

**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA**  
**FACULTAD CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**



**ECOLOGÍA, CICLO DE VIDA Y CULTIVO COMERCIAL DE TRUFA NEGRA**

*(Tuber melanosporum Vitt.)*

Trabajo de título presentado a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera, como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

**GABRIEL IGNACIO MÖDINGER BARRERA**

**TEMUCO – CHILE**

**2012**



**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA**  
**FACULTAD CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**



**ECOLOGÍA, CICLO DE VIDA Y CULTIVO COMERCIAL DE TRUFA NEGRA**  
**(*Tuber melanosporum* Vitt.)**

Trabajo de título presentado a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera, como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

ALUMNO: GABRIEL IGNACIO MÖDINGER BARRERA

PROFESOR GUIA: SR. RUBÉN CARRILLO LÓPEZ

TEMUCO – CHILE

2012

III

**ECOLOGÍA, CICLO DE VIDA Y CULTIVO COMERCIAL DE TRUFA NEGRA**  
*(Tuber melanosporum Vitt.)*

PROFESOR GUÍA : **Rubén Carrillo López**  
Bachiller en Ciencias Biológicas  
Mg. Cs. Mención Botánica  
Departamento de Ciencias Agronómicas  
y Recursos Naturales  
Universidad de La Frontera.

PROFESOR CONSEJERO : **Jaime Guerrero Contreras**  
Ingeniero Agrónomo Mg. Cs. Dr.  
Departamento Producción Agropecuaria.  
Universidad de La Frontera.

CALIFICACIÓN :

*A mis padres Enrique y María Eugenia,  
por su amor profundo e incondicional.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Momentos como este donde uno termina un proceso y periodo de la vida, solo se puede agradecer a las personas que con todo el amor e incondicionalidad han estado apoyándome y guiándome en todo momento en base a principios y valores cristianos que me han llevado por el camino correcto de la vida. Familia querida muchas gracias.

## ÍNDICE

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN.	1
1.2	Objetivos.	3
2	ANTECEDENTES GENERALES DE LOS HONGOS.	4
2.1	Micorrizas.	5
2.1.1	Tipos de micorrizas.	6
2.1.2	Importancia de las micorrizas.	10
2.1.3	Género <i>Tuber</i>	12
2.1.4	<i>Tuber melanosporum</i> Vitt.	17
2.2	Composición química de ascocarpos de <i>Tuber melanosporum</i> .	18
3	CICLO DE VIDA DE LA TRUFA.	19
3.1	Etapa vegetativa.	19
3.2	Etapa reproductiva.	21
3.3	Fase saprofítica.	22
3.4	Diseminación de esporas.	23
3.5	El quemado	25
4	ECOLOGÍA DE LA TRUFA.	26
4.1	Plantas hospederas de <i>Tuber melanosporum</i> .	27
4.1.1	Encina ( <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ilex</i> y <i>Quercus ilex</i> . subsp. <i>ballota</i> ).	27
4.1.2	Roble pubescente ( <i>Quercus pubescens</i> ) y roble cerrioide ( <i>Quercus cerrioide</i> ).	29
4.1.3	Quejigo ( <i>Quercus faginea</i> subsp. <i>faginea</i> ).	30
4.1.4	Coscoja ( <i>Quercus coccifera</i> ).	31
4.1.5	Avellano europeo ( <i>Corylus avellana</i> ).	31
4.1.6	Vegetación asociada a las truferas.	33
4.2	Características edafoclimáticas.	34
4.2.1	Clima.	34
4.3	Suelo.	35

4.4	Interacciones biológicas.	39
4.4.1	Competencia con hongos ectomicorrícicos.	39
4.4.2	Ecología de los quemados.	40
4.4.3	Vegetación asociada al quemado.	41
4.4.4	Fauna y microflora en los suelos truferos.	42
4.4.5	Influencia climática en trufas.	43
5	ASPECTOS GENERALES DE PRODUCCIÓN CONTROLADA DE PLANTA MICORRIZADA.	45
5.1	Aspectos a considerar previo a la etapa de inoculación.	45
5.2	Métodos de inoculación.	48
6	TRUFICULTURA.	50
6.1	Establecimiento de la plantación.	50
6.1.1	Elección del terreno.	50
6.1.2	Elección de la especie hospedera.	51
6.1.3	Preparación del terreno.	52
6.1.4	Marco de plantación.	52
6.1.5	Plantación.	53
6.2	Manejo cultural de la plantación.	54
6.2.1	Periodo de colonización.	55
6.2.2	Periodo de asentamiento.	58
6.2.3	Periodo de producción.	58
7	EXPERIENCIA NACIONAL EN TRUFICULTURA.	63
7.1	Selección y preparación del terreno.	64
7.2	Establecimiento y manejo del cultivo.	67
8	ASPECTOS ECONÓMICOS Y DE MERCADO.	68
8.1	Producto principal.	68
8.2	Producción a nivel mundial.	68
8.3	Estimación de la demanda actual.	70
8.4	Precio de la trufa.	71



8.5	Mercado nacional.	76
8.6	Perfil de rentabilidad.	78
8.6.1	Rentabilidad.	82
9	CONCLUSIONES.	83
10	RESUMEN.	84
11	SUMMARY.	85
12	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	86

## 1 INTRODUCCIÓN

El ser humano siempre ha estado en una búsqueda constante de alimentos para satisfacer la necesidad energética y nutricional. Con en el transcurso de su evolución se adaptó gradualmente a diferentes fuentes alimenticias, en un principio con el consumo de vegetales silvestres, luego encontró la opción cárnica en su dieta transformándose en omnívoro y con el transcurso del tiempo amplió y diversificó su fuente de alimentos. Entre los tipos de alimentos que utiliza el ser humano se incluye los hongos comestibles.

Los hongos corresponden a organismos eucariontes, los que no son capaces de fotosintetizar, y poseen células cuyas paredes contienen quitina; desde el punto de vista ecológico se clasifican como sapróbios, parásitos, micorrícicos y liquénicos, su hábitat natural, se relaciona con sitios frescos y húmedos sobre un medio o sustrato. (Campbell y Reece, 2007).

Entre las especies de hongos comestibles más consumidas a nivel mundial y nacional se incluye el champiñón, cuya especie más cultivada es *Agaricus bisporus*, del género *Pleurotus* que en ambiente natural se desarrolla sobre árboles, arbustos, y plantas leñosas al igual que *Volvariella volvacea*, *Pholiota aegerita* Fr., *Rhodopoxillus nudus*, *Coprinus comalus* P., *Morchella* sp., *Marasmius oreades* Fr. (Barbado, 2003) otro tipo de hongo comestible, denominado “trufa”, hongo hipógeo, del género *Tuber*, que crece en simbiosis con especies de árboles como el encino (*Quercus ilex*), roble (*Quercus robur.*) y avellano europeo (*Corylus avellana*) (FIA, 2009). Pertenece a la clase *Ascomycete*, familia *Tuberacea*, cuya fructificación tiene desarrollo bajo la superficie del suelo (Reyna 2000). Este carpóforo tiene forma irregular algo redondeado similar a un tubérculo de papa, con una superficie áspera y rugosa, de color oscuro. Hay varias especies de trufas con valor culinario, las más demandada corresponde a la trufa negra o trufa de Perigord (*Tuber melanosporum*) y las trufa blanca o alba (*Tuber magnatum*) (FIA 2009).

La trufa es conocida desde hace siglos. Pitágoras la cita en el siglo VI a. C. Posteriormente Teofrasto (siglo III a. C) atribuye el origen de la trufa a los truenos. Siglos más tarde, Dioscórides sostuvo que eran raíces tuberificadas, Cicerón supuso a las trufas hijas de la tierra, mientras Porfirio las considero hijos de los dioses (Etayo y De miguel, 1998). Según Pacioni

(1987), Plinio el viejo las consideró callosidades de la tierra y milagro de la naturaleza. Y Reina (2000), señala que Brillat-Savarin, en su libro “Fisiología del gusto”, calificó la trufa como “el diamante de la cocina”

Durante mucho tiempo la extracción de trufas se realizó en bosques naturales de Europa, principalmente en Francia, Italia, Portugal y España. Desde los años ´80 se generó interés por desarrollar el cultivo en forma artificial, debido a la disminución del recurso por cambios en los ecosistemas naturales donde se desarrollan y por explotación irracional. Esta disminución en la disponibilidad generó incremento del precio en los mercados formales de transacción (Alvares, 2004)

La demanda mundial por trufa negra ha tenido un aumento constante, tradicionalmente demandada, en Francia e Italia y, en las últimas décadas, en Estados Unidos, algunos países asiáticos, como Japón, China y Corea, y países del hemisferio sur como Australia y Nueva Zelanda, han aumentado la demanda y producción. En Francia se concentra alrededor del 70% del mercado de trufa negra, consecuentemente la tendencia en el precio de este producto, se regula en base al comercio realizado en ese país.

En Chile la introducción de trufa negra (*Tuber melanosporum*) comenzó en 2003, a través de un proyecto cofinanciado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), junto a la Universidad Católica del Maule y a la Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM, España), que buscó desarrollar las bases tecnológicas para su cultivo. Han pasado 10 años desde su introducción, y los resultados si bien no fueron los esperados, existe convicción de que Chile tiene el potencial para producción rentable.

### **Objetivos**

- Reunir antecedentes bibliográficos generales en relación a ecología y ciclo de vida de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.).
  
- Incluir antecedentes de truficultura en Chile.
  
- También es motivo de este trabajo compilar información económica y de mercado a nivel nacional e internacional.
  
- Complementar la monografía con información general de hongos y producción de plantas inoculadas.

## 2 ANTECEDENTES GENERALES DE LOS HONGOS

Los hongos son organismos eucariotas, que no poseen clorofila, y son heterótrofos. La reproducción asexual es por división, gemación o generación de esporas y la sexual por medios característicos de cada subgrupo. La pared externa está compuesta de celulosa, quitina o una combinación de ambas, puede contener también lignina. La pared es multilaminada y las laminillas están formadas por fibrillas diversamente orientadas (Neira, 2006). Las células que forman parte de los hongos corresponden a estructuras filamentosas tubulares denominadas hifas, y el conjunto de hifas que no forman parte del cuerpo fructífero, constituyen el micelio. El cuerpo del hongo está formado por filamentos uniseriados, ramificados, se divide en una parte vegetativa que absorbe los nutrientes, y en una parte reproductiva; la parte vegetativa conforma el verdadero cuerpo del hongo que se encuentra en el suelo, y al que designamos micelio, mientras que la porción reproductiva, especialmente en *Ascomycete* y *Basidiomycetes*, es el llamado carpóforo, seta o callampa (Neira, 2006).

La mayoría de las estructuras fúngicas están formadas por agregaciones de hifas. Esta agregación puede dar lugar a los rizomorfos, comunes en *Basidomycetes*, *Ascomycetes* y *Deuteromycetes*, los cuales sirven para la difusión (Strasburger *et al.*, 1994).

Han desarrollado tres sistemas de nutrición:

**Saprobios.** Estos hongos descomponen residuos orgánicos los que usan como fuente de carbono para nutrirse, es el caso de los hongos que crecen sobre troncos muertos, como los *Pleurotus ostreatus*, e incluso el más conocido *Agaricus bisporus*, que presenta la característica de ser apto para el consumo humano.

**Parásitos.** Extraen las sustancias orgánicas de una planta que debilitan y que eventualmente pueden matar. Los daños que produce, son la alteración de tejidos y la elaboración de productos metabólicos tóxicos (toxinas). Por ejemplo *Cyttara espinosae* Lloyd.

**Hongos simbióticos.** Extraen sustancias orgánicas de un hospedero, que en compensación le procuran ciertas ventajas; los más conocidos son los hongos micorrizogenos, tanto los endo como ectosimbióticos de las clases *Basidiomycetes*, *Ascomycetes*, *Zigomycetes* y *Glomeromycetes*.

En los hongos comunes se distingue, la estructura vegetativa, mediante el cual se nutre y las estructuras reproductivas. El soma vegetativo consta de filamentos microscópicos continuos alargados y ramificados, con pared celular definida al que se le denomina micelio, y a las bifurcaciones individuales o filamentos del micelio se les denomina hifas, que se extienden por el suelo o en el substrato a partir del cual se nutren (Agrios, 1996).

Los hongos se reproducen mediante esporas las que se forman en estructuras llamadas cuerpos fructíferos; las esporas son estructuras especializadas para la propagación del hongo, que constan de una o varias células, estructuras que pueden formarse asexual o sexualmente. La clase *Ascomycetes* produce esporas sexuales al interior de una célula o cigoto que se le denomina asca y a las esporas ascosporas. La trufa es el cuerpo fructífero de la especie, en el que se reúne infinidad de células para la reproducción y dispersión (Reyna, 2007).

## **2.1 Micorrizas.**

En todo proceso biológico se establecen interacciones recíprocas entre los organismos, las que contribuyen al beneficio o detrimento. El concepto de simbiosis, es la interacción biológica entre dos o más organismos de distinta especie, denominando a los involucrados, simbiontes; en este sentido se han diferenciado dos tipos de asociaciones simbióticas, las del tipo mutualista y parasítica (Paul y Clark, 1989).

La asociación mutualista (asociación cooperativa entre individuos de distintas especies) (Malendi *et al.*, 2008), entre hifas y raíces de plantas vasculares se conoce con el nombre de “Micorriza” palabra que etimológicamente procede del griego *mykorhiza*, *myko* (hongo) + *rhiza* (raíz). El término micorriza fue acuñado por el profesor alemán Frank en 1885 “mycorrhizen” estudiando precisamente la posibilidad del cultivo de la trufa en Prusia (Allen, 1991). La

inmensa mayoría de las plantas verdes (casi un 90%) en condiciones naturales, forman micorrizas de uno u otro tipo (Allen 1992, Smith and Read, 1997). Es absolutamente excepcional que no se formen y tan solo algunas familias de plantas como las *Brassicaceae*, *Cyperaceae*, *Polygonaceae*, *Quenopodiaceae*, y *Urticaceae*, entre otras, no llegan a desarrollar esta simbiosis (Allen, 1992).

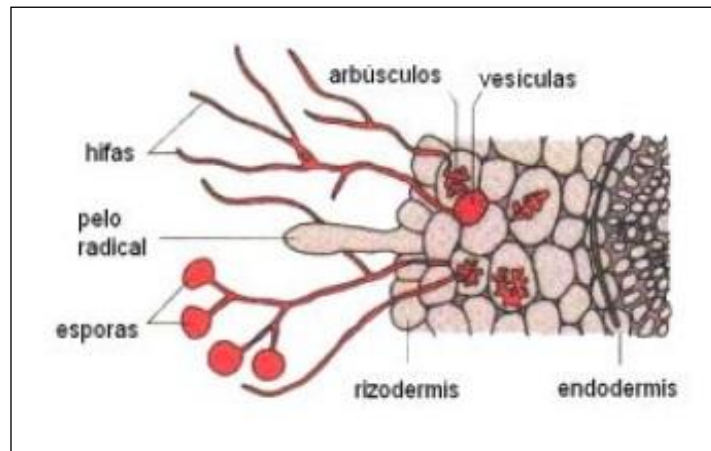
### 2.1.1 Tipos de micorrizas

Toda relación simbiótica supone un mutuo beneficio para los participantes, en el caso de las micorrizas, una raicilla fina está rodeada y penetrada en mayor o menor grado por hifas del hongo, en esta asociación el hongo obtiene productos orgánicos sintetizados (hidratos de carbono) procedentes de la planta superior y la planta se favorece en la adquisición de solutos minerales y agua del suelo, mejorando considerablemente la absorción de P y N en las plantas, también mejora la absorción de minerales poco móviles o a baja concentración que la planta por sí sola no podría adquirir y los adquiere a través del hongo (Reyna *et al.*, 2000).

Se reconocen siete tipos de asociaciones micorrizicas, en las cuales participa diferentes grupos de hongos y plantas y distintos modelos morfológicos. Estos son: micorriza arbuscular (MA), ectomicorriza (EM), micorriza ericoide, micorriza arbutoide, micorriza monotroipoide, ectendomicorriza y micorriza orquideoide. (Brundrett *et al.*, 1996).

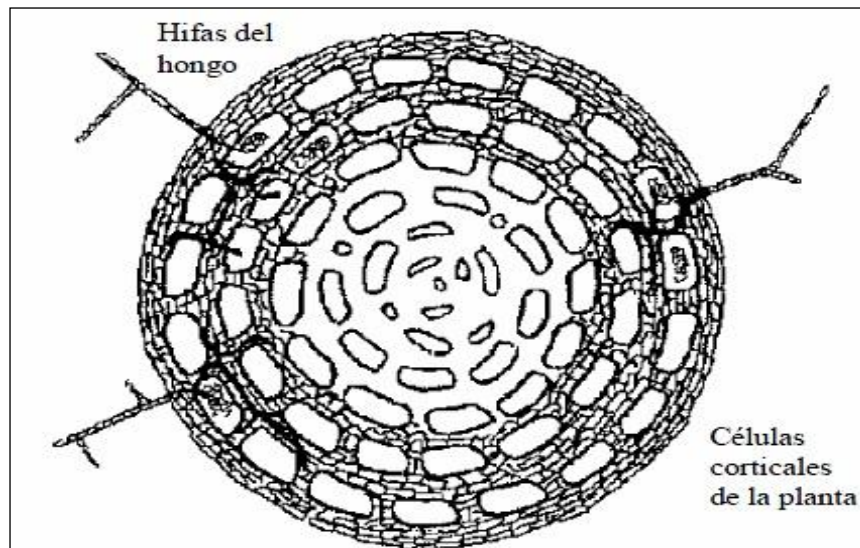
En función de la penetración del micelio en la raicilla, las micorrizas se pueden clasificar en:

**Micorrizas endotróficas o endomicorrizicas.** El micelio se ubica en el interior de las células de la raíz y solo es apreciable mediante la observación de secciones al microscopio, se distinguen las endomicorrizas ericoides, las endomicorrizas orquidoides y las micorrizas arbusculares o (MA). El 80-90% de los vegetales forman micorrizas tipo MA (Allen, 1991) y son de especial interés en plantas cultivadas y forrajeras (Reyna *et al.*, 2007).



**Figura 1.** Morfofito de simbiosis endomicorrícica  
(Fuente: Navarro, 2000).

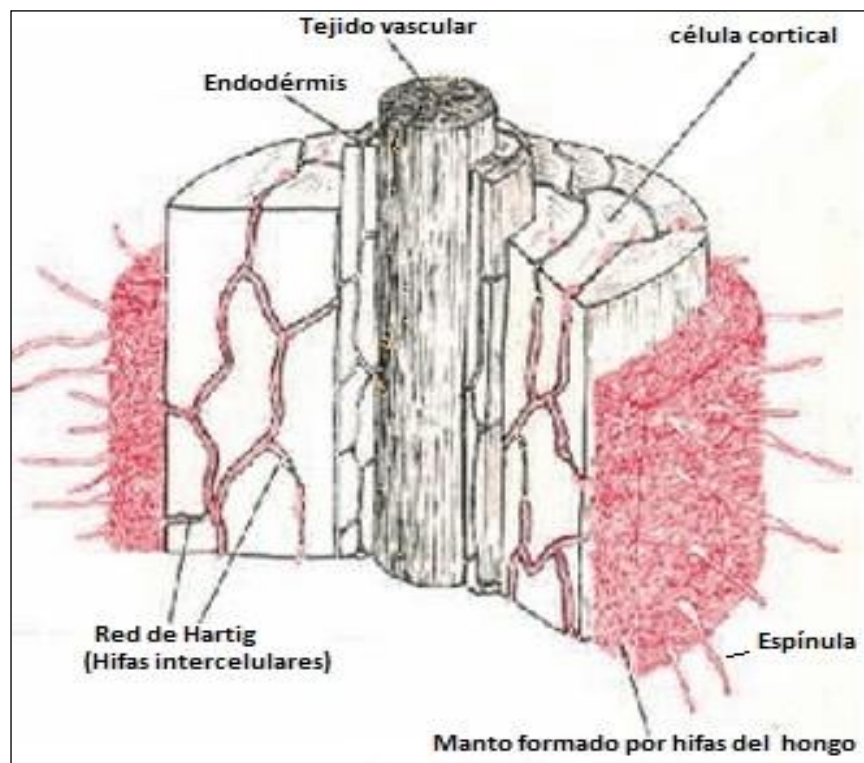
**Micorrizas ectendotróficas o ectendomicorrizas:** conjugan propiedades de las endomicorrizas y de ectomicorrizas con hifas que no penetran al interior de la célula. Este tipo de micorrizas forman manto, existe red de hartig y se produce la entrada del hongo en el interior de las células de la raíz (Reyna *et al.* 2007).



**Figura 2:** Morfofito de simbiosis ectendomicorrícica  
(Fuente: Reyna, 2007)



**Micorrizas ectotróficas o ectomicorrizas.** Son el tipo más común en especies de interés forestal y a este grupo pertenece la trufa. El hongo forma un manto o vaina alrededor de la raicilla y penetra intercelularmente en las primeras capas de células formando la red de Hältig (Reyna *et al.*, 2007). Entre 3 y 5% de los vegetales forman micorrizas ectotróficas, sin embargo, su importancia forestal es enorme (Honrubia *et al.*, 1992). Prácticamente todo tipo de árbol forma este tipo de micorrizas en unión a diversos hongos, muchos de estos apreciados por su valor gastronómico, como especies de los géneros *Lactarius*, *Boletus*, *Russula*, *Amanita*, *Cantharellus*, y *Tuber* (trufas). Los hongos capaces de formar este tipo de asociación pertenecen a la clase *Basidiomycetes*, *Ascomycetes* y raramente a los *Zygomycetes*. Las principales plantas hospedadas de estos hongos son: *Betulaceae*, *Fagaceae*, *Pinaceae*, *Tiliaceae*, *Juglandaceae*, *Salicaceae*, *Ulmaceae*, *Corylaceae*, *Rosaceae* y *Fabaceae* (Etayo y De Miguel, 1998; Reyna, 2000).

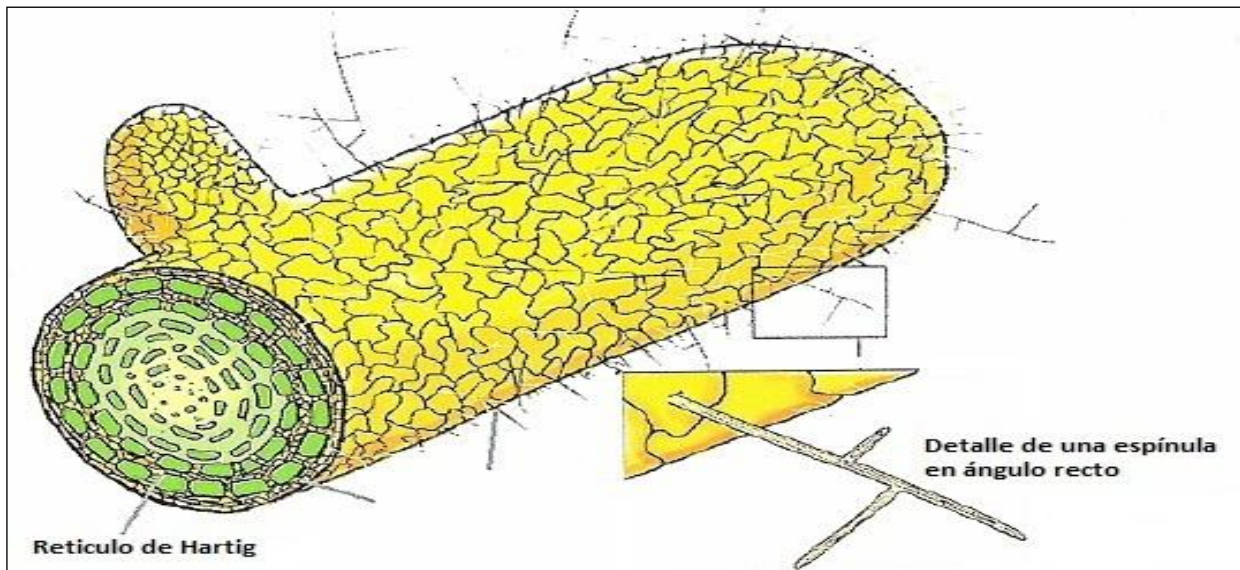


**Figura 3.** Morfotipo de simbiosis ectomicorrícica (Barea *et al.*, 1983).

La simbiosis ectomicorrizica se produce en las raíces finas de la planta, ápices radiculares y es difícil de apreciar a simple vista ya que las raicillas micorrizadas no suelen superar los 2 ó 3 mm de longitud y 0,3 a 0,5 mm de grosor (Reyna, 2007)

La estructura de esta micorriza está formada, por el manto micelar, la red de Hartig y las espínulas. El manto es el micelio que recubre la raíz del que emergen hifas que penetran hacia el interior, cambia el color y se forman micorrizas de diversas coloraciones (negras, blancas, rosadas, azuladas, rojizas, marrones). Es de consistencia variable según las especies y presenta, superficialmente, diferentes tipos de dibujos en función de la estructura que formen sus hifas. Se identifica 2 tipos de mantos:

El manto plectenquimático que constituye una malla un tanto fibrosa alrededor de la raicilla en la que se distinguen claramente las hifas y el manto pseudoparenquimático forma estructura de aspecto celular parecido al parénquima. En este tipo no se aprecia la forma alargada de las hifas, se observa un manto en forma poligonal, y es fundamental para hacer distinción entre micorrizas. En el género *Tuber* se observa un manto de este tipo. La red de H $\ddot{a}$ rtig está formada por hifas del manto que ingresan intercelularmente a las primeras capas de células (cortex) de las raicillas; por tanto, en el caso de las ectomicorrizas el hongo penetra entre los tabiques que separan las células. En la superficie del manto hay hifas largas llamadas espínulas que se extienden por el perfil del suelo. (Reyna 2000).



**Figura 4.** Morfotipo de simbiosis ectomicorrízica con manto pseudoparenquimático, red de Hältig y espinulas (Fuente: Reyna, 2007),

### 2.1.2 Importancia de las micorrizas.

El papel beneficioso de los hongos micorrízicos con las plantas hospederas ha sido ampliamente estudiada desde el punto de vista de la asimilación de nutrientes así como la absorción de agua, crecimiento y supervivencia (Allen, 1992; Smith and Read, 1997). De los nutrientes que podrían ser absorbidos por los hongos (P, N, K, Ca, S, Zn, Cu, Sr,) el que aumenta principalmente en los niveles de asimilación de la planta es el fósforo, respecto a esto se reporta incremento de hasta 10 veces de mayor asimilación en las plantas micorrizadas que en las que no lo están (Navarro. 2000, Honrubia *et al.*, 1992). El mecanismo relacionado con el incremento en la capacidad de absorción de fósforo se refiere a la eficiencia con la cual las raíces micorrizadas exploran el perfil del suelo, mediante la capacidad de extensión de las hifas (Abbott y Robson, 1991). Sin embargo, el fósforo disponible para la planta y fácil de captar, inhibe la formación de micorrizas disminuyendo los beneficios para el hospedero (Saggin-Junior y Siqueira, 1995). Las hifas extra radicales reducen la captación de elementos fitotóxicos como Manganeseo (Mn) y Aluminio (Al), (Salisbury y Ross, 1994; Borie *et al.*, 2006; Taiz y Zeiger, 2002; Alvarado *et al.*, 2004)

Importantes son también las micorrizas en la potenciación de agentes biocontroladores de patógenos de hábito radicular, pero no solo el beneficio se debe a la micorriza también

intervienen factores edafoambientales (Abbott y Robson, 1991) y de manejo de los agroecosistemas (Trejo y Ferrera-Cerrato, 1997). El proceso de micorrización actúa como acelerador del crecimiento, por lo que se puede obtener plantas con mayor vigor y sanidad, la planta se hace más competitiva para captar agua, mejora la tolerancia a estrés hídrico como salino y enfermedades (Navarro, 2000).

En algunos casos, la micorrización podría permitir la adaptación de plantas a suelos donde teóricamente por condiciones edáficas no podrían sobrevivir. Entonces, las plantas micorrizadas presentan mayor tolerancia a suelos contaminados y desertificados dando propiedades adaptativas a metales pesados, debido a la capacidad para inmovilizar metales en la raíz micorrizada, impidiendo que éstos lleguen a la zona aérea de la planta (Navarro-Aviño *et al.*, 2007)

La estructura del suelo mejora en presencia de micorrizas donde se aprecia mejor drenaje y aireación compensando el desequilibrio en la textura. Estas mejoras en las plantas fueron constadas y cuantificadas por Hatch en el año 1937, Cuadro 1, (Honrubia *et al.*, 1992).

Cuadro 1. Cantidad (%) de 3 elementos químicos en pino no micorrizado y pino micorrizado.

Elemento	Pino no micorrizado (%)	Pino Micorrizado (%)
Nitrogeno	100	186
Fósforo	100	334
Potasio	100	175

La simbiosis presenta beneficios ecosistémicos, ya que las hifas tienen un rol en el ciclaje de nutrientes al cooperar con otros microorganismos en la descomposición de la materia orgánica del suelo, logrando reducir la pérdida de nutrientes desde el ecosistema. (Borie *et al.*, 2006). Los hongos micorrizicos contribuyen en el almacenamiento de carbono en el suelo por la alteración de la cantidad y calidad de la materia orgánica (Brundrett *et al.*, 1996; Dighton, 2003).

En reforestaciones de zonas que conserven especies típicas de los ecosistemas forestales, la simbiosis con ectomicorrizas está asegurada. En bosques de encinos se ha determinado del orden

de 10.000 a 20.000 micorrizas por litro de suelo. En dehesas de la misma especie con labores intermitentes de cereales la cifra se reduce entre 2.000 a 4.000 micorrizas por litro de suelo. Por tanto, en circunstancias parecidas a las descritas el inóculo natural del terreno es muy alto y extremadamente competitivo, por lo que es muy poco probable que una especie forestal, plantada en terrenos forestales, conserve las micorrizas formadas en vivero. De aquí la importancia de la selección del sitio específico para las plantaciones truferas, estas plantaciones deben ceñirse necesariamente a zonas agrícolas, de cultivos herbáceos, que no forman ectomicorrizas sino endomicorrizas, que no competirán con la trufa (Reyna *et al.*, 1999c).

### **2.1.3 Género *Tuber***

Las trufas comestibles taxónicamente se clasifican en el reino *Fungi*, división *Ascomycota*, subdivisión *Ascomycotina*, clase *Ascomycete*, orden *Pezizales*, familia *Tuberaceae*, género *Tuber*, y en particular la trufa negra corresponde a la especie *melanosporum*. En la familia *Tuberaceae* hay también otros géneros como *Paradoxa* y *Choiromyces*. (Kirk, *et al.* 2001). La trufa es un hongo simbiote, *Ascomycete* (produce esporas en ascas), cuya fructificación tiene desarrollo subterráneo (hipógeo). El género *Tuber*, en la familia *Tuberaceae*, es el de mayor importancia dada su importancia económica, y por consiguiente, es el más estudiado; en este género se reconocen más de 150 especies en el mundo. (Reyna, 2000). La forma más conocida es subglobosa o tuberiforme con tamaño variable según la especie, que varía desde milímetros a centímetros. En algunas especies se presenta una depresión basal más o menos pronunciada, (Montechi, 1993).

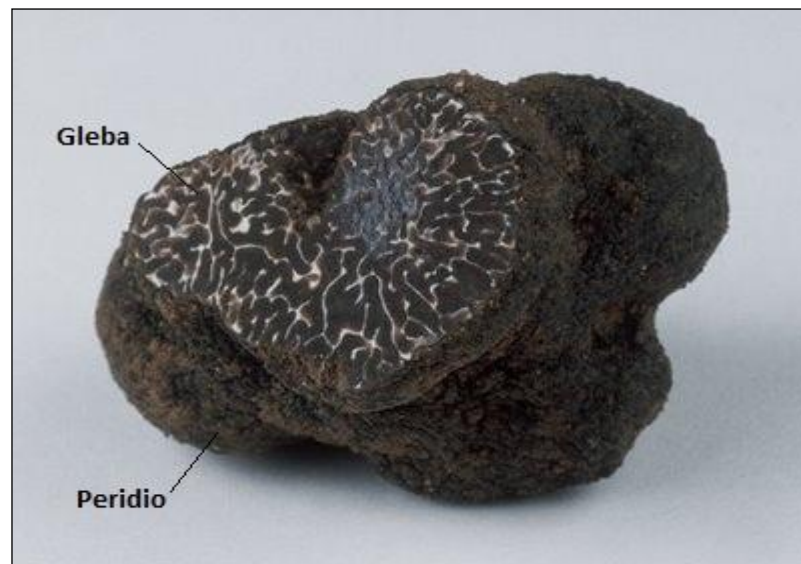


**Figura 5.** Carpóforo excepcional de trufa negra (*Tuber melanosporum*) de 2 k recogida en Huesca España en 1999. (Foto: J.A Vilas)

El cuerpo fructífero está recubierto por una capa externa protectora llamada peridio, el cual es fuerte y resistente, de estructura pseudoparenquimatosa, con la superficie de aspecto liso, aterciopelado, papiloso, cuarteado, poligonal o verrugoso. En el interior, se encuentra un contenido macizo fértil, productor de esporas, la gleba, en el que se distribuyen las ascas. Por la gleba se encuentran hifas blanquecinas o amarillentas que facilitan la respiración del hongo. El grosor, color, densidad y forma de la hifa constituye un elemento taxonómico decisivo. (Reyna, 2007).

La firmeza de la gleba puede ser variable, desde blanda y tierna, coriácea, dura o cartilaginosa. En su interior se encuentran las ascas, que albergan las esporas que son células destinadas para la reproducción de los hongos llamadas ascosporas, de forma elipsoidal o subglobosa, de 30 a 50 x 20 a 30 micras, de color amarillo pálido a marrón oscura y ornamentadas, con espínulas- aculeadas o retículo-alveoladas, dependiendo de la especie. En el caso de *Tuber melanosporum* las esporas son del tipo espinosa-aculeadas contenidas en ascas con entre 1 a 5 esporas. Estas esporas son de pared rígida y melanizada que les otorga firmeza. En la dispersión interviene insectos y otros animales que se alimentan del hongo, y a través de las heces, diseminan las esporas o por simple contacto con la trufa que fue rota previamente. (García, 2007). Entre las

especies del género *Tuber*, hay diferencias significativas en cuanto a características del cuerpo fructífero a niveles macro y microscópicos. El color claro u oscuro del peridio permite clasificar en 2 grupos: trufas oscuras o de color, como *Tuber melanosporum*, *T. brumale*, y *T. aestivum* y las de color claras como, *T. magnatum*, *T. albidum*, *T. rufu* y *T. excavatum*. El aspecto del peridio también sirve como base para una clasificación del género. Las verrugosas como: *Tuber melanosporum*, *T. brumale*, *T. aestivum* y *T. mesentericum*. Las demás presentan peridio semi-liso y liso. (Calonge, 2000)



**Figura 6.** Peridio y gleba de una trufa (Fuente: Reyna, 2007)

Las características microscópicas para diferenciar entre especies de trufas, las esporas son las más determinantes. Hay 2 grupos: uno con esporas espinosas (equinuladas) (7 especies entre ellas *T. melanosporum*) y otro con esporas alveoladas- reticuladas (20 especies).





**Figura 7.** Esporas de *Tuber melanosporum* al interior del asca. (Reyna, 2000)

Según los autores Ceruti, Fontana y Nosenzo (2000) el género *Tuber* estaría representado en Europa por las siguientes especies.

*Tuber aestivum*, *Tuber asa*, *Tuber bellonae*, *Tuber borchii*, *Tuber brumale*, *Tuber dryophilum*, *Tuber excavatum*, *Tuber ferrugineum*, *Tuber foetidum*, *Tuber fulgens*, *Tuber gibbosum* = *gibosum*, *Tuber hiemalbum*, *Tuber macrosporum*, *Tuber maculatum*, *Tuber magnatum*, *Tuber malenconii*, *Tuber melanosporum*, *Tuber mesentericum*, *Tuber nitidum*, *Tuber oligospermum*, *Tuber panniferum*, *Tuber puberulum*, *Tuber rapaeodorum*, *Tuber regianum*, *Tuber rufum*, *Tuber uncinatum*.

Especies chinas comercializadas en Europa: *Tuber himalayense*, *Tuber indicum*, *Tuber pseudoexcavatum*.

#### **Trufas comestibles europeas:**

Todas las especies del género *Tuber* son comestibles, pero las de mayor interés económico por sus características organolépticas se incluyen en el Cuadro 2:



**Cuadro 2.** Características macro y microscópicas del ascocarpio de especies del género *Tuber* de mayor interés económico en Europa.

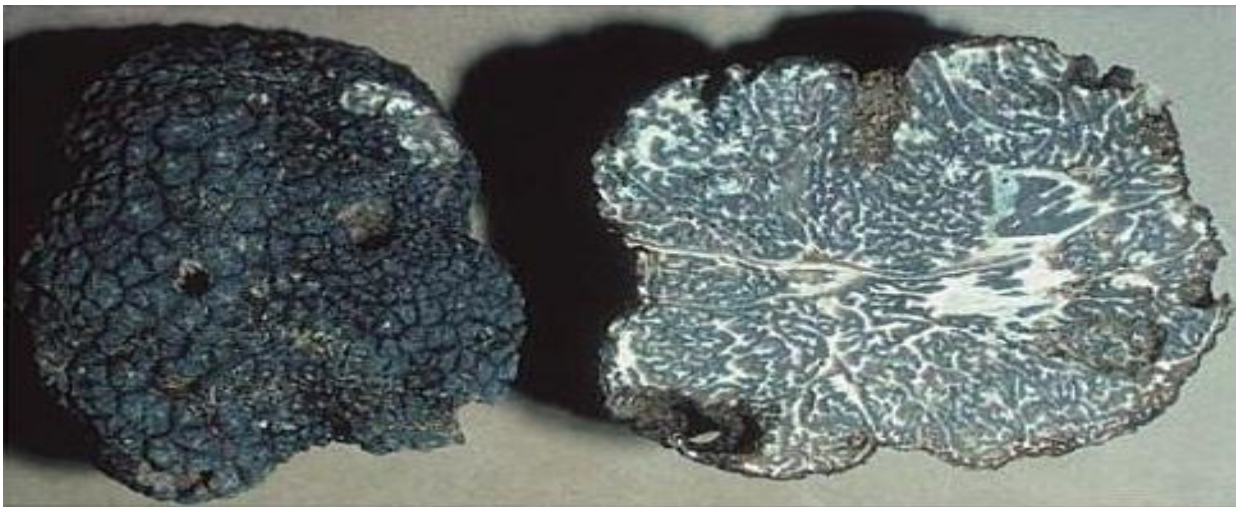
Especie	<i>T. aestivum</i>	<i>T. borchii</i>	<i>T. brumale</i>	<i>T. macrosporum</i>	<i>T. magnatum</i>	<i>T. mesentericum</i>	<i>T. melanosporum</i>
<b>Forma ascocarpio</b>	Subgloboso lobulado	Subgloboso globoso lobulado	Subgloboso	Irregular subgloboso	Subgloboso lobulado	Subgloboso lobulado	Subgloboso lobulado
<b>Tamaño ascocarpio</b>	1 - 10 cm	1 - 10 cm	0,5 - 5 cm	2 - 5 cm	2- 10 cm	1 - 10 cm	1 - 10 cm
<b>Tipo de peridio</b>	Verrugoso	Liso	Verrugoso	Finamente verrugoso	Liso	Verrugoso	Verrugoso
<b>Color peridio</b>	Negro-café	Café-ocre rojizo	Negro	Marrón rojizo, negruzco	Amarillento oliváceo	Gris-café	Negro-café
<b>Color gleba</b>	Café claro	Café	Gris, negro purpura	Marrón púrpura	Amarillenta, gris rojiza	Gris-café	Café, púrpura negro
<b>Consistencia gleba</b>	Carnosa ligera	Carnosa	Carnosa pesada	Carnosa firme	Carnosa, firme	Ligera, seca	Consistente carnosa pesada
<b>Venas</b>	Finas y abundantes, circunvoluciones	Anchas y escasas	Anchas y escasas	Anchas y abundantes	Finas y abundantes	Finas y numerosas	Finas y numerosas, circunvalaciones
<b>Olor</b>	Agradable, malta tostada, persistente	Agradable, poco persistente	Fuerte, algo agrio	Agradable, intenso	Agradable, intenso, persistente	Alquitrán, tintura de yodo	Agradable, fuerte, persistente
<b>Cavidad ascocarpio</b>	No	No	No	No	No	Casi siempre	No
<b>Tipo de ascas</b>	Globosa	Globosa	Globosa	Subglobosas	Subvoides globosas	Globosa	Globosa
<b>Nº de esporas por asca</b>	1 a 6	1 a 4	2 a 5	1 a 5	1 a 4	1 a 4	1 a 6
<b>Forma esporas</b>	Elípticas subglobosa	Elípticas subglobosa	Elípticas subglobosa	Elípticas	Subglobosa	Elípticas	Elípticas
<b>Ornamentación esporas</b>	Reticuladas	Reticuladas	Espinuladas	Reticuladas-alveoladas	Reticuladas-alveoladas	Reticuladas incompleto	Espinuladas
<b>Color esporas</b>	Amarillo-café claro	Café pálido a café claro	Amarillentas, café pálido	Café rojizo oscuro	Amarillo-ocre a café	Café pálido	Café oscuro

Fuente: Reyna 2007

#### 2.1.4 *Tuber melanosporum* Vitt.

El nombre común de esta especie varía según la zona geográfica, en muchos lugares de habla española se le denomina trufa, en otros, trufa negra, trufa negra de invierno, trufa de perigord, truffe y truffe de perigord en Francia, tartuffo nero pregiatto en Italia, y otros. La trufa negra es la de mayor valor comercial, la más estudiada y la de mayor cultivo alrededor del mundo, esto dada sus características organolépticas.

Con forma de tubérculo irregular, redondeado, de 2 a 10 cm y un peso variable de 20 a 200 g. Su aspecto y tamaño dependen de la época del año. En primavera es pequeña como una avellana y de color rojo violáceo, en verano algo más crecida, el color cambia a pardo oscuro; al final del otoño comienza a madurar y pasa por tonalidades café oscuro hasta llegar a negro, con la superficie cubierta de verrugas. Estas callosidades de 3 a 4 mm de diámetro, son piramidales, bajos, con 4 a 6 caras poligonales, con el extremo hundido o truncado. La gleba es consistente, en un principio blanquecina, luego pasa por tonalidades gris-pardo y, al madurar, negro violácea. (Garcia, 2007).



**Figura 8.** Cuerpo fructífero de *Tuber melanosporum* completo y partido donde se aprecia la gleba con venas finas y densas. (Fuente: Garcia. 2007).

## 2.2 Composición química de ascocarpos de *Tuber melanosporum*.

En el análisis químico de *Tuber melanosporum* proveniente de localidades diferentes, se constató que en comparación con otros hongos y vegetales, los niveles de elementos minerales son constantes y elevados. Se determinó que no hay diferencias significativas en la composición, entre trufas que se desarrollaron en suelos pobres en elementos minerales como en las que se desarrollaron en suelos ricos. Las trufas son energéticas dado su contenido en compuestos nitrógeno, cuatro veces superior a los champiñones comunes. También, posee elevados contenido de fósforo, potasio y silicio y raramente bajos en calcio, aun cuando se desarrolla en suelos calcáreos (Callot, 1999).

En los Cuadros 3 y 4, se incluye la composición química promedio de los ascocarpos de *T. melanosporum* y una comparación de la repartición de elementos minerales, de la gleba y de la capa externa (peridio); se aprecia que la concentración de fósforo y potasio son mayores en la gleba, por el contrario, los niveles de hierro, cobre y calcio son más elevados en el peridio.

**Cuadro 3.** Niveles comparativos de elementos minerales entre la Gleba y el Peridio.

Composición (%)	Peridio	Gleba
Agua	75	
Materia seca	25	
Nitrogeno	4 a 15	
Cenizas	7.41	8.03
Fósforo total	0.85	1.05
Azufre total	0.43	0.4
Calcio	0.85	0.09
Magnesio total	0.07	0.08
Potasio total	1.46	3.24
Cobre total (ppm)	112,0	63,0
Fierro total (ppm)	296,0	73,0

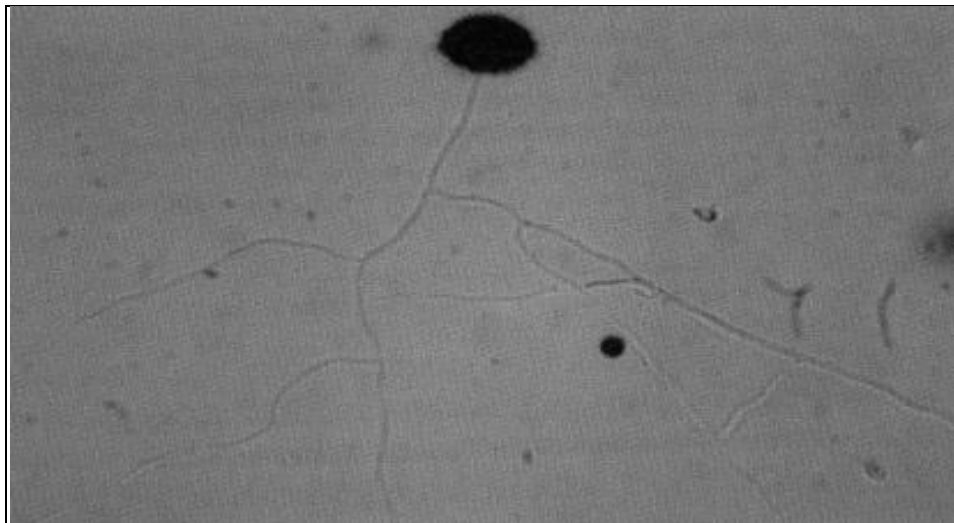
Fuente: Callot (1999)

### 3. CICLO DE VIDA DE LA TRUFA.

El ciclo de vida de *Tuber melanosporum* transcurre por distintas etapas en diferentes épocas equivalentes a los de cualquier ser vivo: nacer, crecer, reproducirse y morir. Es por esto que sus primeros estadios son vegetativos y la estructura reproductora, se produce en fases finales del ciclo. Se evidencian 2 tipos de procesos a saber, etapa vegetativa (proceso que comienza con la germinación de la spora hasta la fructificación, pasando por una etapa micorrícica lenta, una etapa miceliar muy rápida), y etapa reproductiva (donde fructifica el hongo, crece y madura), (Callot, 1999).

#### 3.1 Etapa vegetativa

Por medio de alguna vía (vector), las esporas de las trufas alcanzan el suelo, las aguas de lluvia o de riego, las arrastran al interior del suelo y las limpian de inhibidores germinativos. Cuando hay la temperatura y humedad adecuada (primavera), la spora germina emitiendo una hifa que forma micelio y se ramifica rápidamente para llegar a contactar una raíz a la que micorrizará. Este proceso debe ejecutarse en un corto periodo ya que si la reserva de nutrientes de la spora termina, el hongo morirá.



**Figura 9.** Espora de *Tuber melanosporum* germinando (Puvogel, 2006)

Una vez contactado el micelio con la raicilla del árbol hospedero, se induce una serie de transformaciones morfológicas y funcionales que finalmente conducen a la formación de una ectomicorriza. Del manto parten hifas hacia otras raicillas para propagar la infección y formar micorrizas secundarias. A medida que el árbol crece, se generan nuevos ápices radicales susceptibles de ser inoculados por las hifas cercanas; Este suceso se da principalmente en primavera cuando el árbol entra en actividad tras el receso invernal, extendiendo su raíz (Callot, 1999).

En cierto momento se produce la formación de “glomérulos” que son apilamientos de micorrizas, casi incontables que con frecuencia se forman en periodos de fructificación. En función del sistema radical de la especie hospedera, no siempre se forman glomérulos, en el caso de la encina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) es posible en ciertos momentos la formación de micorrizas subcorticales, micorrizas que se desarrollan bajo la corteza de la raíz (Ricard, 2003).

La fase miceliar es breve, mientras que la fase micorrícica se puede prolongar durante años en los árboles truferos, dado que esta se propaga por el sistema radical y año a año se va extendiendo y renovando. En general, una micorriza tiene vida corta, cuando aparentemente está muerta, en su interior conservan una capa de hifas vivas que son las que pueden retomar la colonización de nuevas raíces en la próxima temporada. Durante la fase micorrícica se produce la colaboración de bacterias que mejoran y estimulan el proceso (Garbaye and Bowen, 1989; Mamoun *et al.*, 1985).

Al formarse las micorrizas, además de cambios morfológicos se producen cambios fisiológicos y químicos (funcionales), como la producción y liberación de sustancias, producto del metabolismo simbiote. Esta actividad se evidencia por la aparición de un área entorno del árbol desprovista de vegetación, debido a efecto fitotóxico provocado por estas sustancias

La actividad miceliar que genera sustancias alelopáticas, habilita el lugar de crecimiento de las futuras trufas dejando libre de vegetación competidora por nutrientes y agua, el área de fructificación de la trufa (Reyna, 2007).

### **Estromas.**

Estudios sobre las raíces de árboles micorrizados han permitido conocer la presencia de trufas de estromas, que corresponde a un agrupamientos de hifas en la corteza de la raíz, que pueden actuar como estructuras subcorticales de latencia y que en un momento determinado, pueden contribuir a la colonización micorrícica de la raíz (Pargney, 1999).



**Figura 10.** Imagen de raíz de árbol micorrizado que presenta estromas (Fuente: Pargney, 1999).

### **3.2 Etapa reproductiva.**

El proceso de colonización se extiende por el suelo y el sistema radical, una vez que alcanza una cierta cantidad de biomasa y las condiciones ecológicas son adecuadas, se generará la fructificación. Esta biomasa se alcanza en plantaciones truferas a partir de los 5 a 10 años. En los meses de plena primavera, parte de los filamentos miceliares comienzan a especializarse, agruparse y compactarse hasta dar lugar a un primordio de la futura trufa (Reyna, 2007)

Según Callot (1999), los primordios se constituyen a partir de estromas de raíces largas de los que parte el micelio fructífero (una hifa daría el gametangio femenino llamado ascogonio y otra el gametangio masculino llamado anteridio). Se cree que se trata de procesos sexuales de autofecundación, lo que explicaría en parte la poca variabilidad intraespecífica que revelan los estudios genéticos moleculares para esta especie. Luego de la unión de los gametos, se inicia la formación de una masa de hifas que poco a poco se constituye en un cuerpo fructífero, la trufa.

Los primordios (pequeñas trufas) son esféricos, rojizos y ligeramente rugosas. Pueden apreciarse primordios inferiores a 250 micras.

### **3.3 Fase saprofítica**

A finales de primavera y principios de verano, la trufa comienza una etapa saprofítica, el cuerpo fructífero se independiza de las micorrizas y vive de las sustancias orgánicas del suelo. En esta fase es donde se produce un engrosamiento de la trufa, a finales de verano comienzan a diferenciarse las esporas, en otoño culmina el crecimiento y entre otoño e invierno el ciclo culmina con trufas maduras (Callot, 1999)

#### **3.3.1 Desarrollo y nutrición del ascocarpo.**

En su fase saprofítica, la trufa necesita protegerse (fundamentalmente de la sequía estival), y alimentarse para crecer. La protección frente a una posible sequía y elevadas temperaturas de verano, se consigue adaptando sus estructuras a estas condiciones, un peridio verrugoso grueso permite el crecimiento y protege el contenido interno evitando la desecación (se retraen las escamas cerrándose casi herméticamente). La nutrición del ascocarpo se lleva a cabo por medio de hifas que salen del exterior de las verrugas del peridio.

El tipo de sustancia ingresada al ascocarpo está en relación con la micro, meso y macrofauna que habiten en el ambiente (microrizosfera) ya que varias de estas especies liberan químicos que regulan la flora bacteriana de los suelos y otros que ayudan a degradar la materia orgánica hasta moléculas aprovechables para el hongo. Además, otras especies que al nutrirse de las hifas de la trufa contribuyen al crecimiento y renovación de los mismos provocando un desarrollo activo de la trufa. En el caso de lombrices, gusanos y hormigas, contribuyen a la creación de canales y galerías que airean y drenan el entorno de la trufa. Estas especies juegan un rol importante en la estructura del suelo favorable para el desarrollo del carpóforo (Callot, 1999; Parguey, 2006).

### 3.4 Diseminación de esporas

Desde finales de otoño y principio de primavera se encuentran trufas maduras, esto significa que las esporas que lleva con ella están viables para germinar. La fuerte emisión de olores que emane la trufa madura, atrae a vertebrados (jabalíes, zorros, roedores, insectos), e invertebrados que se alimentan de ella y provocan la diseminación de las esporas al ser transportados adheridas al pelo o labio del agente diseminador. Queda por comprobar si las esporas son digeridas o no, y en este último caso si el paso por el tracto digestivo puede activar la germinación (Delmas, 1983).

Un insecto específico que ataca a las trufas, es la mosca de la trufa (*Suillia gigantea* syn. *Helomyza tuberivora*), que oviposita en trufas maduras; sus larvas se desarrollan y alimentan en su interior. Si bien alteran la calidad de la trufa, contribuyen a la diseminación de las esporas que se adhieren a la pilosidad de los individuos adultos. .

En la práctica es difícil que la trufa logre diseminar esporas desde su posición sin la ayuda de un agente externo, por lo que se hace imprescindible la ayuda de estos animales.

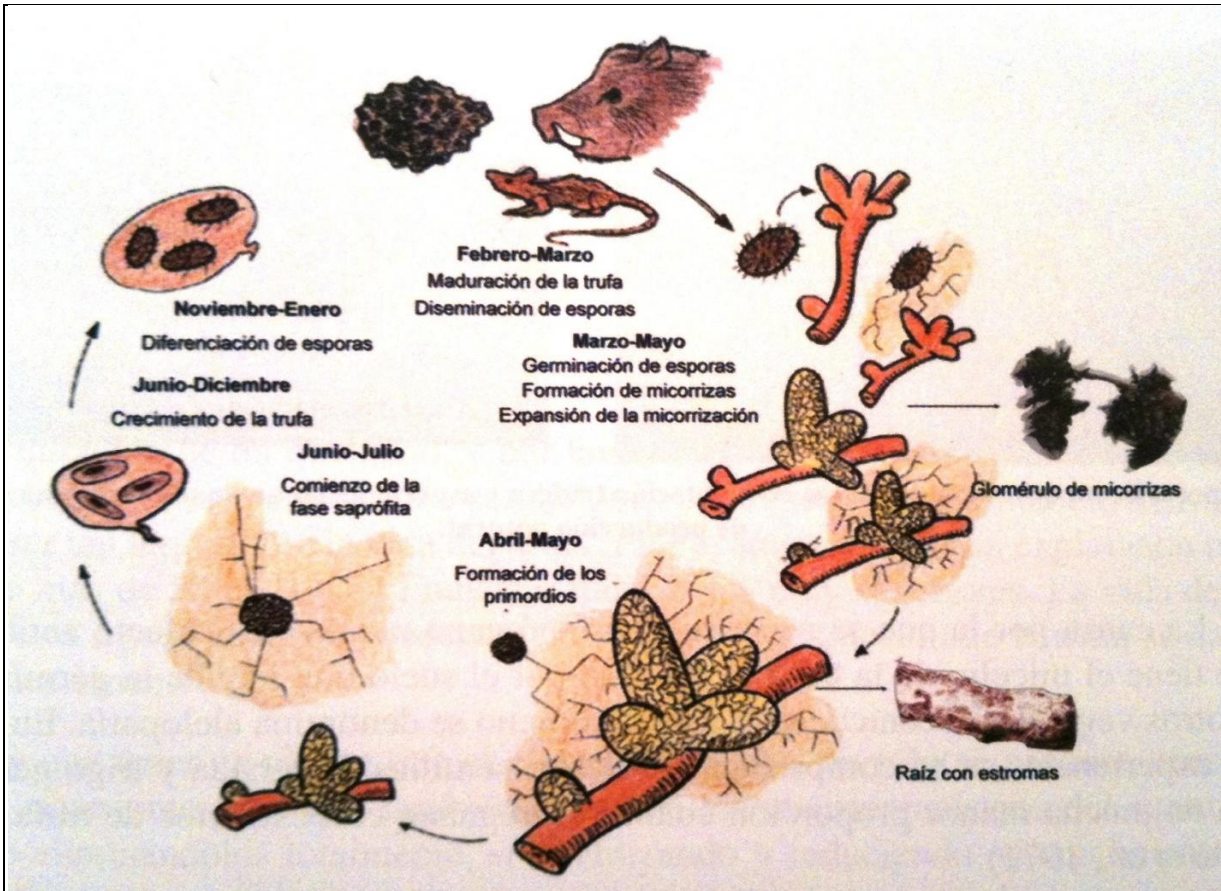
Una de las causas del descenso de la producción silvestre de trufas es que no existe suficiente incorporación de esporas al medio, debido al proceso que requiere este mismo (Reyna, 1992).



**Figura 10.** Imágenes de larva de *Suillia gigantea* syn. *Helomyza tuberivora* al interior de una trufa, y el estado adulto de la especie (Reyna, 2007).



Una de las causas del descenso de la producción silvestre de trufas es que no existe suficiente incorporación de esporas al medio, debido al proceso que requiere este mismo (Reyna, 1992).



**Figura 11.** Esquema del ciclo biológico de la trufa (Hemisferio Norte). (Reyna, 2007).

### 3.5 El quemado

Se acuñe el término “el quemado” a porciones de suelo, circundantes al árbol trufero, desprovistos de vegetación pero no en su totalidad. La causa de este fenómeno radica en el efecto alelopático que tiene las sustancias químicas que secreta el micelio y micorrizas de la trufa expandidos por el suelo que inhibe la germinación y crecimiento de otros vegetales. También el hecho de una potente micorrización otorga al árbol mayor eficiencia en la competencia por el agua lo que significa menor disponibilidad hídrica para otras especies y posible muerte, por ello las plantas capaces de vivir al interior de los quemados son aquellas más resistentes a la sequía.

Los quemados se producen normalmente entre el año 4 y 10 de la plantación del árbol micorrizado, comenzando alrededor de la planta para luego ir separándose según van avanzando las raíces finas. La intensidad y tamaño de los quemados es indicador de la invasión del micelio en el suelo. Cualquier labor en ellos debe ser cuidadosa y superficial.

Los efectos alelopáticos no solo afectan a especies vegetales sino también a los micro organismos del suelo, eliminándolos no totalmente, pero sí afectando el crecimiento y desarrollo de ellos (Hall *et al.*, 2001).



**Figura 12.** Quemado característico donde hay actividad del hongo (Garcia, 2007).

#### 4. ECOLOGÍA DE LA TRUFA.

La trufa negra silvestre (*Tuber melanosporum*) es originaria de España e Italia, donde estuvo refugiada durante la última glaciación hace unos 16.000 a 10.000 años. A partir de la expansión de pequeñas poblaciones humanas se distribuyó por distintos lugares de Europa; actualmente se encuentra de forma natural en el sur de Europa, entre los paralelos 37 y 47° N, en zonas de clima mediterráneo. Principalmente se distribuyen por el sur de Francia, al este de España y centro-norte de Italia, también es posible encontrarlas escasamente en lugares como Perigord, Francia y el País Vasco en España, y de forma puntual en países como Croacia, Eslovenia, Serbia, Portugal, Suiza, Alemania, Bulgaria, Grecia y Turquía (Murat *et al.*, 2004). La trufa es realmente importante en países de España, Francia e Italia donde se encuentra el 90% de la producción mundial. (Pancioni, 1987).



**Figura 14.** Distribución (color oscuro), de *T. melanosporum* en Europa. (Reyna, 2007).

La trufa también se ha podido cultivar y se ha introducido en países como Australia, Nueva Zelanda, Argentina, Estados Unidos, Tazmania, Marruecos y desde el año 2002 en Chile, en zonas edafoclimáticas similares al hábitat natural de la trufa.

#### **4.1 Plantas hospederas de *Tuber melanosporum*.**

La trufa negra es capaz de formar micorrizas con numerosas plantas de los siguientes géneros: *Quercus*, *Fagus*, *Populus*, *Salix*, *Ostrya*, *Carpinus*, *Alnus*, *Betula*, *Corylus*, *Castanea*, *Tilia*, *Cistus*, *Fumana*, *Eucalyptus*, *Pinus*, *Abies* y *Cedrus* (Ceruti *et al.*, 2003).

Sin embargo, unas pocas especies de estos géneros son capaces de mantener una producción trufera estable. Las especies más frecuentes son *Quercus ilex* L. subsp. *Ilex* (encina), *Quercus ilex* subsp. *ballota*, *Quercus faginea* Lam. subsp. *faginea* (quejigo), *Quercus humilis* Mill. = *Q. pubescens* Willd. (roble pubescente), *Quercus cerrioides* WK et Costa (roble cerrioide), *Quercus coccifera* L.(coscoja), *Corylus avellana* L. (avellano europeo) (Reyna, 2007).

##### **4.1.1 Encina (*Quercus ilex* subsp. *ilex* y *Quercus ilex* subsp. *ballota*)**

Es la especie con mayor presencia en huertos truferos. Hay 2 subespecies: *Q.ilex* subsp. *ilex* y *Q.ilex* subsp. *ballota*, semejantes en predisposición en producción de trufa, la primera con mayor exigencia hídrica. El sistema radical es pivotante, con una fuerte raíz principal desde la germinación de la semilla, al principio, esta raíz no se ramifica, pero en una segunda fase desarrolla abundantes raíces secundarias de gran vigor. En estado adulto, las raíces secundarias superficiales presentan escasas ramificaciones y pocas raicillas en las que se encuentran los ápices tróficos micorrizables. La encina habita de forma natural sobre suelos calizos, silíceos y yesosos, encontrándose lejos de lugares encharcados y los arcillosos compactos. Vive en zonas con más de 300 a 350 mm de precipitación, con 50 a 250 mm estivales, temperatura media de invierno entre -3 y 11°C y temperatura media de verano entre 14 y 28°C. Es muy resistente al frío y no sufre daño hasta temperatura entre -15 y -25°C. Puede encontrarse hasta los 2200 m.s.n.m pero su óptimo desarrollo es entre 400 y 1400 m.s.n.m. La encina se adapta a la mayoría de sectores truferos en Europa (Costa *et al.*, 1998).





**Figura 15.** Hojas y fruto de *Quercus ilex* subsp. *ilex*.

**Los encinares.** Son bosques estructurados, densos y sombríos. El estrato arbóreo de estos encinares puede alcanzar 10 a 15 m de altura, aunque por lo general no suele pasar los 10 m. Las especies dominante en la mayoría de los casos es *Quercus ilex* subsp. *ballota* y *Quercus ilex* subsp. *ilex*, otras especies que habitan en encinares son, *Quercus rotundifolia*, *Juniperus thurifera*, *Pinus nigra salzmanii*.

El estrato arbustivo está integrado por especies de 1,5 a 3 m de altura, entre los que aparecen arbustos como el *Daphne gnidium*, *Rhamnus alaternus*, *Asparagus acutifolius*, *Prunus spinosa*, *Crataegus monogyna* como principales, y el estrato herbáceo son comunes plantas como *Teucrium chamaedrys*, *Carex halleriana*, *Carex distachya*, *Brachypodium retusum*, *Festuca hystrix*, *Dactylis hispanica*, *Koeleria vallesiana*, *Poa ligulata*, *Artemisia pedemontana*, *Viola dehnhardtii* y *Rumex intermedius* (Costa et al., 1998).



**Figura 16.** Vista de un bosque de encinas (*Quercus ilex* subsp. *ilex*)  
([www.agrega.educacion.es](http://www.agrega.educacion.es))

#### 4.1.2 Roble pubescente (*Quercus pubescens*) y roble cerrioide (*Quercus cerrioide*)

Esta especie necesita más de 600 mm de precipitación anual, de los que 150 mm deben ser en verano. Se adapta a temperaturas medias de invierno entre -3 y 8°C y a suelos calizos como silíceos pero mejor adaptados a los calizos. En los robledales de roble pubescente se integran otros árboles que se distinguen en el hemisferio norte como *Surbus torminalis*, *Sorbus aria*, arces como *Acer monspessulanum*, *Acer campestre*, tilos como *Tylia platyphyllos* vegetación arbustiva como *Buxus sempervirens*, *Amelanchier*, *Cornus sanguínea*, *Berberis vulgaris* (Ruiz de la Torre, 1976).



**Figura 17.** Órganos de la especie *Quercus pubescens*.  
(Imagen: Zelimir Borzan)

#### 4.1.3 Quejigo (*Quercus faginea* subsp. *faginea*)

Esta especie presenta un sistema radical extendido y vigoroso, con ramificación secundaria superficial y más abundante en ápices tróficos micorrizables que la encina. Se encuentra normalmente en zonas con más de 600 mm anuales de precipitación, aunque también habita zonas que no pasan los 400 mm anuales si hay humedad edáfica, 75 a 100 mm de precipitación estival, soporta temperaturas de invierno entre los -3 y 10°C y temperatura de verano entre 15 y 25°C. Se desarrolla preferentemente en suelos calizos y arcillosos, aunque también se encuentra en silíceos y yesosos. (Costa *et al.*, 1998).

Estos bosques son los que presentan menos incidencia de micorrizas de trufas dentro de las principales especies truferas. El estrato arbóreo alcanza entre los 6 y 15 m de altura, está formado además por arces (*Acer opalus granatense* *Acer mospessulanum*) y Serbales (*Sorbus domestica*), en el estrato arbustivo se encuentran especies como *Buxus sempervirens*,

*Amelancher ovalis*, *Prunus mahaleb* y *Prunus spinosa*. En el estrato herbáceo son frecuentes especies como *Helleborus phoetidis*, *Rosa* sp. (rosa silvestre), *Viola* sp., *Cephalanthera rubra*, *Epipactis helleborine* (orquídeas), *Hepatica nobilis*, *Primula columnae*. Los quejigares se entremezclan con encinares constituyendo bosques mixtos en los que ambas especies son dominantes, es en estas situaciones donde es más probable encontrar trufas asociadas a esta especie (Costa *et al.* 1998).

#### **4.1.4 Coscoja (*Quercus coccifera*)**

Es un arbusto, de hoja perenne verde todo el año de no más de 2 m de altura, aunque a veces se puede convertir en un pequeño árbol de hasta 4 ó 5 m. Presenta sistema radical profundo, con numerosas raíces laterales. Sus exigencias en precipitaciones son menores a las de la encina con requerimiento de 200 mm anuales. Vive en zonas con temperatura media de invierno mayor a 3°C. Se adapta bien a suelos calizos como silíceos, predominando en los pedregosos. Esta especie puede ser una alternativa a la encina en zonas con limitantes hídricas. Sin embargo se utiliza poco debido a que su desarrollo es lento comparado al resto de las especies y no suele estar disponible en viveros. Los coscojares truferos en general menos productivos que los encinares se encuentran a altitudes entre los 600 y 900 m.s.n.m situadas entre o en contacto con los encinares. Suelen ocupar suelos poco profundos, coexisten con otros arbustos como *Rhamnus alaternus*, *Rhamnus lycioides*, *Asparagus acutifolius* y *Lonicera etrusca*. (Reyna, 2007)

#### **4.1.5 Avellano europeo (*Corylus avellana*)**

Es un arbusto leñoso de climas templados, aunque tiene gran área de distribución. Prefiere localizaciones aireadas con una temperatura elevada unida a cierto grado de humedad. Soporta temperaturas bajas de invierno hasta los -8°C. Sin ser muy exigente, el avellano requiere un terreno profundo, fresco, blando, de naturaleza silíceo-calcáreo-arcillosa o calcáreo-silíceo-arcillosa y de subsuelo permeable, con pH entre 5,5 y 7,8. El avellano es muy sensible a la sequía, necesita precipitación anual que promedie los 1000 mm., y si los suelos son excesivamente calcáreos y de naturaleza seca puede resentirse por la falta de humedad. La niebla y la humedad atmosférica alta, contribuyen a un mejor desarrollo. (Ruiz de la Torre, 1976)



El avellano (Figura 18), posee un sistema radical voluminoso, con gran capacidad de expansión, con abundantes raicillas y muy susceptible a micorrizar. Se adapta a altitudes desde los 0 a los 1500 m.s.n.m. En plantaciones truferas, el avellano por lo general produce más precozmente que otras especies, pero sufre de un decaimiento prematuro de la producción. (Reyna, 2007).



**Figura 18.** Ejemplar de avellano europeo adulto (*Corylus avellana*), se aprecia el quemado que anuncia la formación de trufas.



**Figura 19.** Representación de estructuras de *Corylus avellana* (Imagen: Zelimir Borzan).

#### 4.1.6 Vegetación asociada a las truferas

La vegetación encontrada en truferas entre España, Italia y Francia es amplia con alrededor de más de 500 especies citadas. La mayor parte de ellas se encuentran en las zonas perimetrales a los quemados al no ser tolerantes a los efectos alelopáticos. Las 25 especies más citadas en zonas truferas son: *Prunus spinosa*, *Cornus sanguínea*, *Dactylus glomerata*, *Eryngium campestre*, *Koeleria vallesiana*, *Pinus nigra*, *Quercus humilis*, *Rosa canina*, *Sedum álbum*, *Acer campestre*, *Brachypodium phoenicoides*, *Bromus erectus*, *Bromus squarrosus*, *Corylus avellana*, *Genista scorpius*, *Medicago lupulina*, *Ononis pusilla*, *Petrorhagia prolifera*, *PLantago lanceolata*, *Sedum sediforme*, *Trifolium campestre*, *Clematis vitalba*, *Crataegus monogyna*, *Desmazeria rigida* y *Dorycnium pentaphyllum* (Bencivenga *et al.*, 1988; Olivier *et al.*, 1996; Ruiz *et al.*, 2003; Gonzalez *et al.*, 2005)

## 4.2 Características Edafoclimáticas

### 4.2.1 Clima

En España, *T. melanosporum* se encuentra en climas de transición entre el atlántico y el mediterráneo. El clima atlántico se caracteriza por veranos húmedos, mientras que el mediterráneo presenta sequía estival, durante el cual la precipitación es inferior al doble de la temperatura media. (Allué, 1990).

La trufa está adaptada a una cierta carencia de agua durante el verano, por lo que no se adapta bien a las zonas más calurosas y secas de España. Las zonas truferas se caracterizan por precipitación de verano elevada respecto al clima típico mediterráneo y por un periodo seco estival relativamente corto. (Reyna, 2007). Para estas zonas la mayor precipitaciones en orden descendente se encuentra en primavera, otoño, verano e invierno, mientras que para el clima mediterráneo normal el orden es otoño, invierno, primavera y veranos muy secos. (Costa *et al.*, 1998). En análisis de 20 estaciones meteorológicas ubicadas en zonas truferas de la península ibérica se obtuvo que el 31% de la precipitación se produce en primavera, el 29% en otoño, 23% verano y 17% en invierno. Las zonas truferas españolas presentan diversos micro-climas, se encuentran localidades donde la vegetación sufre mínimas carencias hídricas hasta otras donde la sequía de verano detiene la actividad de la vegetación. (Rivas-Martinez, 1987).

Para la península Ibérica la trufa se desarrolla en zonas donde la precipitación mínima anual es de 480 mm en Teruel y una máxima anual ubicada en Olot (Girona) de 962 mm; temperatura mínima para el periodo de invierno de 1°C en Almenar de Soria (Soria) y máxima de verano de 23,2°C en Santiago de la Espada (Jaen). (Etayo, 2001).

**Cuadro 4.** Comparación climática de 4 zonas truferas.

<b>Localidad</b>	<b>Francia</b>	<b>Italia</b>	<b>Soria</b>	<b>Valencia</b>
<b>Precipitación anual (mm)</b>	600-1500	600-900	425-650	485-843
<b>Sequía estival</b>	corta	sí	sí	sí
<b>Precipitación estival (mm)</b>	150-200	30-60	28-54	72-185
<b>Temp. Media anual (°C)</b>		9 a 12	9 a 12	8,6 a 14,8
<b>T. media mes más calido (°C)</b>	16,2 - 22	<22	19 a 22	17,4 - 23,2
<b>T. media mes más frio (C°)</b>	1 a 8	>2	0 a 3,5	2,3 a 8,2

Fuente: Pacioni, 1987; Hernandez, 1994; Reyna, 1999; Ricard, 2003)

### 4.3 Suelo

**Altitud.** El rango en los que se desarrolla la trufa negra es amplio, el mínimo se encuentra en Francia e Italia desde los 100 m.s.n.m, y su máximo en el sur de España con 1800 m.s.n.m. En la zona de Valencia se encuentra entre los 590 y 1480 m.s.n.m concentrándose entre los 800 y 1200 m. (Hernandez, 1994).

**Orientación.** La orientación influye en la insolación recibida. Generalmente la orientación es hacia el medio día, sin embargo en zonas más secas y calurosas se observa una mayor presencia de trufas en sombra (Hernandez, 1994).

**Pendiente.** Son 3 los factores influyentes relacionados con la pendiente: sobre la circulación del agua, la erosión del suelo y la insolación. Las trufas naturales están normalmente en pendientes moderadas en rango del 5% al 30% donde predominan entre el 10 y 15%, y rara vez se encuentran en sitios sin pendiente donde es posible el encharcamiento de agua (Hernandez, 1994).

**Perfil del suelo.** *Tuber melanosporum* vive en suelos calizos. El origen del suelo puede ser de diversas edades geológicas y litologías siempre que contenga niveles altos de carbonato cálcico. Son especialmente favorables las calizas duras. (Rebière, 1981). En cuanto al origen edáfico, se encuentran trufas silvestres en suelos poco profundos y/o poco evolucionados (lesoles, regosoles) como en otros más desarrollados (luvisoles, calcisoles, cambisoles, suelos humíferos). Sin embargo, para el cultivo la profundidad del suelo es fundamental, ya que condiciona la

capacidad para retener agua y la disponibilidad de esta para la vegetación y la trufa. En zonas más secas y cálidas donde existe trufa, los suelos tienden a ser más profundos que en aquellas zonas de mayores precipitaciones. También es importante que el suelo tenga buen drenaje que depende de la porosidad, la transición de horizontes edáficos, el material originario, la pendiente y la actividad biológica. Son escasas las truferas sobre suelos con signos de encharcamiento. Mayor importancia tienen las características físico-químicas en cuanto a la aptitud trufera de un suelo, especialmente para los primeros 30 a 40 cm superficiales donde se encuentran la mayoría de los carpóforos. (Callot, 1999; Granetti *et al.* 2005)

En el Cuadro 5 se muestran los resultados de análisis de suelos tradicionales de truferas silvestres en Italia, Francia y España (Soria y comunidad valenciana).

**Cuadro 5.** Valores medios y extremos (mínimo-máximo) obtenidos en análisis de suelo de 12 truferas silvestres de Francia, 121 de Italia, 11 de Soria, y 27 de la Comunidad Valenciana.

	<b>Francia</b>	<b>Italia</b>	<b>Soria</b>	<b>C.Valenciana</b>
<b>Arena (%)</b>		33 (1-79)	42 (18-71)	36 (14-65)
<b>Limo (%)</b>		42 (8-79)	35 [8-61]	42 (21-60)
<b>Arcilla (%)</b>		25 (6-69)	20 (12-31)	22 (13-31)
<b>Elementos gruesos (%)</b>		53 (9-92)	34 (0,2-56)	42 (13-68)
<b>pH agua (1:2,5)</b>	8,1 (7,8-8,4)	8,0 (7,1-8,3)	8,1 (7,4-8,6)	8,1 (7,5-8,5)
<b>pH KCl (1:2,5)</b>			7,2 (6,5-7,6)	7,4 (6,2-7,7)
<b>Caliza total (%)</b>	24 (1-58)	29 (x - 84)	13 (x - 58)	40 (x - 74)
<b>Caliza activa (%)</b>	4,7 (x - 15,4)		1,9 (x - 13,6)	7,9 (x - 15,6)
<b>Materia orgánica (%)</b>	5,2 (1,5-10,1)	4,6 (1,1-17,4)	2,4 (0,8-6)	3,9 (1,5-8,2)
<b>Relación C/N</b>	11,9 (10,3-14,2)	14,0 (10,0-26,0)	8,6 (5,8-12,4)	8,5 (4,8-15,5)
<b>P2O5 asimil (ppm)</b>			4,4 (x - 13,9)	12,7 (x- 44,4)
<b>N Kjeldahl (%)</b>	0,26 (0,08-0,52)	0,23(0,09-0,59)	0,16 (0,06-0,40)	0,28 (0,07-0,57)
<b>K2O asimil (ppm)</b>	200 (40-400)		217 (95- 504)	248 (77-501)
<b>SO4, extracc 1:5 (ppm)</b>				101 (0,169)
<b>Conductividad 1:5 (mmhos/cm)</b>			0,10 (0,03-0,17)	0,14 (0,10-0,19)

Fuentes: Sourzat, 1997, Bencivenga *et al.*, 1988, Hernández *et al.*, 1994; Águeda, 1998.

**Cuadro 6.** Características del suelo recomendadas para el cultivo de trufa negra (*T. melanosporum*).

	<b>Valores recomendados</b>
<b>Textura</b>	Fr, FrAre, FrArc,FrLi
<b>Elementos gruesos (%)</b>	Pedregosidad superficial favorable
<b>pH agua (1:2,5)</b>	7,5-8,5
<b>Caliza total</b>	1 a 80
<b>Caliza activa (%)</b>	0,1-30
<b>Materia orgánica (%)</b>	1 a 10
<b>Relación C/N</b>	5 a 15
<b>P2O5 asimil Olsen (ppm)</b>	5 a 15
<b>N Kjeldahl (%)</b>	0,1-0,5
<b>K2O asimil (ppm)</b>	50-200
<b>Conductividad 1:5 (mmhos/cm)</b>	0-0,35

Fuente: Reyna, 2007.

**Textura y pedregosidad.** La presencia de partículas de diámetro mayor a 2 mm en suelos truferos es variable, oscilando entre el 0,2 y 92%. En truferas de Valencia la pedregosidad es abundante, produciendo un empedrado superficial que recubre el suelo, retiene humedad, reduce la tasa de erosión, contribuye al drenaje y aireación del suelo, a la captación de calor en invierno, a la disminución de la evaporación en verano, a la provisión de carbonato de calcio, a la protección contra la compactación y erosión producida por la lluvia y dificulta la predación de trufas por los jabalíes y/u otra fauna. Se conoce como textura a la proporción de partículas finas del suelo de diferente tamaños: arena (diámetro entre 0,05 y 2 mm), limo (0,002 y 0,05) y arcilla (menor de 0,002 mm). Para el cultivo de trufa son recomendables las texturas tipo franco, franco arcilloso, franco limoso y franco arenoso, en general en casi todo tipo de texturas se forman truferas excepto las extremas. (Reyna, 2000).

**El pH.** El pH en truferas silvestres está entre los 7,5 y 8,5 (pH en agua).

**Caliza del suelo.** La presencia de carbonato de calcio es un requerimiento indispensable para el cultivo de *T. melanosporum.*, este compuesto viene de la roca madre del suelo y/o de los materiales gruesos (pedregosidad). Para detectar la presencia de  $\text{CaCO}_2$  (carbonato cálcico) se puede aplicar unas gotas de ácido clorhídrico al suelo y si se produce efervescencia, el suelo es calizo. La caliza total es una medida de la cantidad de partículas finas de caliza (diámetro menor a 2 mm) en el suelo. En truferas silvestres varía entre el 0 y 84%. La caliza activa es una medida de la fracción más finamente dividida, la más soluble. Varía entre el 0 y el 30%. El calcio intercambiable es una medida del calcio solubilizado en el suelo disponible para las plantas. (Reyna, 2007).

**Materia orgánica y relación C/N.** La materia orgánica en el suelo es una fuente y reserva de nutrientes para las plantas, pero al mismo tiempo aumenta la agregación del suelo, su porosidad y su capacidad de retener agua. En truferas silvestres las cantidades son variables entre el 0,5 y 17 %. En truferas de Valencia (España), hay bajos niveles cercanos al 4% y en entornos netamente forestales entre el 4 a 8%. En el sudeste de Francia los valores se mantienen entre el 1,5 y 4%, mientras que el sudoeste, con clima más atlántico, es del 4 a 8%. Para el cultivo de la trufa se recomienda valores del 1 al 10%. La relación C/N es un indicador del grado de degradación de la materia orgánica y de la velocidad de humificación. En truferas silvestres se ha encontrado valores entre 5 y 20. Para el cultivo es recomendable valores entre 5 al 15 (Olivier *et al.*, 1996).

**Conductividad.** Es una referencia de la cantidad de sales del suelo. En suelos truferos silvestres se mantiene niveles bajos de conductividad. En suelos salinos (cloruros, sulfatos, nitrato), con alta conductividad, no existen truferas, tampoco en yesosos (ricos en sulfato de calcio). Los valores elevados de conductividad pueden ser por material originario del suelo o a un exceso de fertilización. Para el cultivo de la trufa se recomiendan valores no superiores a 0,35 mmhos/cm (medida en solución 1:5) (Reyna, 2007).

**Macronutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio.** La importancia de estos 3 elementos para la producción trufera no es relevante. En general los suelos tienen suficientes cantidades para hacer viable la plantación. Además, el papel de la micorriza mejorando la asimilación de las plantas hace innecesario el abonado. Por el contrario, un exceso de nutrientes puede perjudicar la micorrización y en consecuencia la producción de trufas, ya que la idea es que la planta necesite la micorrización para obtener nutrientes y si se abona, la planta no necesitará las micorrizas. Para el cultivo de trufa, se recomiendan valores de fósforo asimilable (determinado por el método de Olsen y expresado como  $P_2O_5$ ) entre 5 y 15 ppm, valores de nitrógeno (Kjedahl) entre 0,1 y 0,5%, y valores de potasio asimilable ( $K_2O$ ) entre 50 y 200 ppm (Reyna, 2007).

#### **4.4 Interacción biológica.**

##### **4.4.1 Competencia con hongos ectomicorrícicos.**

Las trufas silvestres de *Tuber melanosporum* se han formado a partir de las esporas de esta especie que hay naturalmente en el suelo. Pero en el suelo existe también esporas de muchas otras especies de hongos micorrícicos. De acuerdo a las características ambientales del suelo (luminosidad, materia orgánica, humedad, temperatura, otros.), y las plantas simbiotas presentes, pueden dominar las micorrizas y los carpóforos de unas especies y otras (Hernandez, *et al.*, 1994).

El uso del suelo altera tanto la cantidad del inóculo micorrícico como las especies dominantes. Los terrenos que han sido cultivados mucho tiempo con plantas endomicorrícicas (almendro, cereal, viña) presentan un potencial de inóculo ectomicorrícico menor que los suelos forestales. Lo cual significa que si se planta un árbol inoculado con trufa negra en ese sector, la probabilidad de que se vea contaminado es menor que si se planta ese mismo árbol sobre suelo forestal. (Hernandez, *et al.*, 1994).

Hasta en las plantaciones trufas más cuidadas, existen micorrizas de diversas especies en las raíces de un mismo árbol. Los hongos mantienen entre ellos una dura competencia al nivel de micorrizas, pero no suelen ser desplazados de toda la raíz, debido a que el avance de los micelios



es lento ya que alrededor de un mismo árbol se generan microhábitats diferentes, en función de las características ambientales del suelo. Dependiendo de las características de cada especie (habilidad para captar los diferentes nutrientes, preferencia por un microhábitat, capacidad para protegerse, respuesta ante perturbaciones y otros), las situaciones de competencia entre dos o más hongos se solucionan de forma diferente y especies distintas pueden dominar puntos diferentes. Esta situación puede alterarse debido a un laboreo frecuente y generalizado de los quemados (Garbaye, 2003). Hongos que no conviene que haya en la zona son *Amanita solitaria*, *Scleroderma verrucosum* o *Hebeloma crustuliniforme* puesto que son especies excluyentes (García, 2007).

La trufa más competitiva con la trufa negra por el lugar de inoculación es *Tuber brumale*, que vive en el mismo tipo de suelo que *Tuber melanosporum* e incluso se adapta a suelos que no reúnen las condiciones específicas necesarias para el desarrollo de *Tuber melanosporum*. Las trufas de *Tuber brumale* pueden presentarse sobre suelos con mayores niveles de materia orgánica, peor aireados, con exceso de sombra y menos alcalinos.

Otros factores que aumentan el nivel de competencia y contaminación de otros hongos en plantaciones, es un exceso de macronutrientes (nitrógeno, fósforo) y/o exceso de agua que cambian las condiciones de suelo. Plantas con crecimiento más lento tienen menos probabilidades de contaminarse, pero demoran más en entrar en producción (Shaw *et al.*, 1996; Lulli *et al.*, 1999, Granetti *et al.*, 2005).

#### **4.4.2 Ecología de los quemados.**

El quemado se identifica con facilidad ya que la vegetación en ellos es escasa y el suelo tiende a tener un color más claro en superficie y resulta más “esponjoso” al pisarlo. Los efectos alelopáticos no solo afectan a especies vegetales sino también a los microorganismos del suelo, eliminándolos no totalmente, pero sí afectando el crecimiento y desarrollo de estos.

El suelo sufre una serie de transformaciones en la estructura y materia orgánica, que está en relación con la desaparición de las plantas del quemado. Al aparecer este fenómeno, se produce

un cambio de estructuras subangulares a granulares. Al mismo tiempo, se reduce la cantidad de agregados de mayor tamaño entre 0,25 y 2 mm de diámetro ya que desaparecen del suelo una gran cantidad de raíces de herbáceas y con ellas las fuerzas que mantenían unidos a este tipo de agregados, todo esto hace que estos suelos estén menos compactos y mejor aireados creando condiciones más oxidantes, mejora el drenaje lo que ayuda a solubilizar y movilizar la caliza del suelo y los elementos. La materia orgánica en el interior del quemado se encuentra en menor proporción que fuera de ellos y además es más evolucionada. Esta evolución hace que existan más partículas finas de materia orgánica (limo y arcilla) que serán estables y constantes en el suelo, que de tamaño arenoso (poco evolucionadas) que luego se transformarían en partículas más finas. Por ellos las trufas con muchos años presentan suelos degradados y sin la estructura inicial perdiendo porosidad y fertilidad, llegándose a observar una disminución del calibre de las trufas. Es recomendable aportar materia orgánica suficiente para mantener la estructura natural del suelo pero no para modificarla. (Callot, 1999; Reyna, 2007; Ricard, 2003).

#### **4.4.3 Vegetación asociada al quemado**

Pérez-Badía *et al.* (1999) al estudiar la flora de los quemados en trufas silvestres en la zona valenciana (España), encontraron valores medio de cobertura vegetal entorno al 15%, con mínimos inferiores al 2% y máximos cercanos al 50%. Otro estudio hecho por Aparici (2002) en Els Ports (España), estableció que la cobertura media en los quemados es cercano al 60%, aún así, la diferencia de cobertura de la vegetación con respecto al área fuera de los quemados es significativamente inferior (99%). En los quemados es normal encontrar una sola especie, mientras que fuera de esta zona las que predominan son 3 o más especies por cada punto de muestreo. Especies frecuentes encontradas en quemados en España, Francia e Italia son: *Sedum sediforme*, *Sedum rupestre*, *Sedum sexangulare*, *Helianthemum marifolium*, *Thymus vulgaris*, *Avenula bromoides*, *Koeleria vallesiana*, *Arenaria leptoclados*, *Desmazeria rigida*, *Anagallis foemina*, *Chaenorrhinum minus*, *Gaelopsis angustifolia*, *Silene vulgaris vulgaris*, *Desmazeria rigida*, *Festuca ovina*, *Carex hallerana*, *Agropyrum repens* y *Hieracium pilosella*, esta última especie, además de pertenecer a esta categoría sirve como indicadora de que los quemados están

dejando de producir al establecerse rápidamente (Bencivenga *et al.*, 1988; Olivier *et al.*, 1996; Ruiz *et al.*, 2003; González *et al.*, 2005).

#### **4.4.4 Fauna y microflora en los suelos truferos.**

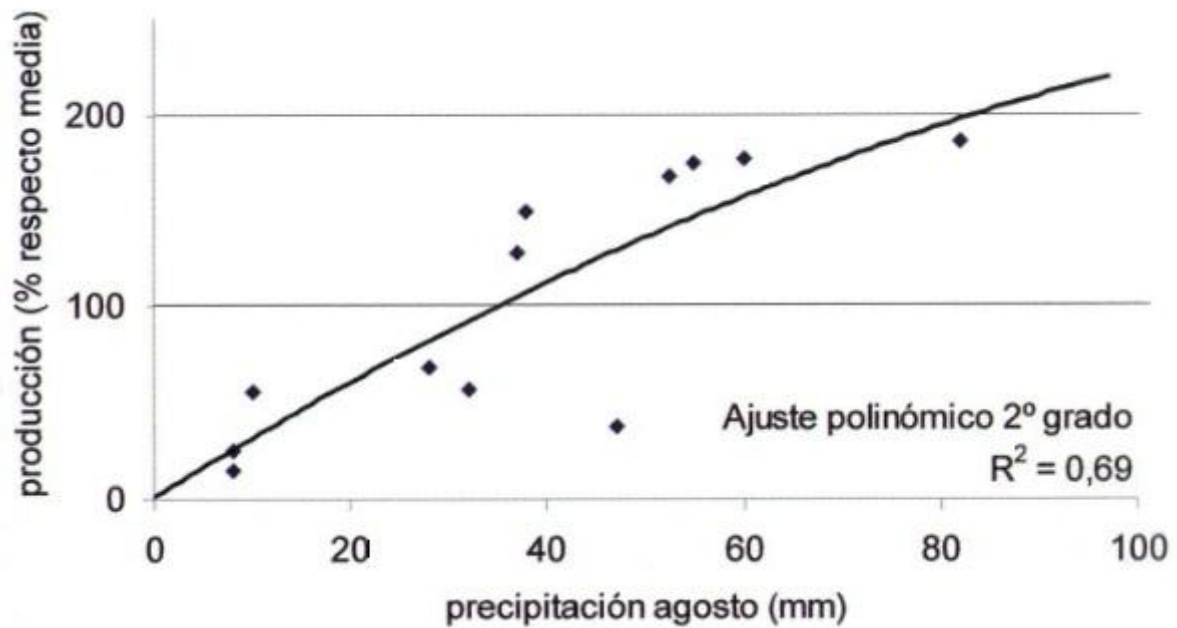
Los suelos son un medio vivo, en el que numerosos organismos viven e interaccionan. En este ecosistema, las bacterias desempeñan diversos papeles: degradan la materia orgánica y suponen una competencia para los hongos cuando la humedad del suelo es elevada, pero en algunas ocasiones favorecen el proceso de micorrización. Por su parte los hongos también descomponen materia orgánica y en el caso de hongos ectomicorrizicos compiten por inocular los ápices radiculares de las plantas simbiotas (Granetti *et al.*, 2005). La microfauna (nematodos, protozoos, otros), también transforman la materia orgánica, se alimentan de hongos y bacterias por lo que pueden regular las relaciones de competencia de estos organismos. Las lombrices y las hormigas juegan un rol positivo en los quemados, mejorando la estructura del suelo descompactandola, mejorando el drenaje y aireación, y aumenta la cantidad de carbonato de calcio en la superficie. Todo ello favorece la producción de trufas (Callot, 1999). Hay enemigos naturales de las trufas, consumidores como insectos y mamíferos, y plagas y enfermedades de los árboles simbiotas. Estas plagas y enfermedades en plantaciones adultas no producen gran daño, pero en plantaciones jóvenes pueden ser catastróficas. Aunque no provoquen la muerte de la planta, si limitan su crecimiento y desarrollo y retardan la aparición de quemados. El mismo efecto pueden tener factores abióticos como heladas y periodos de calor intenso. Por esto es importante que las plántulas pasen un tiempo prudente en vivero con tal de fortalecerse (Reyna, 2000).

#### **4.4.5 Influencia climática en trufas.**

La irregular cosecha durante los años se puede explicar en parte en relación a las lluvias estivales. El análisis de 2 explotaciones trufas con datos de 13 años (1973 y 1990) se apreció que los años de buena producción (mayor que la media) las precipitaciones alcanzan 40 mm y más en pleno verano (agosto para hemisferio norte, febrero para el sur). En Francia, se calculó que los mejores años de cosecha son aquellos en los que el verano presenta precipitaciones 3 y 4 veces el valor de la temperatura media (Ricard, 2003).

En plantaciones francesas se ha observado que un riego excesivo (150-200 mm) produce una disminución gradual de la producción (Ricard, 2003). Durante todo el proceso de crecimiento y desarrollo, el carpóforo necesita temperatura elevada y una cierta humedad en el suelo, mientras que en invierno necesita temperatura más baja para madurar (Callot, 1999). Se calcula que durante el verano las trufas son capaces de resistir 30-35 días sin lluvia (Ricard, 2003).

La falta absoluta de lluvias, fríos intensos y prolongados en primavera puede reducir la formación de primordios y su supervivencia. El calor intenso en verano puede también provocar la mortalidad de pequeñas trufas. En otoño, lluvias torrenciales y continuas pueden generar humedad excesiva en el suelo afectando la respiración de los carpóforos, mientras que en invierno intensas y prolongadas heladas pueden provocar pudrición en la trufa (Reyna, 2000).



**Figura 20.** Relación de precipitaciones del mes de agosto (verano) y la producción de trufa en 2 explotaciones truferas en Castellón, España. El valor de producción 100 representa la media de las plantaciones (Ricard, 2003).

El grado de influencia de todos estos sucesos en la trufa, dependerá del tipo de suelo y la profundidad en el que se genere el carpóforo, pero sobre todo de que las condiciones climáticas se prolonguen en el tiempo, ya que la trufa es capaz de soportar periodos de sucesos extremos ya que vive bajo la superficie del suelo que la protege (Trappe *et al.*, 1999).

## 5. ASPECTOS GENERALES DE PRODUCCIÓN CONTROLADA DE PLANTA MICORRIZADA

La producción controlada de plantas micorrizadas consiste básicamente en poner en contacto las raíces de una planta hospedera con esporas o micelio del hongo para, con condiciones ambientales y metodología determinada, poder reproducir aquello que en la naturaleza constituye un proceso espontáneo, en donde las esporas del hongo micorrízico germinan cerca de la raíz, las hifas penetran en/entre las células corticales y dan lugar a formaciones o estructuras denominadas micorrizas (Reyna *et al.*, 2000).

### 5.1 Aspectos a considerar previo a la etapa de inoculación

La técnica de inoculación a tratar, está basada en la obtención de plantas de encina que por diversas razones como, adaptación a distintos suelos, sistema radical que facilita la colonización del hongo, además es una especie que tiene una entrada en producción media de 10 años y el mantenimiento de la misma por encima de los 35 a 40 años con trufas de alta calidad, es la especie más utilizadas en los viveros para su inoculación.

**Material vegetal.** La producción se inicia con la desinfección de semillas (bellotas), mediante inmersión de las mismas en solución de hipoclorito de sodio diluida al 20%, durante 5 minutos, luego se lava con agua destilada en preferencia, para eliminar restos de la solución. Luego, se preparara el sustrato donde van a ser sembradas las semillas, perlita o vermiculita se depositan en cajas o contenedores con base abierta enrejilladas para favorecer el repicado de las raíces, que es importante para no producir plantas con deformaciones de la raíz pivotante y un escaso desarrollo de raíces secundarias y tróficas. Después viene la siembra y con ella un tiempo de 3 a 4 meses, y dependiendo de la temperatura del invernadero las plantas estarán listas para su inoculación rechazando aquellas plantas que no reúnan requisitos de calidad, como altura de la parte aérea menor al doble de la longitud del cepillón (lugar de la raíz), la raíz pivotante debe estar bien repicada sin ángulos inferiores a 110°, no tener raíces secundarias ascendentes, tener raíces secundarias a lo largo de la raíz pivotante, con una abundancia de raíces tróficas, debe

estar sana en la parte aérea como radical, sin pudrición o desecación y la planta debe haber pasado un periodo de endurecimiento y tener el cuello lignificado (Palazón *et al.*, 1999).

**Material fúngico.** Los factores a tener en cuenta en el uso del material fúngico son la especie de *Tuber* escogida, comprobando esto mediante análisis al microscopio de fragmento de gleba, grado de madurez, calidad esporal y tamaño de los carpóforos

Las trufas utilizadas deben ser previamente cepilladas, lavadas y desinfectadas exteriormente para evitar introducir algún contaminante indeseado. Para la desinfección, los carpóforos se sumergen en etanol al 90% y, con ayuda de pinzas, se flamean hasta que el alcohol se haya evaporado de la superficie y la llama se extinga. Este procedimiento es altamente peligroso por lo que las medidas de seguridad deben ser estrictas (Palazón *et al.*, 1999).

**Sustrato de cultivo.** Componente de gran trascendencia para el éxito de la micorrización, debiendo reunir características adecuadas. Este sustrato se elabora con variados componentes como turba, vermiculita, arena, ceniza de leña, dolomita y compost de naturaleza diversa. Este sustrato debe ser un medio en el que tanto el hongo como la planta se desarrollen con normalidad para poder establecer la simbiosis. Lo principal es llevar el pH a niveles cercanos a 8 e incluir abonos de liberación lenta, con bajo contenido de nitrógeno, que faciliten la fertilización a lo largo de los siguientes meses. Para elevar el pH se emplea soluciones diluidas de hidróxido de potasio (KOH) a dosis que se calculan mediante una valoración volumétrica, realizada por un laboratorio químico. Las mezclas para obtener un sustrato no son siempre iguales y varían entre viveristas, en el Cuadro 7 se muestran ejemplos de distintos sustratos utilizados por el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA) del Gobierno de Aragón (Palazón *et al.*, 1997).

**Cuadro 7.** Componentes de algunos sustratos utilizados en el CITA. para la micorrización de plantas con *Tuber melanosporum*.

Componentes	SUSTRATO (%)							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
<b>Suelo trufero</b>	67,0		64,42				65,04	
<b>Humin substrat de tipo 4</b>	25,0		24,04				24,37	85,62
<b>Vermiculita n° 3</b>	8,0	32,04	7,69	32,04	13,66	31,73	7,77	12,23
<b>Turba</b>		65,05		65,05	40,98	64,42		
<b>Dolomita</b>		2,91	3,85					
<b>CaCO<sub>3</sub></b>				2,91		2,88	2,91	1,47
<b>Ceniza de lignito</b>					4,38			
<b>KOH</b>						0,97		0,68
<b>Ph</b>	7,92	7,80	7,80	7,91		7,9	7,95	7,97

Palazón *et al.*, 1997.

Una cualidad que deben tener los sustratos es la de ser esponjosos, buena aireación y características físicas que permitan mantener buena humedad pero sin retención de agua; necesariamente en todos los casos se debe realizar una esterilización del sustrato, que puede ser mediante la solarización con ayuda de coberturas de laminas de polietileno durante el periodo estival, o por desinfección con vapor, práctica habitual en viveros, El vapor se obtiene de una caldera móvil que lo envía, mediante una serie de tuberías, hacia contenedores con el sustrato a esterilizar, provisto en su interior de un sistema de tubos que permite una mejor distribución del vapor en el interior del contenedor. El duración del tratamiento determinara si la esterilización es total (90 a 100°C durante 3 horas) o parcial (70°C durante 30 minutos) (Palazón *et al.*, 1999)

**Contenedores.** La forma y tamaño del contenedor que alberga los sustratos tienen gran importancia ya que van hacer donde alojen las raíces de las plantas a micorrizar. Deben tener una capacidad mínima de 450 ml. Suelen ser de PVC, deben estar dispuestos con sus bases al aire, con la idea de continuar el repicado y continuar con la emisión de raíces secundarias.

En la Figura 21 se esquematiza la secuencia de hechos para la inoculación y post micorrización de una planta hospedera de *Tuber melanosporum*.





**Figura 21.** Esquema resumen sobre la micorrización de la encina con trufa negra (Reyna, 2000)

## 5.2 Métodos de inoculación

Una vez obtenida la planta y elegido el sustrato llega el momento de la decisión de cómo inocular a partir de las trufas seleccionadas. Las dosis utilizadas oscilan entre 1 a 5 gramos de trufa fresca por planta, y el tiempo de inoculación va determinando por el momento fenológico de las plántulas, con un mínimo de 8 a 10 hojas verdaderas y un desarrollo compensado (10 - 10cm) en su parte aérea y radical (Cartié *et al.*, 1996).

La inoculación puede perturbar el desarrollo de las plantas, a pesar del carácter beneficioso de la simbiosis mutualista, la planta puede no reconocer el carácter de no patógeno del hongo y reaccionar como si fuera una agresión a su sistema radicular, lo que conlleva situaciones de estrés que pueden conducir a la muerte de la planta. Un porcentaje de mortalidad está entre un 2 a 10%. Hay varias metodologías empleadas para la inoculación (inoculación tradicional, por

espolvoreo, por inyección, por inmersión, por micorrizas, por riego y en cajones de estratificación), pero muchas veces son los detalles los que convierten un método más eficaz que otro. Entre los métodos más ocupados esta la inoculación tradicional, por espolvoreo, por riego y por inmersión (Cartié *et al.*, 1996).

**Inoculación tradicional.** Se trituran carpóforos y se reparte homogéneamente el triturado en el contenedor donde están las plántulas. (Reyna, 2007)

**Inoculación por espolvoreo.** Se corta la trufa en láminas, se seca a temperatura ambiente y luego se tritura al tamaño más reducido posible dando lugar a un polvo de trufas. Este triturado se distribuye en las raíces desnudas de las plantas previamente a su trasplante en el contenedor. Este método distribuye mejor las esporas por lo que solo se necesita entre 1 a 3 gramos por planta (Reyna, 2007).

**Inoculación por riego.** Consiste en preparar una solución acuosa para luego poderla incorporar mediante riego, cuidando de que el volumen aportado no percole o filtre (Reyna, 2007)

**Inoculación por inmersión.** Se prepara una suspensión de trufa en alguna papilla o puré gelosado con una relativa viscosidad y adherencia hacia las raíces. Se procede a la inmersión de la planta a raíz desnuda previamente a su trasplante, lo que permite incorporar el inóculo y repartirlo en toda la superficie radical uniformemente. Entre los medios gelosados utilizados se encuentra el alginato de sodio en agua al 0,75%. (Reyna, 2007)

Una técnica innovadora utilizada de manera experimental en laboratorio e invernadero es la utilización de esferas de alginato de calcio, las que en su interior contienen una fracción pura del hongo mezclado con turba molida. Esta técnica de inoculación permite producir grandes cantidades de esferas a partir de una reducida cantidad de inóculo (Nuñez, R. 2003)

Los tiempos de formación de micorrizas para poder llegar a plantar en terreno varían entre 7 a 9 meses.

## **6. TRUFICULTURA**

Para el cultivo de la trufa se necesitan características climáticas y de suelo propias del área donde se desarrolla el hongo naturalmente, además, después de años de estudio sobre el comportamiento y desarrollo de la trufa, se ha podido establecer cuáles son las variables que son manipulables y modificables que ayuden al éxito en el cultivo. Una vez decidido intentar el cultivo, lo primero, y más determinante para un posible éxito, es la elección del terreno.

### **6.1 Establecimiento de la plantación**

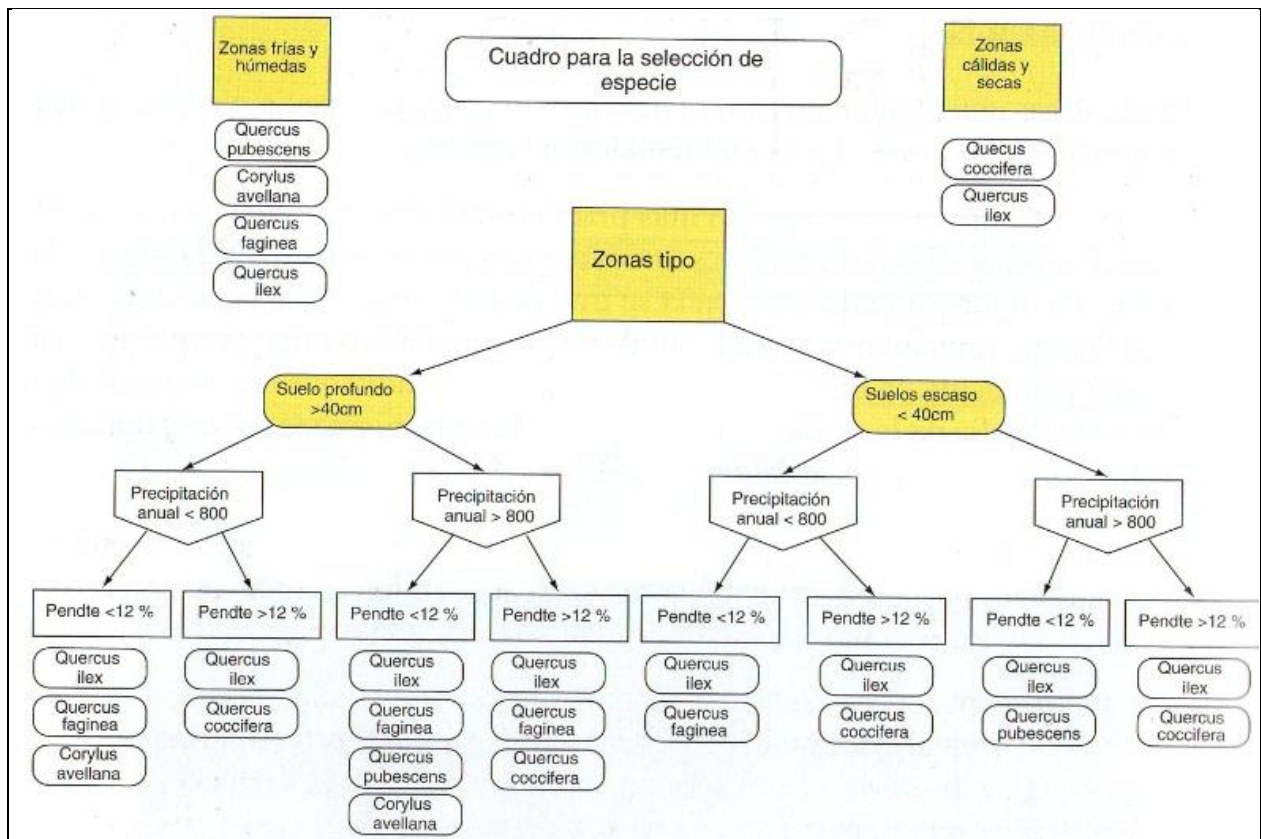
#### **6.1.1 Elección del terreno.**

Debe reunir características edafoclimáticas similares a las que hay en zonas donde la trufa vive naturalmente, las que fueron descritas en el capítulo 5 (Ecología de la trufa). Es de tener en consideración que el cultivo debe orientarse como una alternativa al cultivo agrícola a desarrollarse en suelos marginales, más que como una reforestación, ya que si se planta en suelos de uso forestal el riesgo de contaminación por otros hongos ectomicorrizicos es mayor que en otros suelos de uso agrícola, además, si al cabo de 10 años no se obtuvieron trufas a nivel comercial y la trufera se puso en suelo forestal, la próxima utilización de ese terreno también va a ser forestal y se perderían 10 o más años de posibles utilidades esperando que crezcan los árboles, y en suelos agrícolas solo se perdería el tiempo que estuvo la trufera establecida (Reyna, 2007).

Es imprescindible que el suelo sea calizo y que no posea napa freática superficial (1,5 m de profundidad). Algunos autores como Garland (1999), Hall (2000) y Garvey y Cooper (2004) señalan que también es posible el cultivo en suelos ácidos, similares a los de la zona centro-sur de Chile, siempre que se empleen grandes cantidades de enmienda calcárea (carbonato de calcio) capaces de subir el pH a niveles de suelos truferos.

### 6.1.2 Elección de especie hospedero

Para la elección de la especie o especies, es necesario conocer las características ambientales del terreno, que puedan brindar condiciones adecuadas para el hospedero. Otro factor importante, es la facilidad que tenga la especie de generar micorrizas con el hongo y los antecedentes históricos productivos en cantidad y número de años. El criterio a considerar parte del supuesto de que la plantación no se va a regar y que se labrará si el terreno tiene una pendiente inferior al 12% (Reyna, 2000).



**Figura 22.** Información referencial para la elección de especie hospedera.

### 6.1.3 Preparación del terreno.

Se debe tener en cuenta que toda preparación del suelo se hace 1 temporada antes, esto para alcanzar hacer correcciones de pH, labores correspondientes de suelo y lo que demora una planta micorrizada en estar lista en invernadero. La preparación del terreno depende del uso de suelo anterior, si era de uso forestal, o era arbolado o de matorrales lo ideal sería transformarlo a suelo de uso agrícola cultivándolo por lo menos 2 años antes del establecimiento de árboles truferos, todo esto para disminuir el riesgo de inóculos de otros hongos. También es recomendable que se despeje el área de todo tipo de restos de troncos y ramas enterrados que podrían ser hospederos de hongos patógenos especialmente *Aemillaria sp.*, que podría atacar las raíces de las jóvenes encinas. Para esto es favorable pero cuestionable, la quema *in situ* de estos rastrojos. La ceniza sube el pH y el calor esteriliza la superficie del suelo. (Reyna, 2000; Bonet, 2006; Sourzat, 2006).

La etapa siguiente es el laboreo del suelo y se inicia con una labor profunda con la intención de romper el pie de arado y dejar el suelo más aireado y con mejor drenaje, para este trabajo se utilizaría un subsolador a unos 60 a 80 cm de profundidad en época de verano con el suelo seco. Luego labores más superficiales con arado de discos, vibro cultivadores para mullir y dejar parejo el terreno (Sourzat, 1994; Sáez y De Miguel, 1995; Reyna, 2007; Bonet, 2006; Di Massimo, 2006).

También, si lo amerita, es el momento indicado para hacer correcciones de pH con enmiendas calcáreas de carbonato de calcio, aprovechando el laboreo del suelo que ayudaría a incorporar más rápido el calcio activo al suelo, con dosis correspondientes para llevar el pH a niveles cercanos a 8 (7,5 – 8,5). También es recomendable la incorporación de cal de mayor granulometría que aportarían gradualmente calcio al suelo (Puvogel, 2006).

### 6.1.4 Marco de plantación.

La densidad de plantación dependerá de factores propios de la planta, del terreno y de la relación entre ambos. Si la especie a plantar es de crecimiento voluminoso y alto (*Quercus sp*) los marcos

de plantación van a ser mayores (densidad baja de árboles/ha) puesto que necesitaran más espacio para crecer, y no produzcan sombreado rápido y severo.

Los suelos en cuanto a su fertilidad, profundidad, contenido de materia orgánica, riego o no también son factores importantes a considerar, suelos fértiles las densidad son menores debido al tamaño que podrían alcanzar los árboles; en suelos secos y sin riego la densidad igual sería baja para disminuir el nivel de competencia del recurso y evitar complicaciones por estrés hídrico. El costo de las plantas en el vivero también es un factor importante en la decisión de densidades de plantación puesto que la idea hacer plantaciones rentables minimizando costos (Reyna, 2000, Sourzat, 2006, Di Massimo, 2006).

En plantaciones densas la entrada en producción es más rápida pero las complicaciones por sombreado generan la controversia de cuales árboles quitar para resolver el problema pudiendo eliminar un árbol con buena producción de trufa. Los marcos de plantación más utilizados son los siguientes, cuadro 8.

**Cuadro 8.** Marcos de plantación sugeridos por especie.

Especie	Sin riego			Con riego		
	m <sup>2</sup> /planta	Marcos (m)	Plantas/ha	m <sup>2</sup> /planta	Marcos (m)	Plantas/ha
<i>Corylus avellana</i>	30 a 50	6x5 a 7x7	333 a 200	25 a 35	5x5 a 7x5	400 a 286
<i>Quercus ilex</i>	20 a 30	4x5 a 6x5	500 a 333	20 a 25	4x5 a 5x5	500 a 400
<i>Quercus faginea</i> <i>Quercus pubescente</i>	30 a 60	6x5 a 7x8	333 a 167	30 a 50	6x5 a 7x7	333 a 200

Fuente: Reyna, 2007

### 6.1.5 Plantación.

Lo primero es decidir cuándo plantar y para esto hay que tener en consideración el clima del sector. Para especies perennes como la encina se debe plantar a principios o mediados de primavera, en el caso de las especies caducas como el avellano europeo, la plantación se debe hacer cuando la planta está en estado de receso (invierno).

Decidido el marco de plantación y luego de las labores de suelo se procede a marcar con estacas los lugares donde va a plantarse cada árbol. Las plantas deben llegar bien regadas (no en exceso) para poder sacarlas fácil del contenedor sin que se desarmen, y el suelo también debe estar húmedo lo suficiente. Con un azadón se hace el hoyo y luego se coloca la planta y se tapa con el mismo sustrato, se añade agua a razón de 3 a 4 litros por planta y se pisotea un poco. Si se desea se puede añadir un poco de tierra seca o *mulch* orgánico para evitar la evaporación, además si existe riesgo de ataque de algunos animales se puede añadir tubos o rejillas protectoras alrededor del árbol (Puvogel, 2006).



**Figura 23.** Labores de plantación. (Fuente: Reyna, 2007)

## 6.2 Manejo cultural de la plantación.

A diferencia del cultivo de frutales, donde se puede apreciar hechos claros lo que está ocurriendo con la plantación, como desarrollo del árbol, brotación, vigor, floración, y según esos parámetros ejecutar o no alguna labor cultural, con las trufas hay incertidumbre de lo que pueda estar pasando bajo suelo, de si el hongo que formo micorrizas con el árbol sigue aun ahí o fue desplazado por otro, si sobrevivió en el transcurso de los años o si la cantidad hídrica fue suficiente o fue un exceso. Al cabo de 4 a 7 años estas interrogantes se van dilucidando con la aparición o no de los quemados, que si bien son indicadores de la presencia del hongo, no son



concluyentes. Solo luego de 5 a 10 años se podrá saber con certeza lo que está ocurriendo, con la producción de las primeras trufas (Reyna, 2000; Hall, 2001).

El manejo cultural se hace principalmente para controlar humedad e insolación del suelo. Se debe tener en cuenta que hay 3 periodos de producción. El primer periodo es de colonización y enraizamiento desde la plantación hasta la aparición de los quemados, un segundo periodo de asentamiento desde la aparición de quemados a la entrada en producción y un tercero que sería el de plena producción. Los trabajos culturales se pueden dividir de acuerdo a estos 3 periodos (Reyna, 2000).

### **6.2.1 Periodo de colonización.**

En este periodo de colonización se produce la extensión del micelio y la proliferación de micorrizas por la raíz. Las acciones a realizar tienen que ser lo menos invasivas posibles tratando de mantener la naturalidad del ambiente para evitar la invasión de otros hongos, respetando las sequías con no más de 20 días sin lluvias, en general el Género *Tuber* en condiciones adversas es competitivo y produce efectos alelopáticos hacia otras especies. Este período comprendería entre 5 a 10 años (Reyna, 2000).

**Laboreo del suelo.** El laboreo del suelo tiene como objetivo eliminar malezas competidoras por nutrientes y agua, mantener la aireación del suelo, mantener el drenaje, y disminuir la evaporación del agua al romper los capilares superficiales que se forman entre las partículas del suelo.

Durante los 3 a 4 primeros años se deben hacer movimientos superficiales de suelo con azadón alrededor de las plantas con la finalidad de remover malezas y contribuir a la retención de humedad. Se deben hacer labores con arados de disco o vibrocultivador no más de 20 cm, que sean robustos, ya que lo normal es que el suelo sea pedregoso. Siempre teniendo cuidado de no acercarse mucho a las plantas ni a la zona radical del momento. Los aperos deben lavarse antes de entrar a la plantación para evitar contaminación con hongos indeseables (Reyna, 2007).





**Figura 24.** Vibrocultivador ocupado en labores de suelo en trufas ([www.agriaffaires.es](http://www.agriaffaires.es)).

**Riego.** Para el primer año si se presenta un periodo muy seco es recomendable un riego de apoyo para asegurar el arraigo de la planta. El dejar las plantas con periodos secos provoca crecimiento de las raíces que será beneficioso en el futuro. No más de 10 a 15 litros por planta cada 3 semanas en el periodo seco son suficientes. Tras el riego es bueno cubrir el area mojada con tierra para evitar evaporación y mantener la humedad. Para el resto del periodo de colonización los riegos deben ser los mínimos imprescindibles. Si el volumen de agua en el suelo no es el debido (exceso o déficit) la planta dejará de formar micorrizas y las formará con otros hongos. Así la cantidad como la distribución del agua para el periodo estival son importantes para la proliferación del hongo. Cada 3 semanas desde el comienzo del periodo seco hasta la llegada aguas lluvias serían necesarios (Reyna, 2000)

Las cantidades de agua a aportar deben calcularse para cada plantación en función del suelo y meteorología. Es recomendable la instalación de un pluviómetro para datos obtener datos de precipitaciones (P.P), y con datos de los servicios locales de agricultura sobre evapotranspiración

(E.T) se podrá calcular el déficit hídrico, que será la diferencia entre los 2 datos (precipitación – evapotranspiración = D.H.), considerando un periodo de 3 semanas. El riego no debe superar la mitad del déficit hídrico del periodo, cantidad que puede aumentarse si el suelo es más arenoso y disminuirse en suelos menos arenosos. El cálculo se hará en base a l/m<sup>2</sup>. En casos de que el déficit sea menor a 5 l no se riega. Antes de la aparición de quemados no es recomendable la incorporación de sistemas de riego (aspersión o microaspersión) ya que obligaría a continuas labores de suelo para quitar malezas. Ya que los volúmenes de agua son pequeños lo mejor para este periodo es regar manualmente con una manguera unida a un estanque acoplado al tractor. Además permite postergar la inversión (Bonet, Fischer y Colinas, 2006).

**Cuadro 9.** Cálculo de riego para una plantación del hemisferio sur.

Periodo	Fecha inicio	Fecha final	P.P (l/m <sup>2</sup> )	E.T (l/m <sup>2</sup> )	D.H (l/m <sup>2</sup> )	Riego	Comentario
1	27-sep	17-oct	60	51	9	0	Sin riego
2	17-oct	08-nov	114	65	49	0	Sin riego
3	08-nov	29-nov	80	84	-4	2	Sin riego, D.H < a 5
4	29-nov	19-dic	14	104	-90	45	Se riega la mitad del D.H
5	19-dic	10-ene	11	109	-98	49	
6	10-ene	31-ene	17	97	-80	40	
7	31-ene	21-feb	19	90	-71	35	
8	21-feb	14-mar	12	82	-70	0	Permitir E. hidrico
9	14-mar	04-abr	82	56	26	0	Sin riego

Reyna, 2007

**Acolchado.** Acolchado se le llama a la práctica de recubrir un suelo con restos vegetales y otro material inerte con la finalidad de conservar humedad y limitar el crecimiento de malezas. Para este periodo es importante siempre que no sea excesivo y eleve la temperatura del suelo, ya que la trufa en este periodo prolifera mejor a menores temperaturas. (Olivera *et al.*, 2006).

**Poda.** La poda tiene como objetivos principales permitir la insolación del quemado y su aireación dando al árbol forma de cono invertido, lograr un crecimiento equilibrado del árbol, controlar la densidad de ramas evitando el crecimiento excesivo del árbol. Para el periodo, este procedimiento no es importante ya que todavía el árbol es pequeño y no afecta la insolación del suelo.

**Fertilización.** No son recomendables ni necesarios.

### 6.2.2 Periodo de asentamiento

La trufa para este periodo ya alcanzo una masa importante de micelio y micorrizas. Es importante ir con cautela con las labores porque podría pasar de que si se riega, labra y además se hace acolchado va a provocar excesiva humedad, pero esas labores efectuadas de forma independiente hubiesen sido positivas. Este periodo se desarrolla entre los años 4 y 10, a partir del 7 u 8 año con posibles trufas y para el 10 a 12 año, la plantación debiera estar en producción (Hall, *et al.*, 2001).

**Laboreo del suelo.** Con la aparición de quemados el laboreo se vuelve innecesario ya que la generación de sustancia alelopáticas del micelio impide el crecimiento de malezas. Se puede mantener laboreo superficial (10 cm), entre hilera en primavera (Reyna, 2000)

**Riego.** Periodo de transición, en la que el riego deberá ir cambiando de forma desde el periodo de colonización al de periodo de producción.

**Acolchado.** Se aplicará con el mismo criterio del periodo de colonización (Olivera, *et al.*, 2006).

**Poda.** La poda de formación que va a guiar al árbol a tener la forma apropiada para una mejor insolación del suelo son podas ligeras, que se hacen en el periodo activo de la planta (en verde), evitando el crecimiento de rebrotes de base. La forma que se busca es la de cono invertido. Las heridas deben protegerse con productos fungicidas (Reyna, 2007).

**Abonados.** No son recomendables ni necesarios.

### 6.2.3 Periodo de producción

**Laboreo del suelo.** El laboreo se requiere cada vez menos, las sustancias alelopáticas disminuyen el crecimiento de malezas y los quemados abarcan mayor área, por lo que esta práctica cultural se torna innecesaria y peligrosa. El laboreo se hará a no más de 10 cm de

profundizada con vibrocultivadores y se hará 1 vez al año entre el periodo de recolección y primavera (Reyna, 2007).

**Riego.** El riego es el sistema más eficaz para mejorar la producción de trufas, ya que se evita la sequias. En Soria está la plantación más grande del mundo con 500 ha, se riega por aspersión incorporando entre riego y lluvias 158 l/m<sup>2</sup>/mes julio-agosto (enero-febrero) en donde permiten períodos secos de no más de 20 días (Reyna, 2007).

**Sistemas de riego.** El sistema de riego por goteo, si bien se ahorra agua, la presión de trabajo es mínima, el área mojada no supera el 25% del suelo. Para plantaciones pequeñas (10-15 ha) la mejor forma de riego es la micro aspersión que abarca mayor superficie de riego. Para plantaciones entre 10 y 30 ha es recomendable el riego por aspersión con cobertura total y para mayores plantaciones la utilización del carrete autoenrollable (Reyna, 2007).

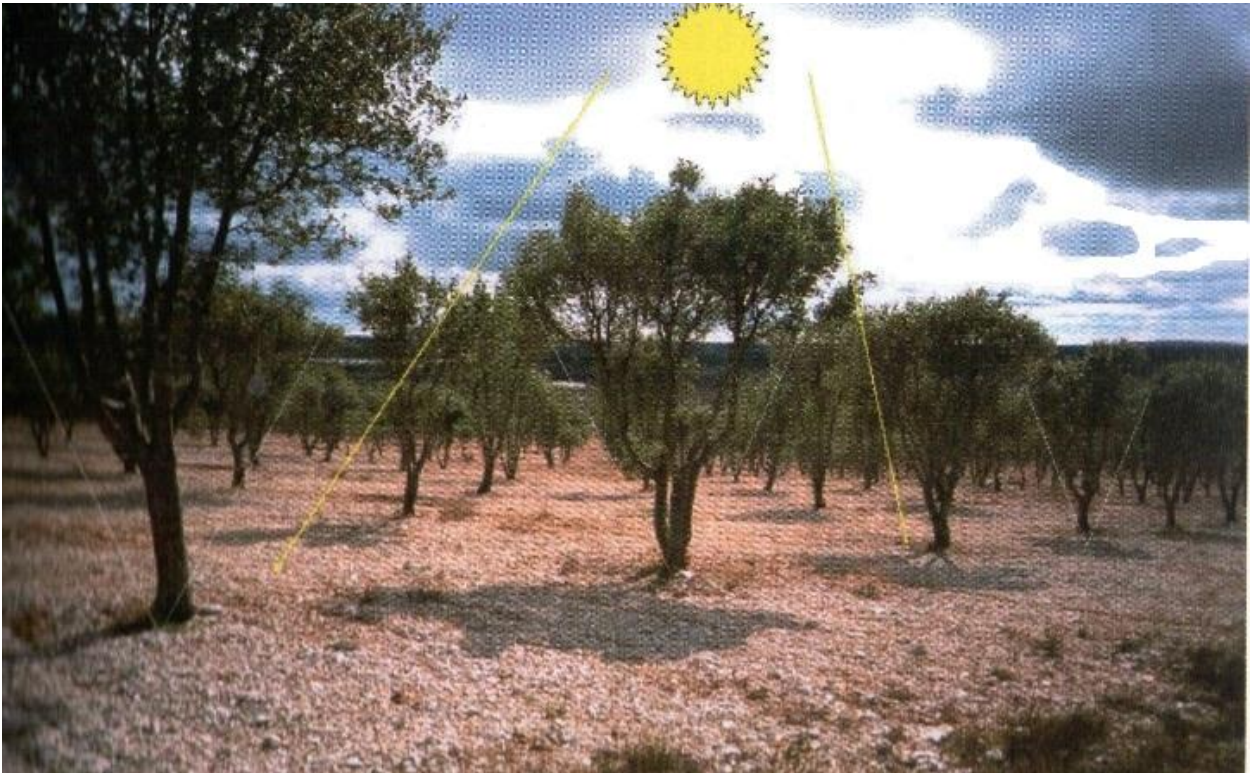


**Figura 25.** Riego de una trufera por aspersión con cobertura total. (Fuente:Reyna, 2007).

**Acolchado.** Como ya se señaló, esta práctica busca conservar la humedad del suelo. Se acostumbra a ir tapando las truferas con piedras gruesas ojala planas, muchas veces esa función la hacen las mismas piedras naturales del suelo. La utilización de mulch de polietileno tiene el inconveniente de sobrecalentar el suelo y no dejar pasar las aguas lluvias por lo que este método no es recomendable. El uso de material vegetal tiene sus cuidados, hay que tener en cuenta de no incorporar materia orgánica en el suelo especialmente si es de carácter ácido (coníferas) o se puede modificar la relación carbono/nitrógeno (cereales). Es recomendable colocar este tipo de cubiertas antes que comience la sequía y retirarlas una vez terminado el periodo. Por otro lado es posible que se lleven esporas de hongos indeseados o semillas de la planta utilizada como acolchado que podría germinar y competir por el agua que se pretende conservar (Olivier *et al.*, 1996).

**Poda.** Conservando los mismos objetivos ya planteados la intensidad de la poda sigue baja evitando desequilibrios nutricionales y fisiológicos evitando la poda de ramas muy gruesas. La intensidad de la poda nunca debe eliminar más del 15 al 20% de la masa foliar. Para edades entre 3 a 10 años las podas son anuales, de 10 a 20 años cada 2 años y > a 20 años cada 3 a 5 años según se requiera. La época de poda en este periodo es a finales de cosecha (agosto) cuando el árbol está en receso invernal (Reyna, 2000)





**Figura 26.** Árbol que a base de podas, creció en forma de cono invertido permitiendo una mejor insulación del suelo (Reyna, 2000).

**Abonados.** La simbiosis hace que el árbol se suministre con elementos como nitrógeno, fosforo y potasio, un abonado podría producir que el árbol prescindiera de la trufa.

La incorporación de elementos químicos es primordial cuando se trata de suelos con pH bajo, en requerimiento, se necesitara incorporar enmiendas calcareas antes y durante la plantación a modo de mantener la alcalinidad constante.

**Tratamientos fitosanitarios y agroquímicos.** Los herbicidas no son necesario ya que la trufa misma se encarga de producir estas sustancias. Además con el laboreo del suelo es suficiente para controlar las malezas.

El ataque de hongos patógenos foliares, como el oidio y fumagina no afectan a la trufa y rara vez ponen en peligro la vida del árbol. Sequías intensas, exceso de humedad, podas excesivas u otra particularidad que ocasione desequilibrios graves podrían hacer que el árbol se debilite y

presente síntomas y/o signos de alguna infección. Problemas causados por el ataque de *Armillaria sp.* Son de preocupación ya que ataca la raíz afectando directamente la micorrización de la trufa. El ataque no se puede combatir solo prevenir retirando todo rastrojo de madera en el suelo que pueda ser hospedero de este hongo. Otro problema causado por hongos es cuando penetran por heridas y afectan al interior del árbol (duramen), causando pudrición y finalmente la caída del árbol. Solo se puede evitar, no tratar y se hace desinfectando las heridas de poda (Frochot, *et al.*, 1990)

Para *Corylus avellana* se describen alrededor de 15 especies de hongos importantes causantes de daños en diferentes estructuras del árbol y otros 10 agentes infectivos importantes entre bacterias, virus y nematodos. Son de importancia, enfermedades que afectan a nivel foliar causadas por *Pseudomonas*, ApMV, a nivel de ramas ,tronco y raíces como *Macrophomina*, *Meloidogyne*, *Paratylenchus*, *Agrobacterium*, *Pratylenchus*, *Xiphinema*, y de gran importancia la mencionada *Armillaria sp.* y *Phytophthora sp.* que afectan la zona radicular influyendo directamente a la trufa. Todas estas enfermedades se pueden prevenir con cuidadosos métodos preventivos como uso de material libre de enfermedades, selección del suelo libre de patógenos, control de malezas, desinfección de material de plantación, plantación de plantas sanas y vigorosas (Aguilera *et al.*, 2011).

Ataques de insectos como *Lymantria dispar* en encinas puede producir defoliaciones sin mayores perjuicios, *Coroebus sp.* puede producir el secado de ramas pero sin mayor importancia. Ataques de *Kermes vermilio* y *K. ilicis* pueden provocar defoliaciones en algunos árboles pero siempre casos aislados (Martin *et al.*, 2002).

Otro invasor que afecta directamente a las trufas pero que se usa para saber del lugar donde se encuentran, es la mosca *Helomyza tuverivora syn Suilla gigantea* que afecta sin mayores problemas.

**Cosecha.** Para este propósito al estar las trufas bajo suelo y no saber específicamente en que sector del quemado se encuentran es que se adiestran perros capaces de identificarlas a través del olfato. Esta búsqueda se hace en periodo de maduración de la trufa (invierno) (Reyna, 2007).

## 7. EXPERIENCIA EN CHILE EN TRUFICULTURA

La introducción de este hongo en Chile se produjo gracias a un proyecto FIA en el que participó la Universidad Católica del Maule y la Fundación CEAM de España (Centro de Estudios Ambientales del Mediterraneo), el año 2003 en el que se logró adaptar las técnicas de cultivo a nuestra realidad local (FIA, 2009).

Entre los resultados obtenidos a través de dicho proyecto podemos citar el desarrollo e implementación con éxito de técnicas de inoculación y cultivo en vivero para la producción de plantas de encina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*), encino común (*Quercus robur*) y avellano europeo (*Corylus avellana*) con trufa negra (*Tuber melanosporum*). Los ensayos de inoculación con especies del género *Nothofagus* resultaron interesantes pero requieren de mayor investigación y desarrollo. Por otra parte, se implementaron protocolos para el control del proceso de inoculación y calidad de plantas micorrizadas con *Tuber melanosporum* en vivero, y se evaluaron los niveles de micorrización y grado de contaminación con otras especies de hongos sin valor comercial (Martinez, 2009)

El porcentaje inicial de micorrización en vivero fluctuó entre 40 y 52% de micorrización con *Tuber melanosporum* y bajo porcentaje de contaminación con hongos indeseados después de 6 meses en invernadero. Luego de realizar labores de encalado de los terrenos se logró mantener alto el nivel del pH de los suelos, entre 7,7 a 8,5, con sólo una a dos aplicaciones adicionales que permitieron enmendar la baja del pH luego de fuertes lluvias invernales. Los niveles de micorrización y contaminación variaron significativamente de un predio a otro, se cree que factores como el origen del agua de riego, la frecuencia de riego, el trabajo de desmalezado, encalado realizado, las especies plantadas, el clima y la calidad de los suelos influyeron directamente (Martinez, 2009)

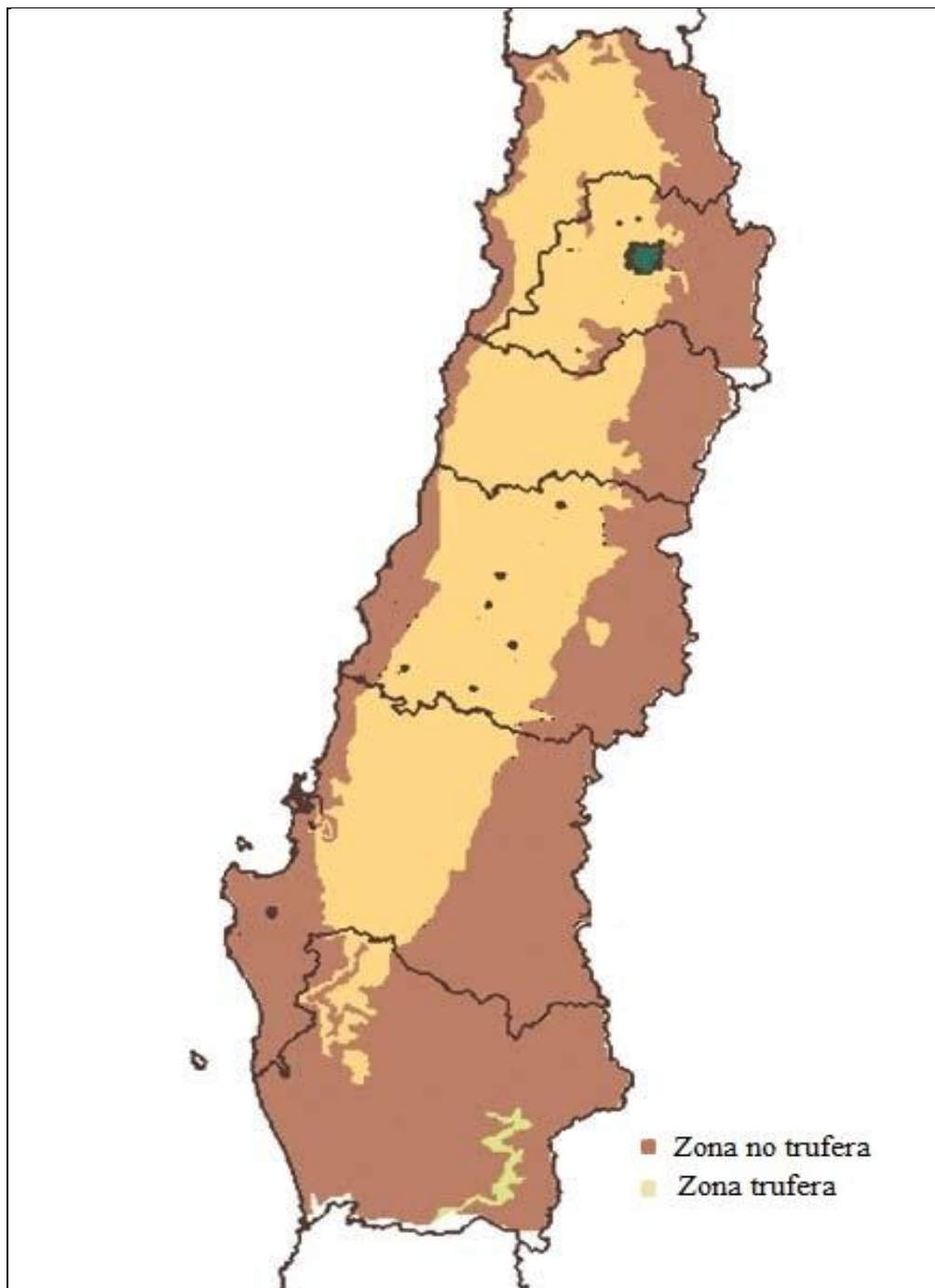
En terreno, el encino común (*Quercus robur*) presentó micorrizaciones del orden de entre 26% y 63% del cepellón radicular, con contaminaciones por otros hongos entre 2% y 32%, después de un año del trasplante. La encina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) presentó un porcentaje de micorrización entre 9% y 56% con 0% a 32% de contaminación, mientras que el avellano



europeo (*Corylus avellana*) registró micorrizaciones entre un 8% y 68% con contaminaciones entre 0% y 58% después de un período similar (Martínez, 2009)

### **7.1 Selección y preparación del terreno**

Se mencionó en el capítulo 5 las características físico-químicas del suelo requerido para una producción comercial de trufa. Chile tiene diversidad de climas, en el que se encuentra el clima mediterráneo, ideal para el desarrollo de trufas, que se ubica en la zona centro del país (entre la 5<sup>a</sup>, metropolitana y 6<sup>a</sup> región). Sin embargo, para las regiones posteriores 7<sup>a</sup>, 8<sup>a</sup> y 9<sup>a</sup> también se ha propuesto que tienen potencial para el cultivo (Fig 26). Hay al menos dos aspectos de especial relevancia en el caso de Chile, el pH y la humedad del suelo. Debido a las condiciones de génesis de los suelos en Chile, en la zona centro sur la mayoría de éstos presentan un pH ácido. Esto obliga a realizar encalados de suelo de manera periódica, ya que la especie en cuestión se adapta a suelos alcalinos, con pH entre 7.5 y 8.5, lo que encarece los costos de producción, pudiendo representar una dificultad financiera que, sumado al nivel de inversión inicial, restringe su cultivo.(Reyna, 2007, FIA,2009).



**Figura 27.** Mapa descriptivo de la zona potencial para el establecimiento de plantaciones truferas en Chile entre la 5ª y 9ª región, (FIA, 2009).

Un año antes de la plantación se debe hacer labores de encalado del suelo con el fin de elevar el nivel de pH y calcio de los primeros 30 a 40 cm de suelo a niveles recomendados. La plantación es recomendable hacerla posterior al acondicionamiento del suelo puesto que si se hace antes, puede suceder que hongos mejor adaptados colonicen las raíces de los árboles y compitan con la trufa, pudiendo desplazarla del medio de cultivo. Para saber la cantidad de enmienda calcárea aplicar hay que tener claro el pH inicial, textura, capacidad buffer y el tipo de cal a utilizar. A modo general, se recomienda aplicar del orden de 2 toneladas por hectárea de cal agrícola (90% carbonato de calcio), por cada décima de pH que se desea aumentar. Se aplica en cobertera y luego se incorpora al suelo con rastra de discos. Es recomendable el uso de 2 tipos de cal una de granulometría fina de manera que su efecto sea más rápido y otro de mayor tamaño para un efecto más a largo tiempo de forma incremental para poder manejar niveles de pH y calcio más constantes en el tiempo (Ramirez, Reyna y Suarez, 2005).

Según Garney y Cooper (2004), en suelos de tipo Podzol (espodosol) y Aluvial, dosis de 50, 75 y 100t/ha no tendrían diferencias significativas entre tratamientos a los 24 meses subiendo en los 2 casos a pH cercano a 8. Sin embargo la diferencia está en la velocidad que alcanzan el pH a diferentes dosis, el más rápido fue el podzol, que alcanzó pH 8 a los 12 meses. Los autores concluyen que todos los tratamientos producen un aumento significativo del pH respecto del nivel inicial. Y que las mayores tasas de aplicación de cal, aparte de subir el pH más rápidamente, tienen como beneficio adicional una mayor cantidad de cal viva en el suelo, mejor capacidad tampón ante la disminución natural del pH y una mejor aireación y friabilidad del suelo.



**Figura 28.** Incorporación con arado de discos de enmienda calcárea (FIA, 2009)

## 7.2 Establecimiento y manejo del cultivo.

A diferencia del clima mediterráneo Europeo, en Chile, la estación seca es más prolongada lo que obliga al establecimiento de sistema de riego. El establecimiento y manejo para Chile es el mismo descrito en capítulos anteriores.

En plantaciones establecidas se ha observado tras monitoreos y evaluaciones en terreno, de que *Corylus avellana* es la especie que presenta mayor incidencia de contaminación de hongos competidores, estos resultados concuerdan con experiencias en Europa, Nueva Zelanda y Australia. Entre las especies de hongos formadores de ectomicorrizas identificadas como contaminantes destaca *Hebeloma crustuliniforme* y *Scleroderma sp.*

El proyecto FIA concluye que Chile presenta condiciones adecuadas para el cultivo de trufa, con excelentes condiciones de suelo y clima en la Zona Central. Las técnicas de inoculación usadas permiten orientar el trabajo en optimizar las condiciones de cultivo. La preparación anticipada del sitio es una acción primordial para asegurar un adecuado establecimiento y desarrollo de la trufera, en particular en lo que se refiere al correcto encalado y pH del suelo.

## 8. ASPECTOS ECONOMICOS Y DE MERCADO

La información está basada en estadística de producción, superficie, exportación e importación de trufas, de los principales países oferentes y demandantes; sin embargo es de consignar que hay escasa información publicada en relación con el tema, tanto en Chile como en el mundo.

### 8.1 Producto principal

En Europa se diferencia dos tipos de trufa, las recolectadas en áreas silvestres y las producidas en plantaciones artificiales, que viene realizándose desde hace unos 35 años con plantas micorrizadas y que hoy en día se encuentran en plena producción, uno de estos productos es la trufa entera y en fresco, la cual se vende embasada de diferentes formas según la distancia de envío y el cliente o mercado quién recibe el producto. Normalmente en el mercado francés se embasa dando una apariencia rústica, lo cual es muy considerado; para esto se usan paja y canastos plásticos o en pequeñas cajas de madera selladas en plástico. (Puvogel, 2007)

Otro producto es la trufa en conserva la que es usada principalmente en el mercado contra temporada en Europa (marzo a diciembre), donde el producto fresco no está disponible. La venta y consumo contra temporada de trufas en conserva, constituye alrededor del 60% del volumen de mercado de trufas ([www.indap.cl](http://www.indap.cl)).

### 8.2 Producción a nivel mundial

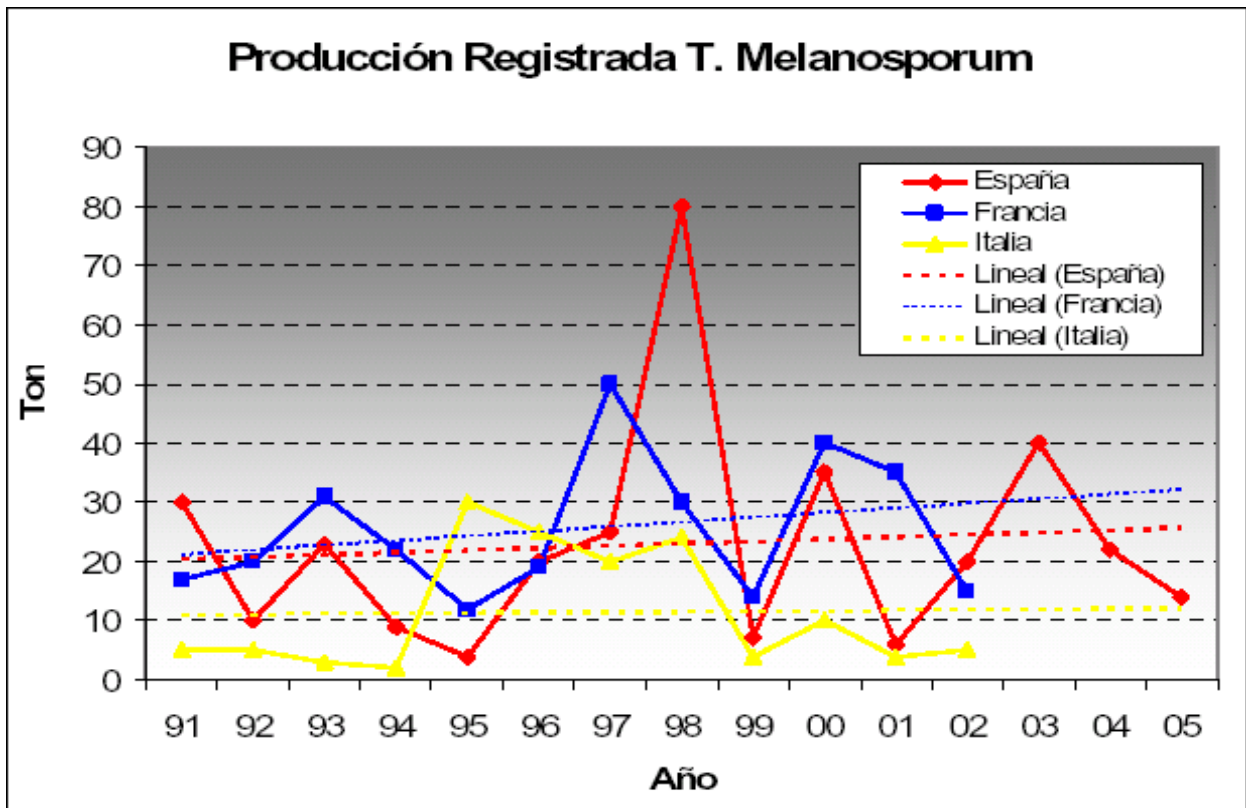
Como la información de producción es escasa se recopiló información de los principales países productores de trufa. En España, Francia e Italia es difícil evaluar con exactitud la producción total, dada la falta de transparencia de los mercados que suele rodear al sector trufero. Sin embargo, hay estimaciones en las cantidades producidas. El siguiente cuadro incluye la producción de *Tuber melanosporum* para el periodo de años entre 1990 y 2006.

**Cuadro 8.** Producción europea de *Tuber melanosporum*. expresada en toneladas.

Año	España	Francia	Italia	Total Europa
90/91	30	17	5	52
91/92	10	20	5	35
92/93	23	31	3	57
93/94	9	22	2	33
94/95	4	12	30	46
95/96	20	19	25	64
96/97	25	50	20	95
97/98	80	30	24	134
98/99	7	14	4	25
99/00	35	40	10	85
00/01	6	35	4	45
2001/02	20	15	5	40
2002/03	40	18	15	73
2004/05	22	4	7	33
2005/06	14	8	5	27
Promedio	23	22	11	56,3
Total	345	335	164	844
%	40,9	40	19,4	100

Fuente: Reyna (2007)

En el Cuadro 8 se aprecia que en Francia en promedio, se obtiene la mayor producción y en el periodo 2004-2006 la producción disminuye quedando como mayor productor tras España.



**Figura 29.** Gráfico que representa la producción de trufa de 3 países en 14 años. (Reyna, 2000)

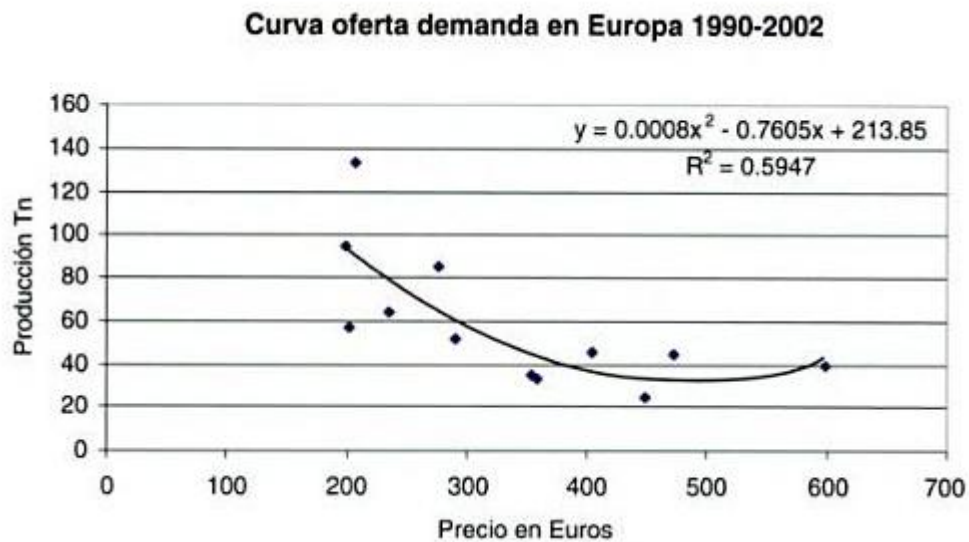
La estimación de producción son muy amplias, por ejemplo la producción española, que estaría comprendida entre los 6.000 y 126.000 k anuales, con una media de 40.240 k, donde casi el 90% se exporta a Francia (Reyna, 2000). Por otra parte, la producción silvestre en Europa ha caído drásticamente en los últimos 100 años, disminuyendo desde 1000 toneladas al comienzo del siglo XX a alrededor de 100 toneladas para 1999, por lo que la demanda de este producto ha aumentado considerablemente (Callot, 1999).

### 8.3 Estimación de la demanda actual.

La demanda por trufa negra y otras trufas ha aumentado considerablemente desde la última parte del siglo XX. La combinación entre el aumento de la demanda y la caída de la producción ha provocado que se mantengan altos precios para este producto. Dada las características culinarias (sabor y aroma) del producto la demanda se orienta a un mercado selectivo y reducido dentro de

los países como Francia, España e Italia. También se ha incorporado EE.UU. Australia, Nueva Zelanda y algunos países Asiáticos.

La figura 25 muestra la curva de oferta y demanda de trufa en Europa para el periodo 1990-2002.



**Figura 30.** Demanda de trufa en Europa periodo 1990-2002. (Reyna, 2007)

#### 8.4 Precio de la trufa

El precio dependen de la fecha, lugar y estado de la trufa, presentación (conserva, jugo, otros). Para la trufa fresca hay un parámetro de clasificación que es el siguiente. La calidad comercial de la trufa está definida por la orden española del 26 de octubre de 1964 que fue modificada por la del 30 de octubre de 1965. Y clasifica dentro de tres categorías cuyos parámetros son (sanas, enteras o en trozos, no cepilladas, razonablemente exentas de tierra y otras materias extrañas, no heladas, exentas de humedad exterior anormal, exentas de olores y sabores extraños). Los restaurantes junto con tiendas especializadas en productos gourmet prefieren la categoría extra en cambio en ferias y locales corrientes prefieren las categorías I y II, por el precio más accesible.

Para el 2005-2006 en España el precio medio por K de trufa fue de 380 euros mientras que en Francia fue de 460 euros, según datos de la federación francesa de truficultores.



**Cuadro 9.** Distintas categorías de trufas

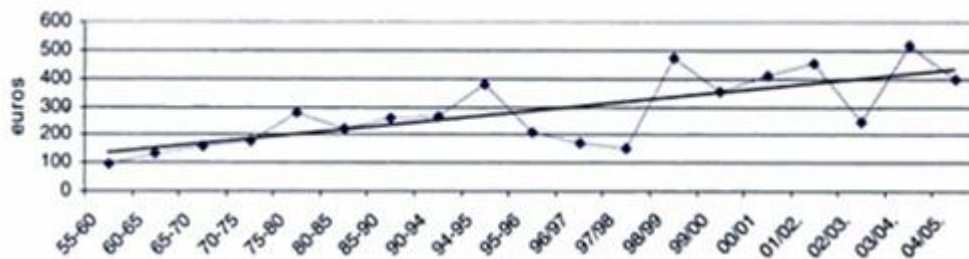
<b>Categorías</b>	
Extra	Las trufas deben ser de calidad superior. Deben estar enteras, maduras, ser de carne fina, tamaño y color negro uniforme, forma sensiblemente redonda u ovalada, superficie ligeramente irregular y estar exentos de deformaciones acusadas
I	La clasificación de estas trufas debe ser de calidad. Deben estar enteras, ser de carne más o menos compacta, color negrozco o ligeramente gris, con superficie regular y más o menos peladas
II	Esta categoría comprende las trufas que no pudiéndose clasificar en las categorías extra y I, pueden estar enteras o no. Ser de carne suficientemente compacta, color marrón o gris, más o menos claros y superficie irregular o pelada

Fuente: Orden del ministerio de comercio y turismo de 18 de octubre de 1977. España

**Cuadro 10.** En el siguiente cuadro se presenta los precios promedio en euros por K de trufa desde 1990 hasta 2006.

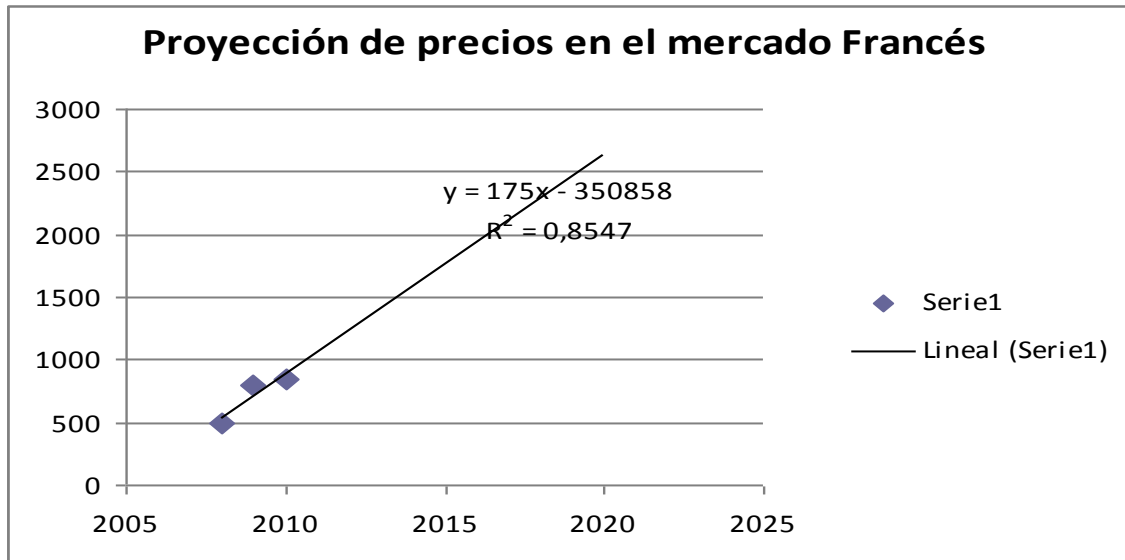
Periodo	España	Francia
90/91	187	290
91/92	187	353
92/93	187	203
93/94	187	358
94/95	279	404
95/96	158	235
96/97	132	199
97/98	121	207
98/99	391	448
99/00	191	276
00/01	361	472
2001/02	411	599
2002/03	227	332
2003/04	505	658
2004/05	397	627
2005/06	380	460

Fuente: Reyna 2007



**Figura 31.** Evolución del precio de la trufa desde el año 1955 hasta 2005. (Fuente: Grupo europeo Tuber).

Los precios internacionales al consumidor pueden ser más elevados, en París no es difícil encontrar trufa fresca por sobre los 2500 euros/K, 4000 euros/K, envasada en Londres y fresca el precio alcanzaría los 5000 euros/K, (Hall *et al.*, 1994). Para Italia los precios de trufa negra normalmente no superan los 1000 euros, variando entre los 250 y 500 euros. A diferencia de Francia y España, Italia es un país netamente exportador de trufas, pero también importa trufas. Reyna (2000).



**Figura 32.** El gráfico muestra la proyección de precios (euros) de la trufa en el mercado Francés hasta el 2018. Fuente: Disponible en <http://www.carpentras.fr>

En la Figura 33 se observa los precios de trufa negra desde el 2008 al 2012 para 19 semanas distintas, desde la semana 46 a la 12 que correspondería a las fechas donde se cosecha la trufa madura. El precio pagado a productores del hemisferio sur, por parte de los demandantes (Europa, EE.UU), es más elevados debido a que las producciones son en contra temporada del hemisferio norte.



**Figura 33.** El gráfico muestra los precios comparativos de trufa para distintos periodos a la misma semana. Fuente: Disponible en <http://www.carpentras.fr>

Las trufas no solo se comercializan en fresco sino que también envasadas, congeladas, como mantequilla de trufa, jugo de trufa, aceite de trufa. En el siguiente cuadro se consigna precio a consumidor de estos productos.

**Cuadro 11.** Precio a consumidor de algunos productos derivados de *Tuber melanosporum*.

Producto	Presentación	Precio prom. (US\$/g)	Precio US\$/kg
Conserva (frasco vidrio)	1 Oz, 7 Oz, 70 g, 140 g	2,51	2.510
Congelado	8 Oz, 50 g, 100 g, 200 g	2,39	2.390
Aceite de trufa	250 ml	0,102	102
Jugo de trufa	200 g	0,3	300
Mantequilla de trufa	250 g	0,104	104

**Fuente.** Plantin, (2006), Urbani Tartufi (2006)

### 8.5 Mercado nacional.

La trufa negra es un producto principalmente gourmet poco masificado en Chile el cuál posee bajo nivel de consumo debido al desconocimiento del hongo y a su elevado precio. Por esto mismo, actualmente en Chile hay un mercado interno de solo algunas importaciones, que no alcanzan el Kilogramo anual, pero tras las primeras plantaciones (2002), para el 2013 se exportarán las primeras trufas chilenas con un peso total aproximado de 3,5 Kg (Revista Simfruit). La primera trufa negra cosechada en Chile fue el 27 de mayo de 2009, en un predio cercano a Panguipulli en una trufera experimental. Al año siguiente se encontraron trufas en las cercanías de Talca y en el 2011 entraron en producción huertos establecidos en la zona de Temuco. Pero cabe señalar que ningún huerto ha producido lo que se esperaba y los volúmenes no alcanzan para someterlas a exportación (FIA, 2009)

Dentro del negocio que engloba a las trufas se encuentra el de producción de árboles con el hongo inoculado. En los últimos años se ha notado un aumento en la demanda por la producción de trufa lo que implica un aumento por la demanda de árboles con el hongo incorporado, en estos momentos los precios por árbol en Chile se manejan en dólares y los costos varían dependiendo

la cantidad requerida pero se estima que un árbol con el hongo inoculado tiene un precio de 900% más que sin el hongo.

Teóricamente la producción de trufas al cabo de 10 años en adelante, debería retribuir utilidades al agricultor. En el Cuadro 11 se consignan los retornos esperados con distintas situaciones productivas de un huerto.

**Cuadro 12.** Retornos esperados a distintos rendimientos por Ha/año

Kg/Ha/año	Precio promedio en US\$/Kg			
	800	1000	1500	1800
5	4.000	5.000	7.500	9.000
15	12.000	15.000	22.500	27.000
25	20.000	25.000	37.500	45.000
40	32.000	40.000	60.000	72.000
55	44.000	55.000	82.500	99.000

**Fuente:** Agrobiotruf S.A.

Estos valores representados en el Cuadro 11 son los pagados por el mercado europeo a productores del Hemisferio Sur que están en contra-temporada. Según Agrobiotruf S.A, para el año 2015 el país podría tener 500 hectáreas plantadas con trufas, lo que en términos de producción significaría aproximadamente 15 toneladas anuales a partir del 2025. Esto representaría un 7% del mercado mundial de exportación y generaría ingresos en torno a los US\$ 20 millones.

## 8.6 Perfil de rentabilidad.

- a) El modelo de costos, está en relación al establecimiento de un módulo 1ha, con una densidad de plantación de 400 árboles por hectárea.
- b) Se parte del supuesto de que el agricultor es propietario del terreno a plantar y que el costo de oportunidad de la inversión no es materia a considerar en este análisis.
- c) Se asume que el terreno se selecciona para este cultivo y se deberá realizar una preparación previa del sitio, lo que considera la preparación mecánica (subsulado y rastra de disco) antes de plantar, además de la aplicación de enmiendas con carbonato de calcio.
- d) El agricultor deberá comprar las plantas micorrizadas, además se deberá asesorar técnicamente para el establecimiento del cultivo. El costo de las plantas ascenderá a \$9.000/planta más IVA.
- e) De acuerdo a las experiencias en Europa, USA y Nueva Zelanda, producciones significativas en las plantaciones, en general comienzan a partir del décimo año, aunque en algunos casos pueden comenzar a partir del 6° a 8° año. De manera optimista, para la formulación del análisis financiero las producciones comenzaran al 8° año de plantación.
- f) Se asume que la productividad de la plantación irá en aumento a partir del 8° año, llegando a la máxima producción el año 16, manteniéndose constante los años posteriores. De acuerdo a las experiencias en otros países las producciones son muy variables. Existen plantaciones con riego, con producciones regulares y constantes próximas a 100 k/ha/año y por el contrario otras que apenas superan los 10 k/ha. En plantaciones sin riego (Europa) la variabilidad es mayor, donde en los mejores años se superan los 120 k/ha y los peores no llegan a 2 k/ha, dependiendo de las pluviométricas. Para el análisis se considerará una producción promedio de 35 k/ha a partir del año 16.
- g) Desde el punto de vista climático, se asume un déficit hídrico durante 4 meses al año, estimándose necesidades medias de riego de 2000 m<sup>3</sup>/ha/año. Como sistema de riego se utilizara un sistema de micro-aspersión. (FIA, 2009).

- h) En cuanto a los gastos de operación, éstos vienen reflejados principalmente en la poda, enmiendas correctivas, labores de cultivo anual (con tractor), gastos en riego, reparaciones y materiales de riego, mano de obra, mantención del perro trufero (al comenzar la producción) y los gastos generales y de administración.
- i) Los ingresos a percibir por el agricultor están en relación a la producción en k/ha de trufa fresca, para lo cual se ha considerado un valor de mercado de 800€/kg pagado al agricultor en Chile. Este precio asume que ya se han establecido empresas comercializadoras del producto en nuestro país, las cuales pueden llegar a Europa (Francia) con precios de venta mucho mayores. Estos valores son bastante conservadores, ya que existen ventajas comerciales para Chile al permitir ofrecer trufa fresca fuera de temporada en los mercados europeos, pudiendo alcanzar precios aún mayores. Como ejemplo en la temporada de cosecha en Europa de noviembre 2005-marzo2006, los precios medios por kilogramo de trufa fresca en los mercados tradicionales fluctuaron alrededor de 800 a 1.100 €/kilo.
- j) Por otra parte se ha considerado como valor residual de la plantación la venta de la madera al final de la rotación (año 30) (FIA, 2009).



ITEM	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Euro \$ 632		Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15		
									Precio kg/trufa negra en \$	505.600						Precio kg/trufa negra en €	800
<b>Implementación de una trufera</b>																	
<b>1. ENTRADAS</b>																	
Producción hg/ha																	
Ingreso bruto por venta de trufas										5.056.000	10.112.000	15.168.000	15.168.000	15.168.000	15.168.000		
Venta de la madera (valor residual)																	
Subtotal entradas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.056.000	10.112.000	15.168.000	15.168.000	15.168.000	15.168.000		
<b>2. SALIDAS</b>																	
<b>2.1. Inversiones</b>																	
Planta micorizada	4.284.000																
Sistema de riego/microaspersión	1.500.000																
Cierre de la plantación	500.000																
Pero bufero										1.008.000							
<b>2.2 Gastos de operación</b>																	
Asesoría selección de sitio	150.000																
Preparación terreno + enmienda	887.500								194.000		194.000				194.000		
Plantación	180.000																
Podas		40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000		
Labores de cultivo		72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000		
Irigación + reparación riego		60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000		
Mano de obra	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000		
Mantenimiento del perro trufero										140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000		
<b>2.3 Otros</b>																	
Gastos grales y administración	30.600	32.600	32.600	32.600	32.600	32.600	32.600	32.600	32.600	33.350	31.550	31.550	31.550	31.550	31.550		
Asesoría técnica	200.000									120.000					120.000		
Análisis de laboratorio		160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000		
Subtotal salidas	7.701.500	642.600	844.600	1.158.600	844.600	844.600	1.158.600	844.600	1.158.600	2.008.350	1.276.550	962.550	802.550	1.116.550	962.550		
<b>3. BENEFICIOS</b>																	
<b>NETOS TOTALES</b>	-7.701.500	-642.600	-844.600	-1.158.600	-844.600	-844.600	-1.158.600	-844.600	-1.158.600	3.047.650	3.779.450	11.837.450	14.051.450	14.205.450	14.365.450		
<b>4. BENEFICIOS NETOS</b>																	
<b>ACUMULADOS</b>	-7.701.500	-8.344.100	-9.188.700	-10.347.300	-11.191.900	-12.036.500	-13.195.100	-14.039.700	-14.039.700	-10.992.050	-7.212.600	1.936.850	13.774.300	27.825.750	42.031.200	56.396.650	70.448.096

ITEM	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
Producción hg/ha	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
<b>1. ENTRADAS</b>															
Ingreso bruto por venta de frutas	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000
Venta de la madera (valor residual)															8.400.000
Subtotal entradas	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	17.696.000	26.096.000
<b>2. SALIDAS</b>															
<b>2.1. Inversiones</b>															
Planta micorrizada															
Sistema de riego/microaspersión															
Cierre plantación															
Pero trufero				800.000											
<b>2.2 Gastos de operación</b>															
Aes. selecc. sito															
Preparación terreno + enmienda		194.000				194.000			194.000			194.000			194.000
Plantación															
Podas	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
Labores de cultivo	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000
Irigación + reparación riego	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000
Mano de obra	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Mantenimiento del pero trufero	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000
<b>2.3 Otros</b>															
Gastos grales y administración	31.550	31.550	31.550	31.550	31.550	31.550	31.550	31.550	31.550	31.550	31.550	31.550	31.550	31.550	31.550
Aesoria técnica		120.005				120.006			120.007			120.008			120.009
Análisis de laboratorio	160.000			160.000			160.000			160.000					
Subtotal salidas	962.550	802.550	1.116.555	1.762.550	802.550	1.116.556	962.550	802.550	1.116.557	962.550	802.550	1.116.558	802.550	802.550	1.116.559
<b>3. BENEFICIOS</b>															
NETOS TOTALES	16.733.450	16.893.450	16.579.445	15.933.450	16.893.450	16.579.444	16.733.450	16.893.450	16.579.443	16.733.450	16.893.450	16.579.442	16.893.450	16.893.450	24.979.441
<b>4. BENEFICIOS NETOS ACUMULADOS</b>															
	87.181.546	104.074.996	120.654.441	136.587.891	153.481.341	170.060.785	186.794.235	203.687.685	220.267.128	237.000.578	253.894.028	270.473.470	287.366.920	304.260.370	329.239.811
<b>Periodo</b>															
<b>Tasa descuento 12%</b>															
<b>VAN (12%)</b>															
<b>TIR</b>															
<b>A 13 años</b>															
<b>A 30 años</b>															
<b>\$3.613.010</b>															
<b>15%</b>															
<b>\$27.302.152</b>															
<b>23%</b>															

### **8.6.1 Rentabilidad.**

Los beneficios netos acumulados desde el año 0 de plantación serían positivos desde el año 10, con inicio productivo el año 8 con 8K, luego para el año 9 con 10K y para el año 10 con 20K.

El VAN (12%) a 13 años sería de \$3.613.010. y a 30 años \$27.302.152.

TIR a 13 años 15% y a 30 años 23%.

## 9. CONCLUSIONES

1. La información agronómica sobre el cultivo de trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.), disponible para Chile es escasa, considerando que es una especie exótica y de solo 10 años de establecida en el país.
2. El pH ácido de los suelos con potencial para el cultivo obligan a incorporar altos niveles de enmiendas calcareas.
3. Periodos estivales con déficit hídricos prolongados en la zona central de Chile hacen obligatorio la incorporación de sistemas de riego, haciendo más costoso el establecimiento de truferas.
4. Chile al estar en contratemporada con los principales países consumidores de trufa negra, tiene gran ventaja competitiva al momento de vender y obtener precios por el producto.
5. La falta de experiencia del tema ha jugado un rol determinante en el desarrollo de la truficultura del país. Y tras 10 años de cultivo no se han obtenidos los resultados esperados

## 10. RESUMEN

La trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt) es un hongo hipogeo (cumple su ciclo de vida bajo el suelo), el cuerpo fructífero tiene forma irregular semi ovalada, de piel verrugosa, áspera, de color negro y de tamaños que van de algunos mm a varios cm de diámetro. Vive de forma simbiote y forma micorrizas con las raíces de algunas especies entre las cuales las más importantes son *Quercus ilex ilex*, *Quercus ilex ballota*, *Quercus faginea*, *Quercus cerroide*, *Quercus robur* y *Corylus avellana*.

Este hongo es conocido en el mundo entero por sus características organolépticas, que lo hacen muy apetecido en el ámbito culinario gourmet.

Hace algunas décadas, producto de diversos factores externos, el nivel de oferta a nivel mundial de este hongo a disminuido considerablemente, por ello, desde hace 30 años aproximadamente en Europa se viene trabajando en la implementación de plantaciones de árboles con el hongo inoculado para poder satisfacer en alguna medida la demanda por este hongo. Países como España, Francia e Italia son los pioneros con esta práctica agronómica y la han tratado de expandir a otros países donde se encuentren climas y suelos con características similares a las que se encuentran en zonas donde la trufa crece naturalmente. En el hemisferio sur, el cultivo se está realizando desde hace 20 años aproximadamente en países como Australia y Nueva Zelanda, en Chile a través de la Fundación para la Innovación agraria (FIA) la U. de la Católica del Maule y en coordinación con el Centro de Estudios del Mediterraneo (CEAM) representados por Santiago Reyna Domenech, emprendieron este innovador proyecto el año 2003 con la primera plantación. Luego de esto se han instalado más huertos truferos y hasta la fecha son cerca de 120 ha plantadas que están a la espera de entrar en producción.

Las proyecciones según una empresa local para el año 2015 habrán 500 ha destinadas a la producción de trufas y para el año 2025 estar produciendo alrededor de 15 toneladas anuales teniendo el 7% de la producción mundial.

## 11. SUMMARY

The black truffle (*Tuber melanosporum* Vitt) is a hypogeous fungus (fulfills its life cycle under the ground), the fruiting body has semi irregularly oval, warty skin, rough, black color and sizes ranging from a few mm to several cm diameter. He lives in a symbiotic and form mycorrhizae with the roots of some species among which the most important are *Quercus ilex ilex*, *Quercus ilex ballota*, *Quercus faginea*, *Quercus cerroide*, *Quercus robur* and *Corylus avellana*.

This fungus is known worldwide for its organoleptic characteristics, which make it highly sought after in the culinary gourmet.

Decades ago, the product of external factors, the level of global supply of this fungus has decreased considerably, thus approximately 30 years in Europe have been working on the implementation of tree plantations inoculated with the fungus to some extent satisfy the demand for this fungus. Countries like Spain, France and Italy are the pioneers in this agronomic practice and have tried to expand to other countries where climate and soil are similar characteristics to those found in areas where truffles grow naturally. In the southern hemisphere, the culture is being done for the last 20 years or so in countries like Australia and New Zealand, Chile through the Foundation for Agrarian Innovation (FIA) U. Maule of and in coordination with the Centre for Mediterranean Studies (CEAM) represented by Santiago Reyna Domenech, this innovative project launched in 2003 with the first planting. After this we have installed over truffle orchards and to date are about 120 ha planted that are waiting to go into production.

Projections according to a local company for 2015 have 500 hectares for the production of truffles and 2025 to be producing about 15 tons annually taking 7% of world production.

## 12. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Aguilera, A.; Guerrero, J. y Rebolledo, R.** 2011. Plagas y enfermedades del avellano europeo en La Araucanía. Ediciones Universidad de La Frontera. 126 p.
- Aparici, A.** 2002. Estudi de la flora associada a les carrasques truferes de la comarca dels Ports, Castello, España. Tesis. Universidad politécnica de Valencia. 95 p.
- Abbott, L. y Robson, A.** 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular arbuscular mycorrhizal. *Agric. Ecosystems Environ.* 35: 120-150.
- Agrios, G.** 1996. Fitopatología. Editorial Limusa. 838p.
- Allen, M.** 1991. The ecology of mycorrhizae. Cambridge University Press. 184 p.
- Allen, M.** 1992. Mycorrhizal functioning. An integrative plant-fungal process. Chapman & Hall. 534 p.
- Álvarez, S.** 2004. Evaluación de la Potencialidad de Establecimiento de *Tuber melanosporum* Vitt. en Chile. Caso de María Pinto, Región Metropolitana. Tesis Ing. Agr. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 87 p.
- Barbado, J.L.** 2003. Hongos comestibles. Primera Edición. Editorial Albatros saci. Bs. As, Argentina. 151 p.
- Barea, J. y Azcón-Aguilar, C.** 1983. Mycorrhiza and their significance on nodulating nitrogen fixing plants. *Adv. Agron.* 36: 1-54.
- Bencivenga, M.; Calandra, R y Granetti, B.** 1988. Ricerche sui terreni e sulla la flora delle tartufai naturale di *Tuber melanosporum* Vitt. Delle Italia centrale. Atti de secondo congresso internazionale sul tartufo. Spoleto, Italia. 45p.
- Bonet, J.; Fischer, C. y Colinas, C.** 2006. Cultivation of black truffel to promote reforestation and land-use stability. *Agronomy for sustainable development*, 26:69-76.
- Borie, F., Rubio, R., Rouanett, J.L., Morales, A., Borie, G., y Rojas, C.** 2006. Effects of tillage Systems on soil Characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean ultasoil. *Soil Till. Res.* 88: 253-261.
- Brundrett, M.; Bougher, N.; Dell, B.; Grove, T.; y Malajczuc, N.** 1996. Working with mycorrhizal in forestry and agriculture. Australian Centre for International Agriculture Research. 374 p.

**Campbell, N. y Reece, J.,** 2007. Biología. Séptima Edición. Editorial Medica Panamericana. Madrid, España. 1229 p.

**Callot, G.** 1999. La truffe, la terre, la vie. INRA. París. 87 p.

**Callot, G.; Byé, M.; Raymond, D.; Fernandez, J.; Pargney, A.; Parguey-Leduc, M.; Calonge, F.** 2000. “A propósito de *Tuber macrosporum* Vittad. Estudio comparativo con especies próximas.” Bol. Soc. Micol. Madrid, 25: 293-294.

**Ceruti, A., Fontana, A., y Nosenzo, C.** 2003. Le specie europee del genere Tuber: una revisione storic. Museo Regionale de Scienze Naturali. Regione Piemonte. Monografie XXXVII. Torino. 512 p.

**Delmas, J.** 1983. La truffe et sa culture. Editorial SEI INRA. Bourdeaux, Francia. 56 p.

**Dighton, J.** 2003. Fungi in ecosystem Processes. Marcel Dekker, inc. New Jersey, USA. 432p.

**Etayo, M. y De Miguel, A.** 1998. Estudio de las Ectomicorrizas en una Trufera Cultivada Situada en Olóriz. Publ. Biol. Universidad de Navarra, Pamplona, España. Ser. Bot., 11: 55-114.

**Franco J.,** 2000. Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas. Universidad de Sevilla. 27p. Disponible en:  
[http://www.bioscripts.net/col/Apuntes/Nutricion\\_Vegetal/Trabajo\\_de\\_nutricion\\_vegetal.pdf](http://www.bioscripts.net/col/Apuntes/Nutricion_Vegetal/Trabajo_de_nutricion_vegetal.pdf)

**Frochot, H., Chevalier, G., Bardet, M. y Aubin, J.** 1990. Effet de la désinfection du sol et des antécédents culturaux sur l'évolution de la mycorhization avec *Tuber melanosporum* sur noisetier. II Congreso internacional de la trufa, Spoleto, 24-27 noviembre 1988, pp. 289-296.

**Fundación para la Innovación Agraria.** 2009. Resultados y lecciones en cultivo de trufa (*Tuber melanosporum*) en Chile, proyecto de innovación en VII Región del Maule. 36 p.

**Granetti, B., De Angelis, A. y Materozzi, G.,** 2005. Umbria, terra di tartufi. Region Umbria, Grupo Micológico Ternano. Terni, Italia. 90 p.

**García Rollan, M.** 2007. Cultivo de setas y trufas. Quinta edición. Ediciones mundi-prensa 256 p.

**González, B.; Cavero, R. y De Miguel, A.** 2005. Diversidad florística en zonas trufas de Navarra. IV Congreso Forestal Español. Zaragoza. España.

**Hall, I., Brown, G. y Byars, J.** 2001. The black truffle: its history, uses and cultivation. 107 p. 2<sup>nd</sup> Edition. New Zealand Ministry of Agriculture & Fisheries. New Zealand.



- Hernandez, A.; Oyaregui, G.; Blazquez, J. y Royo, P.** 1994. Líneas de investigación sobre trufa. Ecología de las masas productoras de trufa de la provincia de Soria. 1ª Jornadas internacionales de truficultura. ASOPIVA. Abejas (Soria)
- Honrubia, M., Torres, P., Díaz, G., y Cano, A.** (1992). Manual para micorrizar plantas en viveros forestales. Proyecto LUCDEME VIII. ICONA. 39 p.
- Janex-Favre, R. Moussa et L. Pagès.** 1999. La truffe, la terre, la vie. INRA Editions. Paris, Francia. 209 p.
- Kirk, P., Cannon, P., David, J. y Stalpers, J.** 2001. Ainsworth and Bisby's dictionary of the fungi/by P.M. 9<sup>th</sup> ed. CABI Bioscience.
- Malendi, D., Scaffali, L. y Volkheimer.** 2008. Biodiversidad. La diversidad de la vida, las grandes extinciones y la actual crisis ecológica. Ediciones continente. 158 p.
- Martínez, N.** (2009) Cultivo de trufas: Una alternativa forestal desde la visión del pequeño agricultor de la araucanía. Tesis Ing. Comercial Universidad de La Frontera, Chile. 76 p
- Martín, E.; Hernández, R.; Ibarra, N.; Pérez, V. y Cañada, J.F.** 2002. Cochinilla de las encinas *Kermes vermilio* Planch. Informaciones técnicas. DGMA, Gobierno de Aragón. Zaragoza. 23 p.
- Navarro, J.** 2000. Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas. Universidad de Sevilla. Disponible en [www.bioscripts.net](http://www.bioscripts.net). Consultado en noviembre, 2012.
- Navarro-Aviñó, J., Aguilar- Alonso, I. y López Moya, J.** 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. Ecosistemas. 16:10-25.
- Neira, A.** 2006. Evaluación de la colonización de hongos Micorrícicos en Plántulas de *Eucalyptus globulus* Labill., en un vivero forestal localizado en la provincia de Cautín, Novena Región, Chile. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad de la Frontera. Temuco. 91 p.
- Núñez, R.** 2003. Inoculación ectomicorrícica en roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.) mediante esferas de alginato de calcio. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad de La Frontera. Temuco. 72 p.
- Olivier, J.; Savignac, J. y Sourzat, P.** 1996. Truffe et trufficulture. Ed Fanlac. Périgueux, Francia. 263p.
- Pargney, J., Chevalier, G., Dupré, CH., Genet, P., y Jalade, M.** 1999. Etude des stromas fongiques se développant sur les racines des plantes mycorrhizes par la truffe, pp. 3.167-3.172.

**Paul, E. y Clark, F.** 1989. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press. San Diego. 273 p.

**Pérez-Badía, R.; Reyna, S.; Rodríguez, J.A.; Domínguez, J.A.; Galiana, F.; Saiz de Omeñaca, J.A. y Zazo, J.** 1999. Análisis de la flora y la vegetación asociada a las encinas truferas naturales de la Comunidad Valenciana. Actas del 5 Congreso Internacional de la Ciencia de la Cultura de la trufa. Aix-en-Provence, Francia. 87p.

**Puvogel, P.** 2006. Estado del arte del cultivo de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.) y perspectivas para su cultivo en Chile. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 97 p

**Ramírez, R.; Reyna, S y Suárez, R.** 2005. Current state and perspective of truffle cultivation in Chile. En Proceedings of the IV International Workshop on Edible Mycorrhizal Mushrooms (IWEMM4), Murcia, España, Noviembre 2005. Facultad de Biología, Universidad de Murcia. 35 p.

**Rebiere, J.** 1981. La truffe du Perigord et sa cultura. Ed. Fanlac. Perigueux (Francia). 201 p.

**Reyna, S.** 1992. La trufa. Agroguías, Editorial Mundi-prensa. Madrid, España. 115 p.

**Reyna, S** 1999. Aproximación a una selvicultura trufera. Tesis doctoral Universidad Politécnica de Madrid, España. 105 p.

**Reyna, S., De Miguel, A., Hernández, A. y Esteban, H.** 1999. Historia y perspectiva de la truficultura en España. Actes du V<sup>e</sup> Congrés International Science et cultura de la truffe. Aix- en Provence (Francia). 1999: 1.33-1.39.

**Reyna, S.; Pérez Badía, R.; Rodríguez Barreal, J.; Domínguez, A.; Saiz de Omeñaca, J.; Zazo, J.; Galiana, F.** 1999. Bases para una selvicultura trufera en España Actes de V Congrés International Science et cultura de la truffe. Aix- en Provence (Francia), 7.412-7.418.

**Reyna, S., Boronat, J., y Palomar, E.** 2000. Control de la calidad en la planta micorrizada con *Tuber melanosporum* Vitt. producida por viveros comerciales. Montes, 61: 17-24

**Reyna, S.** 2000. Trufa, truficultura y selvicultura trufera. Editorial Mundi-prensa. Madrid, España. 229 p.

**Reyna, S.** 2007. Truficultura. Fundamentos y Tecnicas. Editorial Mundi-prensa. Madrid, España. 686 p.

**Ricard, J.M.** 2003. La truffe. Guide technique de trufficulture. Ed. Centre technique interprofessionnel des fruits et legumes. París. 268p.

**Ruiz, R.; San Martín, R; Giner, M.; Oria de Rueda, J.** 2003. La flora asociada a zonas naturales productoras de *Tuber melanosporum* Vitt. en el noreste de la provincia de Soria. I Congreso Nacional de Micología Forestal Aplicada.

**Salisbury, F. y Ross, C.** 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. de C,V México. 752 p.

**Saggin-Junior, O, y Siqueira, J,** 1995. Avalicao da eficiencia simbiótica de fungos endomicorrizicos para o cafeiro. Revista Brasileira do Ciencia do Solo. 20: 222-228.

**Smith, S. y Read, D.** 1997. Mycorrhizal symbiosis. London Academic Press. 2<sup>nd</sup> ed. 605 p.

**Strasburger, E y col.** 1994. Tratado de botánica. 8<sup>a</sup>ed. Castellana. Ediciones Omega S.A.

**Trejo, A. y Ferrera-Cerrato, R.** 1997. Ecología de la endomicorriza arbuscular en diferentes agroecosistemas productores de café. 52 p.

**Trappe, J.; Castellano, M. y Claridge, A.** 1999. Continental drift, climate, mycophagy and the biogeography of hypogeous fungi. Actas del 5to Congreso Internacional de Ciencia de la cultura de la trufa, 241-245.

**Santelices, Rómulo y Palfner, Götz.** 2010. Controlled Rhizogenesis and Mycorrhization of Hazelnut (*Corylus avellana* L.) Cuttings with Black Truffle (*Tuber melanosporum* Vitt.). *Chilean J. Agric. Res.* [online]. 2010, vol.70, n.2.