuevas. Por este motivo, utilizando los escenarios del IPCC hemos calculado una proyección de las áreas adecuadas para cultivar la trufa en el año 2040, cuando acabe aproximadamente el ciclo teórico de cultivo (35 años) de las plantaciones establecidas el año de publicación de este trabajo.

Las emisiones futuras de gases de efecto invernadero son el producto de complejos sistemas dinámicos determinados por el crecimiento demográfico, el desarrollo económico o el cambio tecnológico. Su evolución futura resulta muy incierta. Para solucionar esta incertidumbre, el IPCC creó el año 1992 un conjunto de escenarios que son imágenes alternativas de lo que podría pasar en un futuro a partir de diferentes composiciones de las fuerzas anteriormente mencionadas. Posteriormente, en el año 1996, el IPCC desarrolló un conjunto nuevo de escenarios debido a los cambios en los conocimientos sobre las emisiones futuras y el cambio climático (Nakicenovic *et al.*, 2000). Para la estimación de las zonas aptas para el cultivo de la trufa negra en un futuro, se ha utilizado la estimación media del aumento de temperatura de todos los escenarios del Informe Especial del IPCC (Watson *et al.*, 2001), ante la imposibilidad de escoger un escenario por encima de los otros dada la incertidumbre que todavía existe. El aumento de temperatura estimado para el 2040 es de 1,06 °C. Referente a la pluviometría se han tenido en cuenta las predicciones específicas para la Península Ibérica (Manuel de Castro *et al.*, 2005). Para nuestra proyección hemos utilizado la media entre los escenarios de emisiones A2 y B2. La disminución de la pluviometría en Cataluña para el año 2040 se ha estimado en 0,375 mm/día para la primavera y verano, y no se prevén variaciones en otoño e invierno. Con este aumento de la temperatura el área potencial de la trufa se ve reducida debido a que son más las zonas que dejan de ser adecuadas porque se convierten en excesivamente cálidas que las que dejan de ser demasiado frías y se convierten en adecuadas (Figura 9.1).



Figura 9.1: Mapa de aptitud climática estimado para el cultivo de la trufa negra en el año 2040.

Aun así, una parte importante de Cataluña continuará siendo apta para este cultivo, habiéndose desplazado el área de distribución ligeramente hacia el norte, abandonando las planas cálidas del centro de Cataluña (Tabla 9.1 y Figura 9.2).

Tabla 9.1: Superficies en cada clase de aptitud climática para el cultivo de la trufa negra en Cataluña en el año 2040.

Aptitud climática	Superficie (ha)	Superficie (%)
Apto ¹	928.669	28,92
Apto con riego de soporte ²	324.078	10,09
Frío ³	330.010	10,28
Cálido ⁴	1.626.059	50,64
Otros/Sin datos	1.931	0,06
TOTAL	3.210.746	100,00

1: Zonas donde todos los parámetros climáticos se encuentran dentro de los rangos definidos.

2: Zonas donde la precipitación es la única limitación.

3: Zonas donde la temperatura media anual es inferior a 8,6°C o la temperatura media del mes de enero es inferior a 1°C.

4: Zonas donde la temperatura media anual es superior a 14,8°C o la temperatura media del mes de julio es superior a 23,5°C

Así, al observar la tabla 9.1 y, comparándola con la tabla 8.2, se observa que la disminución de superficie apta climáticamente para el cultivo de la trufa negra es de aproximadamente un 13% de la superficie catalana, pasando del 42% actual al 29% previsto para el 2040. La superficie apta climáticamente con riego de soporte prácticamente se mantiene igual, reduciéndose un 2% aproximadamente, pasando del 12% actual de la superficie al 10% previsto para el año 2040. Esta reducción de la superficie apta, y apta con riego de soporte, vendría a ser el aumento que ha experimentado la limitación englobada en el concepto cálido, que ha visto aumentada su superficie en casi un 19%. No obstante, se produce un aumento de la superficie apta hacia las zonas altas del Prepirineo y las laderas medias del Pirineo, aunque no se ven reflejadas como aptas debido a su acidez. De todas maneras, la superficie prevista como apta en Cataluña para el cultivo de la trufa negra el año 2040 continúa siendo bastante elevada, manteniéndose aproximadamente en torno al 35% del territorio (Figura 9.2 y Tabla 9.2).

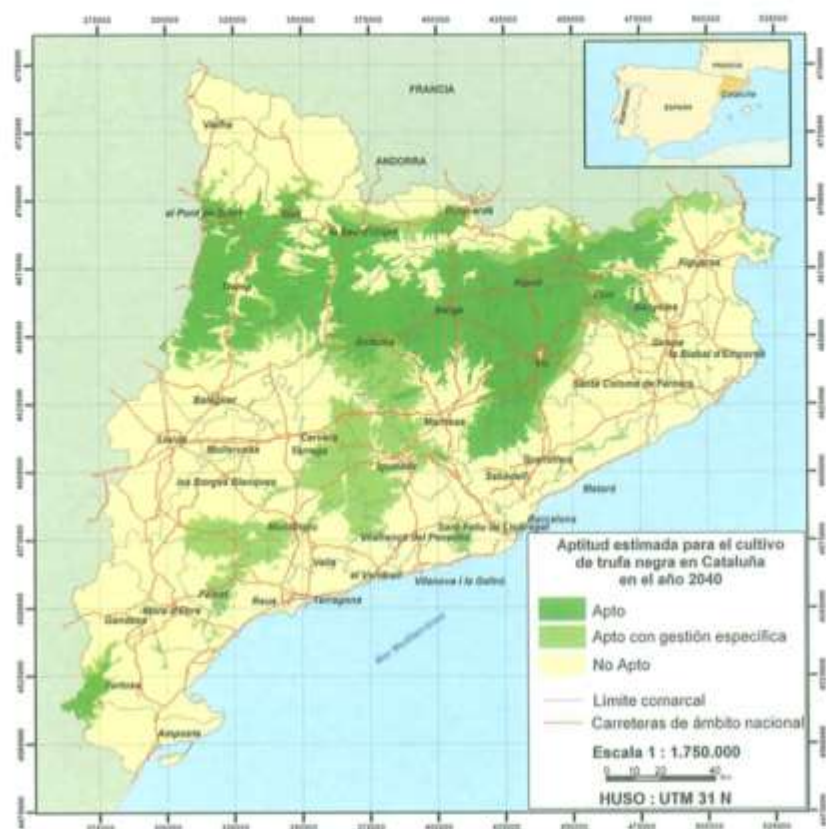


Figura 9.2: Mapa de aptitud estimado para el cultivo de la trufa negra en Cataluña en el año 2040.

Tabla 9.2: Superficies en cada clase de aptitud para el cultivo de la trufa negra en Cataluña en el año 2040.

Aptitud y gestión específica	Superficie (ha)	Superficie (%)
Apto	713.795	22,23
Apto con riego de soporte	306.533	9,55
Apto con enmiendas calcáreas	95.078	2,96
Apto con riego de soporte + enmiendas calcáreas	11.353	0,35
No apto	2.083.988	64,91
TOTAL	3.210.746	100,00



10

Consideraciones finales

Esta estimación del potencial del cultivo de la trufa negra en Cataluña constituye una herramienta de planificación de ámbito regional sobre la utilización de los terrenos agrícolas y zonas quemadas con una producción poco rentable. Expresa el potencial actual de la trufa y las principales limitaciones para su producción en Cataluña.

Para la elaboración de este estudio ha sido necesaria una recopilación de la cartografía disponible, climática y geográfica, y de datos edáficos georeferenciados mediante los que se ha realizado una representación cartográfica de la tendencia general de los parámetros relevantes.

Del análisis de la información se desprende que una gran parte del territorio catalán presenta las condiciones apropiadas para el cultivo de la trufa negra. No obstante, la gran superficie calificada como apropiada sin la necesidad de riego de soporte, no se tiene que descartar la posibilidad de implementarlo, dada la existencia de periodos de sequía, causada por la irregularidad en las precipitaciones en las zonas mediterráneas.

La principal limitación encontrada es la temperatura, principalmente las temperaturas excesivamente cálidas y, en menor medida, las temperaturas demasiado frías.

La otra limitación climática es la precipitación, aunque en un principio se puede solucionar con riegos de soporte. La principal limitación edáfica es el pH, ligeramente bajo en el norte y el este del territorio. En una parte de estas zonas, se puede establecer un cultivo rentable de la trufa negra mediante la aportación de enmiendas de carbonato cálcico para hacer aumentar el pH.

Estas limitaciones podrían no ser absolutas, dado que están basadas en observaciones y no en experimentos y podría darse el caso de que el cultivo de la trufa negra fuera también viable fuera de estos límites.

La combinación del mapa de aptitud para el cultivo de la trufa negra con el mapa de usos del suelo pone de relieve las zonas de más interés para la implantación de este cultivo.

El presente libro sólo pretende presentar una aproximación de las posibilidades de desarrollar un sector con mucho potencial como el del cultivo de la trufa negra en Cataluña. Por este motivo, por la escala de trabajo y por la gran variabilidad de alguno de los parámetros analizados, no se puede descartar que dentro de zonas idóneas se puedan localizar inclusiones de zonas no apropiadas para la trufa negra; y de igual modo para las zonas no apropiadas.

El progresivo calentamiento del planeta reducirá las zonas aptas para el cultivo de la trufa negra en las zonas más cálidas de Cataluña, pero a la mitad de este siglo, todavía habrá más de un millón de hectáreas donde la trufa negra se podrá cultivar.

El área apta para este cultivo comprende una parte muy importante del territorio catalán, localizada principalmente en la Cataluña Central y Prepirineo. Éstas son zonas con una clara disminución de la población y con una regresión del peso de la agricultura. Un ingreso adicional proporcionado por el cultivo de *T. melanosporum* diversificaría la economía rural de estas zonas con una actividad compatible y complementaria con el resto de actividades agrarias aportando beneficios económicos, sociales y ambientales.



11

Bibliografía



- Aguilar, A., 1982. Explotación de trufas. Hojas divulgadoras, 16/82. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 28 p.
- Albert, J.F. *et al.*, 1985. Història Natural dels Països Catalans. Vol. 3: Introducció al coneixement de les aigües. Recursos geològics i sòl, Fundació Enciclopèdia Catalana, Barcelona.
- Allue, J.L., 1990. Atlas fitoclimático de España: taxonomías, MAPA, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid.
- Anderson, S., 2001. An Evaluation of Spatial Interpolation Methods on Air Temperature in Phoenix, AZ. Department of Geography, Arizona State University, EUA.
- Aran, M., Porta, J., Villar, J.M., 1984. Estudio de suelos de la Cerdanya. Evaluación para riego. Lleida.
- Aran, M., 1987. Catàleg de sòls de la circumscripció de Barcelona. Terme municipal de Sant Boi de Llobregat, Diputació de Barcelona, Barcelona.
- Arévalo, A., 1991. Atlas Nacional de España. Sección II, Grupo 7, Edafología Instituto Geográfico Nacional, Madrid.
- Avellà, J., 1998. Caracterització de sediments en la conca del Barranc del Solà, Municipi de Tremp (Pallars Jussà). Trabajo Práctico Tutorado. Tutorado por: Olarieta, J.R., Universidad de Lleida, ETSEA, Lleida.
- Babot, D., 1987. Aprovechamiento en común de 820 has con orientación productiva forrajera para ganado vacuno en Areo (Lérida). Proyecto Final de Carrera. Tutorado por: Sanz, E., Universidad de Lleida, ETSEA, Lleida.
- Badia, D., Martí, C., 1991. Avaluació dels sòls de l'Alta Garrotxa. Dirigit per Alcañiz, J.M. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals. Bellaterra, Barcelona.
- Barceló, J., Nicolás, G., Sabater, B., Sánchez, R., 1992. Fisiología vegetal. Ediciones Pirámide, S.A., Madrid.
- Bardet, M.C., 1995. Truffles - growing conditions. Infos Paris, 116, 41-43.
- Barilli, B.P., Valerio, V., 2000. L'attitudine alla tartuficoltura di alcuni suoli della Val Bormida (SV). Monti e Boschi 51 (5), 50-56.

- Bech, J., Vallejo, I., 1984. Estudio de suelos fersialíticos de la Dep. Central Catalana. II Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Madrid.
- Bech, J., Garrigó, J., Torrentó, J.R., 1988. Natixeralfs en el Baix Segre. En: Edafologia i Agrobiologia. Vol: XLVII. Núm: 3-4, Madrid, p. 623-643.
- Bech, J., Torrentó, J.R., Garrigó, J., 1988b. Características analíticas y taxonómicas de suelos no irrigados del Baix Segre. En: II Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sevilla.
- Begon, M., Harper, J.L., Townsend, C.R., 1999. Ecología. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.
- Bencivenga, M., 1986. Le tartufaie in alcuni rimoschimenti dell'Alta Valle del Liri. Annali della Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Perugia, 40: 231-258.
- Bencivenga, M., 1999. Experiencias italianas en truficultura: problemática, perspectivas y expectativas. En: Jornadas internacionales sobre truficultura en Aragón. Ed. Gobierno de Aragón, Zaragoza, p. 35-47.
- Bencivenga, M., 2001. La tartuficoltura in Italia: problematiche e prospettive. En: Actes du Ve Congrès International, Science et culture de la truffe, 4-6 març 1999, Aix-en-Provence, Francia, p. 127-128.
- Bencivenga, M., Di Massimo, G., 2000. Risultati produttivi di tartufaie coltivate di *Tuber melanosporum* Vittad. in Umbria. Micologia Italiana 2, 38-44.
- Bencivenga, M., Granetti, B., 1988. Ricerca comparativa sulle esigenze ecologiche di *Tuber magnatum* Pico e *Tuber melanosporum* Vitt. dell'Italia centrale. Annali della Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Perugia, 42: 861-872.
- Bencivenga, M., Granetti, B., 1989. Indagine preliminare sul contenuto in macro e microelementi del terreno e dei carpofori di *Tuber melanosporum* Vitt. Micologia Italiana 3, 25-30.
- Bencivenga, M., Granetti, B., 1990. Valutazione biometrica delle micorrize di *Ostrya carpinitolia* Scop. prodotte da tartufi di varie specie. En: Atti del Secondo Congresso Internazionale sul Tartufo, 24-27 novembre 1988, Spoleto, Italia, p. 265-270.
- Bencivenga, M., Calandra, R., Granetti, B., 1990. Ricerche sui terreni e sulla flora delle tartufaie naturali di *Tuber melanosporum* Vitt. dell'Italia Centrale. En: Atti del

- Secondo Congresso Internazionale sul Tartufo, 24-27 novembre 1988, Spoleto, Italia, p. 337-374
- Bencivenga, M., Donnini, D., Tanfulli, M., Guiducci, M., 1995. Tecnica di campionamento delle radici e degli apici radicali per la valutazione delle piante micorrizate. *Micologia Italiana* 2, 35-47.
- Bertranpetit, J., et al., 1993. *Biosfera. Planeta viu.* Vol. 1, Fundació Enciclopèdia Catalana, Barcelona.
- Bianco, F., 1995. Evaluación de la estabilidad de los agregados en relación con los procesos erosivos. Aplicación a suelos del Alt Penedès. Universidad de Lleida, ETSEA, Lleida.
- Boixadera, J., 1979. Estudio sobre la implantación de una cooperativa agrícola en zona de monocultivo cerealista situada en Tudela de Segre. Lleida.
- Boixadera, J., 1983. Proyecto de un área modelo de conservación de suelos en Piera-Masquefa. Lleida.
- Boixadera, J., Fillat, F., FitzPatrick, E.A., Olarieta, J.R., Poch, J.M., Soriano, J.M., 2002. Estudi de camp de sòls de la Cerdanya. Lleida.
- Boixadera, J., Fillat, F., Ibañez, J., Roca, E., Poch, R.M., Zinck, A., 1999. Estudi de camp de sòls de la Cerdanya. 1994, 1995, 1996, 1998, 1999, Lleida.
- Bonet, J.A. y Colinas, C., 2001. Cultivo de *Tuber melanosporum* Vitt. Condiciones y Rentabilidad. *Forestalia* 5, 38-45.
- Bonet, J.A.; Fischer, C., Colinas, C., 2006. Cultivation of black truffle to promote reforestation and land-use stability. *Agronom. Sustain. Deve.* 26: 69-76.
- Bragato, B., Lulli, L., Castrignano, A., Bencivenga, M., 2001. Regionalization analysis of some soil factors related to *Tuber melanosporum* production in an experimental truffle bed. En: *Actes du Ve Congrès International, Science et culture de la truffe*, 4-6 març 1999, Aix-en-Provence, França, p. 5253-5256.
- Bragato, G., 1997. Modifications to soil texture and soil organic matter induced by black truffle (*Tuber melanosporum* Vitt.). Modificazioni indotte dal tartufo nero pregiato (*Tuber melanosporum* Vitt.) sulla struttura e sulla sostanza organica del suolo. *Monti e Boschi* 48 (1), 23-27.

Buckman, H.Y., Brady, N., 1991. Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial LIMUSA, Barcelona.

Callot, G., Jaillard, B., 1996. Incidence des caractéristiques structurales du sous-sol sur l'entrée en production de *Tuber melanosporum* et d'autres champignons mycorrhiziens. Agronomie 16, 405 – 419.

Callot, G., 1999. La truffe, la terre, la vie. Ed. INRA, Paris. Camarasa, J.M., et al., 1993. Biosfera. Mediterrània. Vol. 5. Fundació Enciclopèdia Catalana. Barcelona.

Canellas, R., 2003. Caracterització de les propietats hidrològiques d'alguns sòls de la finca Torre Marimón (Caldas de Montbui). Proyecto Final de Carrera. Tutorado por: Ascaso, E., Universitat de Lleida, ETSEA, Lleida.

Carbajo, P., 1999. Gestión de una gran plantación de trufa. En: Colinas y Fischer (Eds.), Cultivo de Hongos Comestibles micorrizicos. Publ. Universidad de Lleida, Lleida.

Carbajo, P., 2000. Plantación de Arotz – Catesa. En: Jornadas de Truficultura. Viver, El Toro (Castellón). Reyna y Folch (coord.).

Carrillo, G., 1998. Cartografia i Avaluació de Sòls de l'Àrea Regable de Les Garrigues Sud: Bovera-La Granadella. Proyecto Final de Carrera. Tutorado por: Boixadera, J. Universitat de Lleida, ETSEA, Lleida.

Casas, M., 1999. Desarrollo y comercialización de la planta inoculada con trufa. En: Colinas y Fischer (Eds.), Cultivo de Hongos Comestibles micorrizicos. Publ. Universidad de Lleida, Lleida.

Casas, M., 2002. La truficultura, una interesante alternativa agroforestal. Vida Rural 143, 56-58.

Castrignano, A., Goovaerts, P., Lulli, L., Bragato, G., 2000. A geostatistical approach to estimate probability of occurrence of *Tuber melanosporum* in relation to some soil properties. Geoderma 98, 95-113.

Castro, F.X., 1996a. Elaboració de mapes de sòls a partir d'informació bàsica del terreny i aproximació al cas de la comarca de la Selva. Proyecto Final de Carrera. Universidad de Lleida, ETSEA, Lleida.

Castro, F.X., 1996b. Sòls forestals de La Selva 1994-1996. Lleida.

Castro, M., Martín-Vide, J., Alonso, S., 2005. El clima de España: pasado, presente y escenarios del clima para el siglo XXI. En: Moreno, J.M. (Coord.); Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. 1-64, Ministerio de Medio Ambiente, España.

Chevalier, G. 1998. The truffle cultivation in France: assesment of the situation after 25 years of intensive use of mycorrhizal seedlings. En: Proceedings of the 1st International Meeting on Ecology, Physiology and Cultivation of Edible Mycorrhizal Mushrooms. Uppsala, Sweden. <http://www.mykopat.slu.se/mycorrhiza/edible/proceed/chevalier.html>.

Chevalier, G., Frochot, H., 1997. La maîtrise de la culture de la truffe. Revue Forestière Française 49 N° special (Champignons et mycorrhizes en forêt), 201-213.

Chevalier, G., Grente, J., 1978. Application pratique de la symbiose ectomycorhizienne: production a grande échelle de plants mycorrhizes par la truffe (*Tuber melanosporum* Vitt.). Mushroom Science 10 (2), 483-505.

Chevalier, G., Poltou, N., 1990. Facteurs conditionnant l'utilisation optimale des plants mycorrhizés artificiellement par la truffe. En: Atti del Secondo Congresso Internazionale sul Tartufo, 24-27 novembre 1988, Spoleto, Italia, p. 409-413.

CTIFL, 1995. Production de truffes. Influence de la pluviométrie et de la température du sol. Infos-Paris, 1995, Paris, France, Núm. 110, 38-42.

Courvoisier, M., 2002. Com. pers. Fédération Française des Trufficulteurs. Paris, Francia.

Coves, H., 2003. Le diagnostic de terrain (ou quelques conseils sur le choix du terrain). En: Resumes des interventions, Journée Nationale de la trufficulture, 28 mars 2003, Martel, Francia.

CREAF, 1997a. Estudi de sòls forestals del Berguedà. Bellaterra.

CREAF, 1997b. Estudi de sòls forestals del Solsonès. Bellaterra.

Danés, R. 1984. Catàleg de sòls de la circumscripció de Barcelona. Término municipal de Fogars de Tordera. Diputació de Barcelona, Barcelona.

DARP, 1991. Calcatas Conca de Barberà. Lleida.

DARP, 1990a. Pallars Jussà. PEIN (IEI). Lleida.

- DARP, 1990b. MAP-4. Calicatas Montoliu de Segarra i Guissona. Lleida.
- DARP, 1992a. Calicatas avellaner Baix Camp, 1990, 1991, 1992. (93). Lleida.
- DARP, 1992b. Calicatas Conca de Barberà. Clorosis fèrrica. 1991-1992. Lleida.
- DARP, 1993a. Resultats analítics dels escandalls del TM de Viver i Serrateix. Lleida.
- DARP, 1993b. Sòls forestals: Quart, Os de Balaguer y Nùria, 1990, 1992, 1993. Lleida.
- DARP, 1994a. Calicatas Baix Ter. Àrea del Montgrí. 1992, 1993, 1994. Lleida.
- DARP, 1994b. Estudi de Sòls Àcids de Prades. Lleida.
- DARP, 1995. Calicat Pinell de Brai. 1/1 (66). Lleida.
- DARP, 1996. Calicat Pla de l'Estany. Sòls forestals 1995, 1996. Lleida.
- DARP, 1998a. Calicatas (99). Juny de 1998. Facultat Enologia. Lleida.
- DARP, 1998b. Calicatas Osona. Olius. Vallmitjana. (92). Lleida.
- DARP, 1998c. Perfils Girona. Gironès 1993, 1994, 1998. (55). Lleida.
- DARP, 1998d. Sòls forestals de La Selva 1/3 de 1994, 1996, 1998. Lleida.
- DARP, 1998e. Calicatas Alt Urgell 97/98. Montferrer, Lleida.
- DARP, 1999. Calicatas Brafim, 1998 – 1999. Centre Estudis i Formació agrorurals Alt Camp, Lleida.
- DARP, 2000. Calicatas Ports de Besseit. Sòls Forestals; 1999-2000, Lleida.
- DARP, 2001. MAP-10. Calicatas Premià de Dalt, Premià de Mar, Calella, Cabrera, Viver i Serrateix. (61). Lleida.
- De Miguel, A.M., Sáez, R., 2001. Trufas recolectadas por los truferos de Navarra (España). En: Actes du Ve Congrès International, Science et culture de la truffe, 4-6 marzo 1999, Aix-en-Provence, Francia, p. 4199-4201.
- Delgado, I., Palazón, C., 2000. Cuidados culturales en una plantación de encinas

- micorrizadas con *Tuber melanosporum* Vitt. y su estudio económico. En: 1as Jornadas Internacionales sobre Truficultura en Aragón. Graus, Huesca, p. 85-94.
- Delmas, J., 1973. Caractères écologiques de la trufficulture. B.T.I. 283, 721-731.
- Delmas, J., 1983. La truffe et sa culture: Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris, Francia. 55 pp.
- Delmas, J., Brian, C., Delpech, P., Soyer, J.P., 1981a. Application de l'analyse en composantes principales à une tentative de caractérisation physico-chimique des sols trufficoles français. Mushr. Sc. 11, 2: 855-867.
- Delmas J., Chevalier, G., Villenave, P., Bardet, M.C., 1981b. Étude de la mycorrhization par *Tuber melanosporum* en fonction des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques. En: Gianinazzi, S., Gianinazzi-Pearson, V., Trouvelot, A. (Eds.), Mycorrhizae, an integral part of plants: biology and perspectives for their use. INRA Publ. Colloq. INRA 13, 329-335. INRA-CTIFL, p. 1-7.
- Delmas, J., Durand, J.H., 1971. Écologie truffière. Caractères pédologiques et agronomiques des sols trufficoles français. En: 1er Congrès International de la Trufficulture, 7 y 8 de marzo de 1971 Souillac, Francia, pp. 47-59.
- Delmas J., Poitou N., 1973. Contribution a la connaissance de l'écologie de *Tuber melanosporum*: la truffe du périgord. Academie D'Agriculture De France, Extrait du procès-verbal de la Séance du 19 Décembre 1973, p.1486-1494.
- Delmas J., Poitou, N., 1974. La truffe et ses exigences écologiques. Pépiniéristes Horticulteurs Maraichers 144, 33-39.
- Delmas, J., Chevalier, G., Villenave, P., Bardet, M.Ch., 1982. Mécanique des sols et mycorrhizes de *Tuber melanosporum*. Les Colloques de l'INRA 13, 0329-0335.
- Departamento de Medio Ambiente y Vivienda, 2002. Classificació dels usos del sòl a Catalunya. Generalitat de Catalunya. http://mediambient.gencat.net/cat/el_departament/cartografia/fixes/usos_02.jsp?ComponentID=60489&SourcePageID=6463#1 [Consulta: diciembre de 2005].
- Doménech, X. 1995. Química del suelo. El impacto de los contaminantes. Miraguano Ediciones, Madrid.
- Dominguez, J.A., Rodriguez, J.A., Reyna, S., Perez, R., Saiz de Omeñaca, J.A., Zazo, J., Gallana, F., 2001. Caracterización ecológica de masas forestales natura-

les productoras de *Tuber melanosporum* Vitt. en la provincia de Castellón (Spain). En: Actes du Ve Congrès International, Science et culture de la truffe, 4-6 marzo 1999, Aix-en-Provence, Francia, p. 4202-4204.

Duchaufour, P. 1987. Manual de edafología. Edición Marrión, Barcelona.

Dupre, C., Chevalier, G., Morizet, J., Leblevenec, L., 1982. Influence de l'azote et du phosphore sur la mycorhization de *Quercus pubescens* Willd. par *Tuber melanosporum* Vitt. en conditions contrôlées. Les Mycorhizes: biologie et utilisation. Les Colloques de l'INRA 13, 147-153.

Estrada, J.M., 1987. La trufa y la realidad de su cultivo. El cultivo racional de la trufa. El cultivador moderno 809, 62-65.

Estrada, J.M., 1991. El cultivo de la trufa negra. El cultivador moderno 853, 22-25.

Estrada, J.M., Alcántara, C., 1990. La tófona. Ed. Servicio de Extensión Agraria del Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 26 pp.

Estrada, J.M., 1999. Historia y economía del cultivo de la trufa en España. En: Colinas y Fischer (Eds.), Cultivo de Hongos Comestibles micorrícicos. Publ. Universidad de Lleida, Lleida.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1998. World reference base for soil resources. World soil resources reports, 84. International Society of Soil Science, International Soil Reference and Information Centre, FAO, Roma.

Ferrer-Julà, M., Estrela, T., Sánchez del Corral, A., García-Meléndez, E., 2002. Krigging infiltration rates for a medium scale analysis. En: 5th AGILE Conference on Geographical Information Science, Palma, Islas Baleares.

Fischer, C., Colinas, C., 1996. Methodology for certification of *Quercus ilex* seedlings inoculated with *Tuber melanosporum* for commercial application. En: Proceedings of the 1st International Conference in Mycorrhizae, Berkeley, California, EUA.

Forn, R., 1987. Seguiment de la fertilitat en els sòls de El Poal. Classificació automàtica. ETSEA, Lleida.

Fortuny, M., Estrada, J.M., 1986. La truficultura. Guía práctica para la plantación y el cultivo de la trufa. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra, Barcelona.

Francaviglia, R., Marchetti, G., Mecella, G., Scandella, P., 2001. Land use planning. A GIS application to assess soil quality for agricultural management purposes. En: 7th. International Meeting on Soils with Mediterranean type of climate, Valenzano, Bari, Italia.

García, M., 2003. Cultivo de setas y trufas. Ediciones Mundi – Prensa, Madrid.

García-Montero, L.G., Manjón, J.L., Casermeiro, M.A., 2001. Análisis productivo y caracterización ecológica primaria de *Quercus faginea* Lam. como simbionte de *Tuber melanosporum* Vitt. En: Actes du Ve Congrès International, Science et culture de la truffe, 4-6 marzo 1999, Aix-en-Provence, Francia, p. 4209-4213.

García-Montero, L.G., Moreno, A., Pascual, C., Manjón, J.L., 2002. Evaluación del clima en la producción trufera (trufa negra: *Tuber melanosporum* Vitt.) del Alto Tajo (Guadalajara y Cuenca). Revista Forestal Española 31, 23-29.

Garland, F., 1995. Cultivating the fabled black diamond (truffle). *McIlvainea* 12 (1), 42-45.

Garland, F., 1996. Truffle cultivation in North America. Ed. Garland Gourmet Mushrooms and Truffles, Inc. Hillsborough, Carolina del Norte, EEUU, 41 pp.

Gerhardt, E., Vila, J., Limona, X., 2000. Bolets dels Països Catalans i d'Europa. Manual d'identificació. Ediciones Omega, S.A. Barcelona.

Grente, J., Delmas, J., 1974. Perspectives pour une trufficulture moderne. Ed. INRA, Clermont-Ferrand, Francia.

Grente, J., Delmas, J., Poitou, N., Chevalier, G. 1974. Faits nouveaux sur la truffe. En: Proceedings of the Ninth International Scientific Congress on the Cultivation of Edible Fungi, Tokyo, 1974, pp. 815-846.

Güell, D., 1999. Caracterització silvícola de les repoblacions a les forests de "Ramonet i les Serres" i "Llenas i la Devesa". (Alt Camp). Trabajo Práctico Tutorado. Tutorado por: Olarieta, J.R. Universidad de Lleida, ETSEA, Lleida.

Hall, I., Brown, G., 1989. The black truffle. Ed. Ministry of Agriculture and Fisheries, Wellington, Nueva Zelanda.

Hall, I., Brown, G., Byars, J., 1994. The Black truffle 2nd ed. New Zealand Institute for Crop and Food Research Limited: Christchurch, Nueva Zelanda.

Hall, I., Brown, G., Byars, J., 2003. Site potential for Périgord black truffle production, Southern Vancouver Island. En: 3rd International Workshop on Edible Mycorrhizal Mushrooms, August 16-22, 2003, University of Victoria, British Columbia, Canadá, p. 53-54.

Hall, I.R., Yun, W., 2003. Culture de la truffe noire du Périgord en Nouvelle-Zélande sur sols naturellement acides, amendés. En: Resumes des interventions. Journée Nationale de la trufficulture, Vendredi 28 mars 2003, Martel, Francia.

Hernández, A., 1994. Líneas de investigación sobre trufa. En: Actas de las I Jornadas Internacionales de Truficultura, Ed. ASPOVIA, Abejar, Soria.

Honrubia, M., Fernández, D., 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.

Hu, J., 1995. Methods of Generating Surfaces in Environmental GIS Applications. ESRI Conference.

LAF, 1999a. Criteris per a una fertilització raonada en base als resultats de la prospecció dels sòls d'olivera de la denominació d'origen protegida les Garrigues. Cuadernos de divulgación, Diputación de Lleida, Lleida.

LAF, 1999b. Estudi de la fertilitat de sòls dels prats del Pirineu de Lleida. Cuadernos de divulgación, Diputación de Lleida, Lleida.

LAF, 2003. Base estadística per la millora de la gestió de la fertilitat dels sòls agrícoles de les comarques de Lleida. Cuadernos de divulgación, Diputación de Lleida, Lleida.

Laporta, X., 2004. Restauració de la coberta vegetal de la forest Ge-3002 (Mas Guanter) a l'Alt Empordà. Treball Pràctic Tutorat. Tutorado por: Pemán, J. Universidad de Lleida, ETSEA, Lleida.

Lavina, P., 2001. Variabilité des sols trufficoles atypiques pour la production de *Tuber melanosporum* en region d'Auvergne (Massif Central, France). En: Actes du Ve Congrès International, Science et culture de la truffe, 4-6 març 1999, Aix-en-Provence, Francia, p. 5265-5268.

Lawrynowicz, M., 1992. Distributional limits of truffles in the northern Europe. En: Pacioni G., Marra L. (Eds.), Convegno Internazionale sul tartufo, 5-8 marzo 1992. La Aquila, Italia, p. 31-38.

- López, E., 1990. Cultivo del champiñon, la trufa y otros hongos. Ed. Aedos, Barcelona.
- López, M.R., 2000. Erosión en zonas forestales de la Catalunya Central afectadas por el incendio de julio de 1998. Trabajo Práctico Tutorado. Tutorado por: Domingo, F. Universitat de Lleida, ETSEA, Lleida.
- López, R., Torres, J.M., 1993. El cultivo de la trufa negra en España. Agricultura, Núm. 234, 781-784.
- Lulli, L., Bragato, G., Gardin, L., 1999. Occurrence of *Tuber melanosporum* in relation to soil surface layer properties and soil differentiation. Plant and Soil 214, 85-92.
- Magri, A., 1996. Seguiment del contingut en nutrients del sòl, en parcel·les on s'han estat aplicant diferents dosis de purí, a la Garrotxa. Trabajo Práctico Tutorado. Tutorado por: Boixadera, J. Universitat de Lleida, ETSEA, Lleida.
- Mamoun, M., Olivier, J.M., 1993. Effect of Iron Amendment on the Development of the Ectomycorrhizal Fungus *Tuber melanosporum* and the Rhizoplane Bacteria. European Journal of Soil Biology 29, 83-90.
- Manna, D., 1992. Importanza della scelta della specie forestale nell'impianto di tartufo: Esperienze nel comprensorio della comunita montana dello Spoletino. En: Convegno Internazionale sul tartufo, 5-8 març 1992, l'Aquila, Italia, p. 233-250.
- Mannozi, L., 1991. Il tartufo e la sua coltivazione. Edagricole- Edizioni Agricole, Bologna, 105 p.
- Margalef, R., 1991. Ecología. Ed. Omega, Barcelona.
- Martí, C., 1992. Gènesi i classificació de sòls de l'Alta Garrotxa. Caracterització a partir de dues toposeqüències representatives. Bellaterra, Barcelona.
- Martinez, A., Grigelmo, C., 1992. Implantación de truferas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Hojas divulgadoras, 12/91, 24 p.
- Martinez, J.A., 1998. Suelo-Paisaje-Erosión. Erosión por cárcavas y barrancos en el Alt Penedès-Anoia (Catalunya). Tesis doctoral. Dirigida por: Porta, J. Universidad de Lleida, ETSEA, Lleida.
- Martinez de Aragón, J., Olivera, A., Fischer, C., Colinas, C., 2005. Post fire forest regeneration with cash crop: truffles. En: Libro de Resúmenes del IV International

- Workshop on Edible Ectomycorrhizal Mushrooms. 28 novembre – 2 diciembre 2005, Murcia, p. 84.
- Matalana, A., 1986. Estudi de la fertilitat dels sòls del terme municipal de Calella. Servei d'Agricultura, Barcelona.
- Matalana, A., 1987. Estudi de la fertilitat dels sòls del terme municipal de Cabrera de Mar. Servei d'agricultura, Barcelona.
- Michels, C. 2003. Conditions climatiques et production truffière. En: Resumes des interventions, Journée Nationale de la trufficulture, 28 marzo 2003, Martel, Francia.
- Miller, J.R., 1998. Living in the environment. Wadsworth Publishing Company, California, EUA.
- Moises, J., 2004. Mapa de sòls de la reserva natural parcial de la fageda dels Ports: caracterització de la fageda i interrelacions amb factors edàfics i paisatgístics: Proyecto Final de Carrera. Tutorado por: Jose Ramón Olarieta. Universidad de Lleida, ETSEA, Lleida.
- Montacchini, F., Lo Bue, G., Caramiello, R., 1977. Studi sull'ecologia del *Tuber melanosporum*. III. Fenomeni di inibizione nell'ambiente naturale nell'Italia centrale. Allionia, 22: 87-104.
- Montant, C., Kulifaj, M., 1990. L'ascocarpe du *Tuber melanosporum* Vitt. Contrôle des facteurs externes agissant sur sa formation, sa croissance et sa maturation. C. R. Acad. Sci. 311 (3), 123-126.
- Montilla, J.A., 1991. Micromorfología de suelos con traslocación de arcilla. Zona costera de Cataluña. Proyecto Final Carrera. Tutorado por: Boixadera, J. Universidad de Lleida, ETSEA, Lleida.
- Mujeriego, R., Carbó, M., 1994. Reutilització dels fangs en l'agricultura. Situació actual i perspectives de futur a la Costa Brava. Departamento de Medio Ambiente, Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- Nakicenovic, N., et al. 2000. Informe especial del Grupo de trabajo III del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC.
- Nicolas, J.J., 1973. La trufa. Bol. Est. Central Ecol. 2 (3), 28p.
- Ninyerola, M., 2000. Modelització climàtica mitjançant tècniques SIG i la seva apli-

cació a l'anàlisi quantitativa de la distribució d'espècies vegetals a l'Espanya peninsular. Tesis doctoral (capítol 3). Direcció: Drs. Xavier Pons y Joan M. Roure. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra.

Ninyerola, M., Pons, X., Roure, J.M., 2001. Atlas Climàtic Digital de Catalunya. [En línia]. Universidad Autónoma de Barcelona, Servei Meteorològic de Catalunya y Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya. <http://magno.uab.es/atlas-climatic/index.htm> [Consulta: setiembre 2004].

Oliach, D., 2004. L'associacionisme com a via de desenvolupament de nous cultius al món rural: el cas de la tòfona negra. *Rural&Forest* 2, 15-18.

Oliach, D., Barrière, P., Ruiz, G., Souche, G., Jaillard, B., 2005. Ecophysiological and pedological factors and black truffle (*Tuber melanosporum* Vitt.) production in an evergreen holm oak (*Quercus ilex* L.) truffle orchard. En: Llibre de Resums del IV International Workshop on Edible Ectomycorrhizal Mushrooms, 28 novembre - 2 diciembre 2005, Murcia, p. 94.

Olivera-Ruestes, A., Fischer, C.R., Colinas, C., En prep. a. Water requirements in the establishment phase of black truffle orchards (*Tuber melanosporum* Vitt.) with holm oak (*Quercus ilex* L.).

Olivera-Ruestes, A., Fischer, C.R., Bonet, J.A., Martínez de Aragón, J., Colinas, C., En prep. b. Black truffle systems management in their pre-production stage.

Olivier, J.M., Savignac, J.C., Sourzat, P., 1996. Truffe et trufficulture. Editions Fanlac. Périgueux, Francia.

Olivier, J.M., 1997. Biologie de la Truffe et Actualité de la Trufficulture. C.R. Acad. Agric. Fr., 83 n2 pp. 47-54.

Olivier, J.M., Savignac, J.C., Sourzat, P., 2002. Truffe et trufficulture. Editions Fanlac. Périgueux, Francia.

Pacioni, G., 1992. El cultivo moderno y rentable de la trufa. Ed. de Vecchi. Barcelona.

Palacios, J., 2001. La Rioja Baja (España). Área potencial para trufficultura. En: Actes du Ve Congrès International, Science et culture de la truffe, 4-6 marzo 1999, Aix-en-Provence, Francia, p. 4223-4227.

Palazón, C., Delgado, I., Barriuso, J., 1999. Posibilidades de las trufas artificiales. *Surcos de Aragón* 65, 39-43.

Jornadas de Truficultura. Viver, El Toro (Castellón). 26, 27 i 28 d'Octubre de 2000, pp. 53-69.

Palenzona, L., 1969. Sintesi micorrizica tra *Tuber aestivum* Vitt., *Tuber brumale* Vitt., *Tuber melanosporum* Vitt. e semenzali di *Corylus avellana* L. Allionia 15, 121-132.

Palou, O., Ribot, M.J., 1995. Mapa de sòls del Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa: sector occidental. Ed. PNZVG, Olot, Girona.

Panini, T., Lulli, L., Bragato G., Pagliai M., Primavera F., 1993. Sites and soil types of *Tuber melanosporum* on the 'Scaglia rossa' at Volperino, Perugia. Monti e Boschi 44 (2), 28-33.

Pascual, R., 1997. Els bolets, on surten, com es coneixen, com es cuinen. Editorial Pòrtic, S.A. Barcelona.

Pérez, R., Reyna, S., Rodríguez, J.A., Domínguez, A., Gallana, F., Saiz de Omeñaca, J.A., Zazo, J., 2001. Análisis de la flora y la vegetación asociada a las encinas truferas naturales de la Comunidad Valenciana. A: Actes du Ve Congrès International, Science et culture de la truffe, 4 au 6 mars 1999, Aix-en-Provence, France, p. 4228-4232.

Poitou, N., 1987. Le sol. Cas particulier des sols truffiers. Ed. INRA. A: Congrès de la trufficulture, 27-28 novembre 1987, Saintes, França.

Poitou, N., 1988. Les sols truffiers. Choix du sol: prelevement, analyse, correction, oligo-elements. A: Journées Nationales de la Truffe, St. Paul Trois Chateaux, Drome, França.

Poitou, N., 1990. Les sols truffiers français. A: Atti del Secondo Congresso Internazionale sul Tartufo, 24-27 novembre 1988, Spoleto, Italia, p. 391-396.

Poitou, N., Villenave, P., Baudet, D., Delmas, J., 1983. Croissance in vitro du mycélium de *Tuber melanosporum* Vitt. et de certains compétiteurs en fonction du pH du milieu. Comptes Rendus des Seances de l'Academie d'Agriculture de France, 69(16): 1363-1369.

Pons, X., 1996. Estimación de la Radiación Solar a partir de modelos digitales de elevaciones. Propuesta metodológica. A: Juanisti, J., Moro, I., (Eds), VII Coloquio de Geografía Cuantitativa, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, Vitoria-Gasteiz.

Pons, X., 2004. MiraMon. Sistema d'Informació Geogràfica i software de Teledetecció. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, CREAM, Bellaterra, Barcelona. ISBN: 84-931323-4-9.

Porta, J., Julià, R., 1983. Els sòls de Catalunya. Àrea meridional de Lleida. Lleida.

Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C., 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-prensa, Mèxic.

Porta, J., López-Acevedo, M., Rodríguez, R., 1993. Laboratori d'edafologia. Ed. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. ISBN: 84-7653-252-0.

Porta, J et al., 1985. Sòls dels Països Catalans: Història Natural dels Països Catalans. Recursos geològics i sòl. Vol. 3. Fundació Enciclopèdia Catalana. Barcelona.

Pulido, A., 1994. Micorrizació sencilla para viveros elementales. Revista Quercus, quadern 105, Madrid.

Raddi, A., 1997. El mercat dels productes forestals a Catalunya. Quaderns d'informació tècnica n° 1. Diputació de Barcelona, Barcelona.

Raglione, M., Lorenzoni, P., De Simone, C., Monaco, R., Angius, A., 1992. Osservazioni sulle caratteristiche pedologiche di alcuni siti di tartufo nero pregiato (*Tuber melanosporum*) in provincia di Rieti. Micologia e Vegetazione Mediterranea, 7 (1): 211-224.

Raglione, M., Spadoni, M., Cavelli, S., Lorenzoni, P., De Simone, C., 2001. Les sols des truffières naturelles de *Tuber melanosporum* Vitt. dans l'Apennin Central (Italie). A: Actes du Ve Congrès International, Science et culture de la truffe, 4 au 6 mars 1999, Aix-en-Provence, França, p. 5276-5280.

Ramírez, R., Pérez, F., Reyna, S., Rómulo, S., 2003. Introduction and cultivation of *Tuber melanosporum* Vitt. in Chile. A: 3rd International Workshop on Edible Mycorrhizal Mushrooms, August 16-22, 2003, University of Victoria, British Columbia, Canada, p. 38.

Recio, I., Guerrero, P., 1972. La Trufa. Hojas divulgadoras, N° 11/72. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

Reyna, S., 1992. La trufa. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

Reyna, S., 2000. Panorama general de la truficultura en España. A: Reyna, S., Folch, L., (Eds), Jornadas de Truficultura de Viver, El Toro, 26, 27 y 28 de Octubre de 2000, Viver, El Toro, Castellón, p. 5-23.

Reyna, S., 2000. Trufa, truficultura y selvicultura trufera. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

Reyna, S., De Miguel, A., Palazón, C., Hernández, A., De Román, M., 2003. Truffle cultivation in Spain: state of the art and future prospects. A: 3rd International Workshop on Edible Mycorrhizal Mushrooms, August 16-22, 2003. University of Victoria, British Columbia, Canadá, p. 40.

Ricard, J.M., 2003. La truffe. Guide technique de trufficulture. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, França.

RiOUSSET, L., Chevalier, G., Bardet, M.C., 2001. Truffes d'Europe et de Chine. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). Centre Technique interprofessionnel des Fruits et Légumes, Paris, França.

Riu, E., 2000. Estudi del contingut de metalls pesants en els sòls de les comarques de la Segarra i el Solsonès (Lleida). Universitat de Lleida, ETSEA, Lleida.

Rodríguez, F., 2003. Evaluación agrícola de cinco municipios del Vallès en la situación actual e histórica de finales de s. XIX. Proyecto final de Carrera. Tutorat per: Olarieta, J.R. Universitat de Lleida, ETSEA, Lleida.

Rondelli, F., 1999. Suoli tartufigeri dell'Appennino Centrale: confronto di ambienti pedologici. Monti e Boschi 2, 54-58.

Roux, J.J., 2001. Les relations pluie-récolte sur 17 années dans le Var: *Tuber melanosporum* 1982-1998. A: Actes du Ve Congrès International, Science et culture de la truffe, 4 au 6 mars 1999, Aix-en-Provence, France, p. 4237-4240.

Roux, J.J., 2002. La maîtrise de l'eau en trufficulture. Les relations pluie-récolte sur 17 années dans le Var: *Tuber melanosporum* 82-98. A: 30ème anniversaire Agri-Truffe, Jeudi 27 Juin 2002, Saint-Maixant, France.

Roux, J.J., 2003. Relations entre la pluviométrie et la production truffière. A: Resumes des interventions, Journée Nationale de la trufficulture, Vendredi 28 mars 2003, Martel, França.

Sáez, R., De Miguel, A., 1995. Guía práctica de truficultura. Ed. I.T.G. Agrícola S.A. i Universidad de Navarra. Pamplona.

Sàez, R. 1991. Trufa y truficultura en Navarra. Navarra agraria 67, 5-11.

Samits, N., Olivera, A., Danell, E., Alexander, S. J., Colinas, C., 2003. Aportación de la truficultura al desarrollo socioeconómico. Vida Rural, 181: 54-60.

Sánchez, J., Rubio, J.L., 1985. Cartografía básica y recomendaciones de uso de los suelos del término municipal de Morella. Facultad de Farmacia de Valencia – Instituto de Agroquímica y Tecnología de alimentos (CSIC), València.

Savignac, J.C., 2003. La truficultura en Europa. Situación actual y perspectiva de futuro. A: Feria Internacional de la Trufa (FITRUF), Sarrión, Teruel.

Sempere, S., 2000. Estudi de les relacions entre variables edafoclimàtiques i la qualitat d'estació del pi blanc a la zona del Montsant. Treball Pràctic Tutorat. Tutorat per: Olarieta, J.R. Universitat de Lleida, ETSEA, CTFC, Lleida.

Séqui, P., 1995. Chimica del suolo. Ed. Patron. Bolonya, Itàlia.

Shaw, P.J.A., Lankey, K., Jourdan, A., 1996. Factors affecting yield of *Tuber melanosporum* in a *Quercus ilex* plantation in southern France Mycological Research 100 (10), 1176-1178.

Sirat, A., 1998. Estudio de las relaciones entre variables edafoclimáticas y el desarrollo del *Abies alba* (Mill.) en la Val d'Aran. Treball Pràctic Tutorat. Tutorat per: Olarieta, J.R. Universitat de Lleida, ETSEA, CTFC, Lleida.

Sourzat, P., 1997. Guide pratique de trufficulture. Ed. Station d'expérimentations sur la truffe. Le Montat, França.

Sourzat, P., 1999. Últimas tendencias en el cultivo de *Tuber melanosporum*. A: Colinas i Fischer. (Eds.), Cultivo de Hongos Comestibles micorrízicos. Publ. Universitat de Lleida, Lleida.

Sourzat, P., 2000. Trufficulture. Resultats techniques d'expérimentations à l'usage pratique des trufficulteurs. Ministère de l'agriculture, Cahors-Le Montat, França.

Sourzat, P., 2001. Les limites des critères agronomiques dans l'analyse de terre en trufficulture. A: Actes du Ve Congrès International. Science et culture de la truffe, 4 au 6 mars 1999, Aix-en-Provence, France, p. 5281-5286.

Sourzat, P., 2002. Guide Pratique de Trufficulture. Station d'expérimentation sur la truffe. Cahors-Le Montat, França.

Sourzat, P., 2003. Les écosystèmes truffiers naturels: quels enseignements en tirer?. A: Resumes des interventions, Journée Nationale de la trufficulture, 28 març 2003, Cuzance, França.

Sourzat, P., 2003. Naissance et gel des truffes en 2001. Dossier Technique. A: Resumes des interventions, Journée Nationale de la trufficulture, 28 març 2003, Cuzance, França.

Suz, L.M., Martin, M.P., Colinas, C., 2005. Detection of *Tuber melanosporum* DNA in soil. FEMS Microbiol Lett, 254: 251-257.

Tan, K.H., 1996. Soil Sampling, preparation, and analysis. Marcel Dekker, Inc. N.Y., EUA.

Teira, M.R., 1990. Estudio de la erosionabilidad del suelo: determinación del factor K de la USLE en Isona, Conca d'Alta, Lleida. Universitat de Lleida, ETSEA, Lleida.

Torra, J., 2001. Caracterització de les masses de *Pinus nigra* ssp. *Salzmannii* de la zona central del Solsonès. Treball Pràctic Tutorat. Tutorat per: Olarieta, J.R. Universitat de Lleida, ETSEA, Lleida.

Trappe, J.M., 1988. Use of truffles and false-truffles around the world. A: Atti del Secondo Congresso Internazionale sul Tartufo, 24-27 novembre 1988, Spoleto, Itàlia, p.19-30.

Turner, S., James, R., Anthony, G., 1997. Interpolation and interpretation for field scale decision making. A: First European Conference for Information Technology in Agriculture, Copenhaguen, Dinamarca.

United States Department of Agriculture (USDA), 1998. Keys to soil taxonomy; by soil survey staff. 8th edition, USDA, Washington, EUA, 326 p.

Verilhac, A., Giraud, M., Leteinturier, J., 1990. La truffe, guide pratique. Ed. CITFL. Paris, França.

Vidal, M., 1998. Cartografia de sòls a l'àrea del Barranc del Solà, Terme municipal de Tremp, (Pallars Jussà). Treball Pràctic Tutorat. Tutorat per: Rodríguez, R. Universitat de Lleida, ETSEA, Lleida.

Vilà, N., 1995. Proposta d'un pla de conservació de sòls a la Península del Cap de Creus. La Selva de Mar, Girona.

Viladrich, R., 1999. Avaluació de la susceptibilitat a la compactació de sòls de vinya a l'Anoia (Barcelona). Universitat de Lleida, ETSEA, Lleida.

Watson, R.T., The Core Writing Team, 2001. Climate Change 2001: Syntesis Report. IPCC, Ginebra, Suiza.

