

1. ECOLOGIA DE LAS TRUFAS

Las trufas son hongos simbiontes, de gran importancia económica, cuyos cuerpos fructíferos son hipogeos, es decir, se desarrollan bajo tierra.

1.1 Posición botánica

Las trufas comestibles se encuadran dentro del género *Tuber*, familia *Tuberaceae*, orden *Pezizales*, clase *Ascomycetes*, subdivisión *Ascomycotina*, división *Ascomycota*, reino *Fungi*.

Dentro de la familia *Tuberaceae*, el género *Tuber* es el más importante por su valor comercial.

1.2 Tipos y características de las trufas

Existen una treintena de especies de trufas en Europa. De las cuales, veinte se encuentran en España. Las más apreciadas por sus cualidades organolépticas son: *Tuber aestivum*, *Tuber brumale* y *Tuber melanosporum* (trufa negra de invierno). Esta última es la de mayor valor comercial, y a la que se refiere este proyecto.

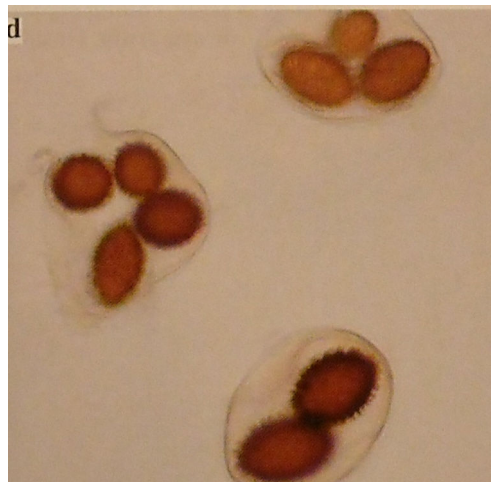
La trufa negra (*Tuber melanosporum*), es de forma globosa, algo irregular. Su tamaño oscila entre el de una pelota de ping-pong y el de una de tenis, siendo más pequeñas al final de la temporada.

Tiene el peridio negro brillante. La gleba en los individuos inmaduros es blanca con venas oscuras. En la madurez se vuelve oscura con venas blancas, hasta que se unifica el color alrededor de Marzo. Esta parte oscura son las esporas del hongo, lo que le confieren ese aroma tan característico. Por lo tanto, la época de mayor valor económico, es al final

de la temporada. Las ascas son globosas y en su interior contienen de 1 a 5 esporas.



Trufa inmadura y madura de *T. melanosporum*. Fuente: Reyna, S. (2007)



Ascas con ascosporas de trufa negra.

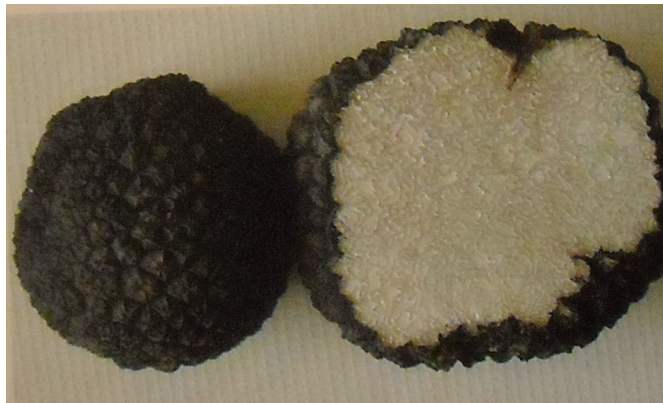
Fuente: Reyna, S (2007)

La trufa de otoño (*Tuber brumale*), tiene el peridio negro, que se desprende con facilidad y más pequeña que la trufa negra. La gleba es de color marrón, con pocas venas blanquecinas, pero más grandes.



Tuber brumale .Fuente: Reyna, S. (2007)

La trufa de verano (*Tuber aestivum*), es negra-marrón, con verrugas más grandes que el caso anterior. La gleba es blanca, volviéndose color avellana en la madurez, y está atravesada por numerosas venas blanquecinas.



Tuber aestivum. Fuente: Reyna, S. (2007)

1.3 Elección del hongo

La trufa blanca es la más importante desde el punto de vista económico, pero no se produce en España. Se ha elegido *Tuber melanosporum*, porque se encuentra en segunda posición detrás de la trufa blanca, es idóneo su cultivo con carrasca y es una trufa natural de la comarca, ya que se adapta perfectamente al clima y suelo de la zona.

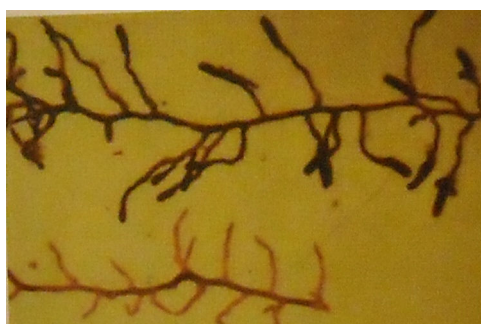
1.4 Biología

Las trufas viven en simbiosis con las raíces finas de los árboles vivos, sin los cuales no podría vivir. Este tipo de simbiosis se denomina micorriza.



Micorriza. Fuente: José de Uña (2008)

En la imagen siguiente se muestra la diferencia en tamaño de una raíz micorrizada y una sin micorrizar.



Raíz micorrizada. Abajo: raíz sin micorrizar. Fuente: Reyna, S. (2007)

En esta relación planta-hongo, las dos partes salen beneficiadas, el hongo se aprovecha de los hidratos de carbono sintetizados por el árbol, y éste, presenta una mayor absorción de agua y nutrientes (sobretudo nitrógeno, fósforo y potasio) ya que las micorrizas incrementan la superficie de contacto entre las raíces y el suelo. Además la planta es más resistente frente a plagas y sequía porque está más nutrida.

La vida de la trufa tiene dos fases, una vegetativa, la micorriza, y otra reproductora, que es la producción de la trufa.

1.4.1 La micorriza

Al germinar las esporas, se produce el micelio, que debe contactar rápidamente con una raíz. Entonces se forma una ectomicorriza, lo cual quiere decir que el hongo no penetra en las células, sino que el intercambio se produce por contacto entre las paredes del hongo y de la raíz. A partir de aquí, las hifas empiezan a explorar el suelo en busca de nuevas raicillas que colonizar.

A medida que el árbol crece, las hifas colonizan los nuevos ápices radicales.

En la expansión del micelio y en la fase de micorrización, debido a los cambios fisiológicos y químicos, se liberan sustancias con efecto fitotóxico, creando un área alrededor del árbol, exento de vegetación, llamada calvero o quemado. De esta manera, se evita la competitividad por el agua y los nutrientes, en la zona de fructificación.



Efecto del quemado. Fuente: propia

A pesar del efecto alelopático, hay plantas que pueden vivir en la zona del quemado, como son el *Sedum* sp y las *Euphorbia* sp, muy resistentes a la sequía.

Este quemado indica la fase de formación de las trufas. Pero también hay otras especies de micorrizas que producen quemado. En este caso se trataría de quemados estériles.

Si la planta es de calidad, y tiene una buena micorrización en el vivero, estos quemados anuncian una buena producción, más elevada cuanto más grande es el quemado.

Los quemados comienzan a aparecer entre el 4º y el 10º año de plantación del árbol micorrizado, y pueden permanecer toda la vida del árbol. En las plantas inoculadas, la aparición del quemado parece producirse cuando el sistema radical se acerca a la superficie, tras unos primeros años en los que se desarrolla principalmente la raíz pivotante, Callot (1999).

1.4.2 La formación de las trufas

El micelio se extiende por el suelo hasta alcanzar una cantidad de biomasa necesaria, a partir de la cual, se empieza a producir la fructificación. Esta biomasa se alcanza en las plantaciones truferas a partir de los 5-10 años.

En los meses de abril-mayo, el micelio empieza a compactarse y especializarse, para dar lugar a los primordios de la trufa, que son pequeños, rojizos, esféricos y rugosos, pudiéndose encontrar alrededor de 10 por m². Aunque la mayor parte de ellos no completará su desarrollo. Sólo llegarán a trufas maduras, las que soporten el verano.

A finales de la primavera, principios de verano, la trufa tiene una fase saprofítica, donde el carpóforo se independiza de las micorrizas y vive a partir de sustancias orgánicas del suelo. En esta fase, y con una cierta cantidad de lluvia, la trufa engrosa considerablemente, formando sus esporas al final del verano.

1.4.3 Diseminación de las esporas

Se pueden encontrar trufas maduras desde principios de diciembre hasta comienzos de la primavera.

Cuando la trufa está madura expelle un fuerte aroma, que atraerá a vertebrados, como jabalís, zorros, roedores... e invertebrados.

El jabalí, escarba en el suelo para comer las trufas, pudiendo diseminar las esporas, al quedarse pequeños trozos de trufa adheridos al pelo o los labios.

La mosca de la trufa (*Suillia gigantea* syn. *Helomyza tuberivora*), hace la puesta en las trufas maduras. Las larvas crecen y se alimentan en el interior. Los adultos maduros pueden diseminar las esporas al quedarse adheridas en las patas.



Adulto y larva de *Suillia gigantea*. Fuente: Reyna, S. (2007)

Una de las causas del descenso en la producción de trufa, es la insuficiente incorporación de esporas al suelo, por ello, es necesario dejar trozos de trufa en cada hoyo durante la recolección. Estos trozos pueden ser, trufas rotas, podridas o demasiado pequeñas.

1.5 Producción

Las trufas se encuentran enterradas en el suelo a una profundidad variable, desde la superficie hasta 30-40 cm. En cada hoyo puede haber, de 1 a 10 trufas, siendo más grandes cuanto menos abundantes.

La irregularidad en la producción de la trufa se debe en gran parte a la existencia de lluvias en verano. Los años de mayor cosecha son los que tienen más de 40 mm de lluvia en agosto.

La falta absoluta de lluvias durante la primavera puede reducir la formación de primordios y su supervivencia. Una primavera con fríos intensos y prolongados puede impedir el inicio de la actividad del micelio y la formación de los primordios, Reyna (2007). En otoño e invierno, lluvias excesivas pueden producir la pudrición de la trufa.

La producción de trufa suele ser máxima hacia mediados de enero.

1.6 Distribución

La trufa negra se encuentra de manera natural en el sur de Europa, principalmente en el sur de Francia, este de España y centro-norte de Italia.

En España, aparece principalmente en las sierras prepirenaicas, el Sistema Ibérico, la Cordillera Costero-Catalana y las cordilleras Béticas en torno a la Sierra de Segura.



Distribución de la trufa negra en Europa y España.

Fuente: Reyna, S (2007)

1.7 Arboles huésped

La trufa es capaz de formar micorrizas con numerosas plantas de los siguientes géneros: *Quercus*, *Fagus*, *Populus*, *Salix*, *Ostrya*, *Carpinus*, *Alnus*, *Betula*, *Corylus*, *Castanea*, *Tilia*, *Fumana*, *Eucaytus*, *Pinus* *Abies* y *Cedros*.

Sin embargo, sólo unas pocas de estas especies son capaces de mantener una producción trufera habitual. Vive asociada de forma natural en España: a la carrasca (*Quercus ilex* L. subsp. *ilex* y *Q. ilex* L. Subsp. *ballota* Samp.= *Q. rotundifolia* Lam.), el quejigo (*Quercus faginea* Lamk.), la coscoja (*Quercus coccifera* L.), el tilo (*Tilia platyphillos* Scop.), el roble pubescente (*Quercus humilis* Miller=*Q. pubescens*) y el avellano (*Corylus avellana* L.).

1.8 Elección del árbol huésped

El avellano es una especie que fácilmente se contamina con especies menos interesantes de *Tuber*, además de ser más exigente en agua y

presentar un ciclo de producción más corto. El quejigo precisa de suelos más profundos, desarrolla un porte elevado que proporciona excesiva sombra y tiene un rápido crecimiento radical, lo que provoca que el hongo tenga dificultad en seguir su velocidad.

Se elige la carrasca por diferentes razones: es una especie perfectamente adaptada a los pisos mesomediterráneo y supamediterráneo, tanto en suelo superficiales con escasa reserva de agua, como en aquellos más profundos y fértiles. Su sistema radical, pese a ser pivotante, emite raíces transversales en buena medida, ofreciendo un buen alojamiento a aquellas raíces que quieran ser colonizadas por el hongo. Y el mantenimiento de la producción se sitúa por encima de los 35-40 años, produciendo trufas de una calidad excelente.

1.9 La carrasca

De todas las especies anteriormente descritas, la encina es la más extendida en España. De las dos subespecies que presenta, *Quercus ilex ilex* es algo más exigente en humedad, y ocupa las zonas mas frescas y nortañas, desde Asturias a Cataluña. *Q. ilex ballota* se encuentra en la mayor parte de la Península Ibérica, mezclándose ambas en las zonas de transición (Tarragona, Castellón).

Su sistema radical es pivotante, con una potente raíz principal ya desde la germinación de la bellota. Al principio, esta raíz no se ramifica, pero en una segunda fase desarrolla abundantes raíces secundarias de gran vitalidad y fuerza. En los adultos, las raíces secundarias someras presentan pocas ramificaciones y escaso barbado (raíces finas en las que se encuentran los ápices tróficos micorrizables).

La encina se asienta de forma natural sobre suelos calizos, silíceos y yesosos, rehuendo los encharcados y los arcillosos demasiado compactos, vive en zonas con más de 300-350 mm de precipitación, con

50-250 mm de precipitación estival, temperaturas medias de enero entre -3 y 11º C y temperaturas medias de agosto entre 14 y 28 ºC. Puede encontrarse desde el nivel del mar hasta los 2.200 m de altitud (en el sur) aunque su óptimo está entre los 200 m y los 1.200-1.400 m. Es muy resistente al frío y no sufre daños hasta temperaturas de -15 a -25 ºC. Por todo ello, la encina se adapta a la inmensa mayoría de plantaciones truferas que se realizan en España.

2. NECESIDADES DE LA TRUFA

2.1 Clima

En España, *T. melanosporum* se encuentra en climas de transición entre el mediterráneo y el atlántico. El clima mediterráneo se caracteriza por tener un periodo de sequía estival, mientras que el atlántico presenta veranos húmedos.

La trufa está adaptada a la sequía estival, pero necesita de tormentas en verano, y unas temperaturas no demasiado elevadas.

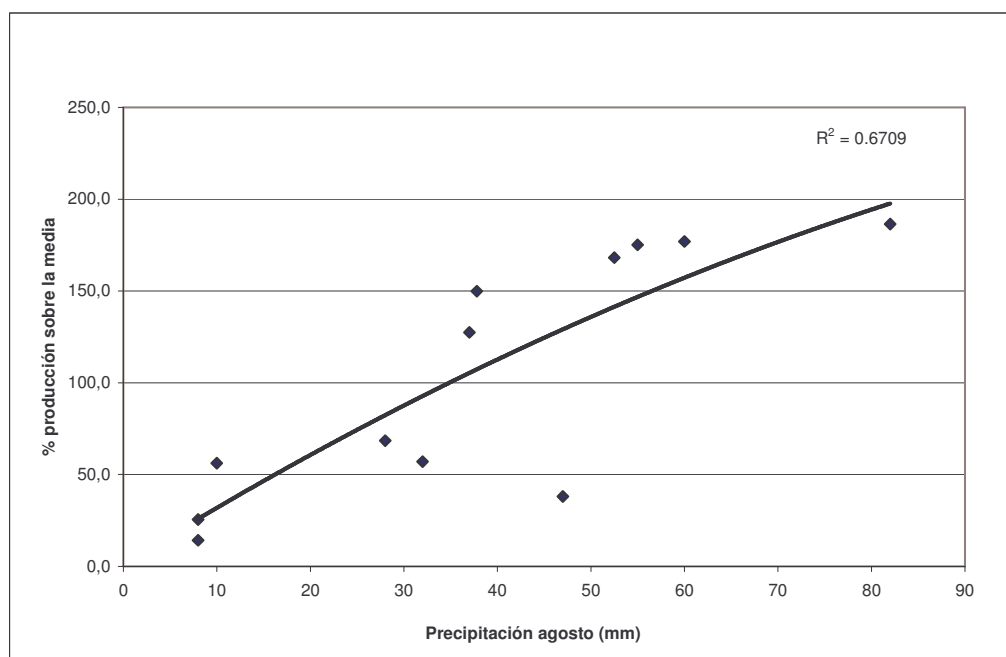
Según Rivas-Martínez *et al.* (2002), las áreas truferas, se encuentran en los pisos bioclimáticos mesomediterráneo y supramediterráneo de ombroclimas seco (precipitación media anual entre 350 y 600 mm), y, de forma mayoritaria, subhúmedo (precipitación media anual aproximada entre 600 y 1.000 mm).

A continuación se muestran los aportes hídricos recomendados para la trufa, por diferentes autores:

- Reyna (2007): entre julio y agosto las truferas deben recibir un aporte entre lluvia y riego de 150 mm con dosis de 30 a 40 l/m², aunque variable en función del suelo.

- Carbajo (1999): se deben aplicar riegos de 25 l/m² cada 15 días en junio, julio, agosto y septiembre.
- Sáez & De Miguel (1995): recomiendan aportaciones de mayo a septiembre de 50 a 60 l/mes.

En el siguiente gráfico se muestra la relación entre la precipitación de agosto y de producción de trufa en dos explotaciones truferas de Castellón, donde se aprecia que los años de buena cosecha tienen más de 40 mm de lluvia en agosto. Este valor corresponde aproximadamente al punto en el que las precipitaciones doblan a la temperatura media.



Relación entre precipitación de agosto y producción de trufa. Fuente Reyna, S. (2007)

A partir de estos datos se propone la aportación hídrica más adecuada para el periodo mayo-septiembre:

MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
60	80	50	70	80

2.2 Suelo

El suelo donde se realiza la plantación debe ser de zonas agrícolas, preferiblemente de cultivos herbáceos (gramíneas o leguminosas), las cuales forman endomicorrizas en vez de ectomicorrizas, no compitiendo con la trufa.

Es importante la presencia de lombrices y hormigas en el suelo, ya que contribuyen con sus galerías, a la aireación y drenaje del mismo, lo que supone un aspecto muy favorable para el desarrollo de las trufas, junto con los factores ambientales (lluvias de primavera, temperaturas no extremas en verano o tormentas de verano)

2.2.1 pH

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad del suelo. Para el cultivo de la trufa, son recomendables valores entre 7,5 y 8,5 (pH medido en agua.)

Si el suelo tiene un pH bajo, es necesario hacer enmiendas con cenizas o carbonato cálcico.

2.2.2 Altitud

Los límites altitudinales en España se sitúan en torno a los 600-1.500 m. La altitud donde se encuentran trufas en la Comunidad Valenciana, oscila entre los 590 m y los 1.480 m, siendo el óptimo entre los 800 m y los 1.200 m.

2.2.3 Orientación

La orientación es muy importante, ya que influye en la insolación recibida por la plantación. En Valencia, las truferas prefieren la orientación norte, mientras que en Castellón, prefieren las solanas.

2.2.4 Pendiente

La pendiente influye en la circulación del agua, la erosión y la insolación. Las truferas silvestres se sitúan normalmente en pendientes moderadas. En la Comunidad Valenciana predominan las pendientes entre el 5 y el 30%. Aunque también se pueden encontrar truferas en pendientes mayores al 30%. En las cuales el quemado se desplaza hacia abajo, ya que el agua arrastra propágulos trufígenos. En cambio, hay pocas truferas situadas en zonas llanas y encharcadizas.

2.2.5 Perfil del suelo

La trufa negra vive sobre suelos calizos. El material originario puede ser de diversas edades geológicas (Jurásico, Cretácico, Terciario, Cuaternario) y diferentes litologías (calizas, margas, areniscas, conglomerados, coluvios, etc.) siempre que contenga carbonato cálcico.

Se encuentran truferas silvestres tanto en suelos someros y poco evolucionados (leptosoles, regosoles) como en otros más desarrollados (luvisoles, calcisoles, cambisoles, suelos humíferos, etc.). Aunque en las truferas de cultivo, la profundidad del suelo, tiene un papel importante, ya que de ella depende la capacidad de retener agua y ponerla a disposición de la trufa.

Las características físico-químicas son las más relevantes en la aptitud trufera de un suelo, sobretodo en los 30-40 cm superficiales, en los que aparecen la mayoría de los carpóforos.

En el cuadro siguiente se muestran las características del suelo para el cultivo de la trufa negra.

	Valores recomendados
Textura	Fr, FrAre, FrArc, FrLi
Elementos gruesos (%)	Pedregosidad superficial favorable
pH agua (1:2,5)	7,5-8,5
Caliza total	1-80
Caliza activa (%)	0,1-30
Materia orgánica (%)	1-10
Relación C/N	5-15
P205 asimil Olsen (ppm)	5-150
N Kjeldahl (%)	0,1-0,5
K ₂ O asimil (ppm)	50-500
Conductividad 1:5 (mmhos/cm)	0-0,35

Fuente: Reyna, S. (2007)

3. TRUFICULTURA

3.1 Cultivo sostenible

La sostenibilidad es un parámetro obligatorio cuando se trabaja con plazos muy largos, como es el caso de los plazos forestales. La truficultura es una actividad de transición entre lo forestal y lo agrícola. De lo forestal tiene parte de las especies con las que se asocia para el cultivo: encina, quejigo, roble etc., la baja intensidad de las operaciones culturales, pero ante todo los plazos largos en los que se mueve la inversión. Por el contrario con lo agrícola coincide en multitud de técnicas culturales (preparación previa del terreno, labrados continuos, poda, riego...) y muy especialmente la utilización de tierras utilizadas tradicionalmente para cultivos clásicos.

La truficultura desde un punto de vista estrictamente agrícola coincide plenamente con los principios de la agricultura biológica o ecológica, ya que excluye el uso de pesticidas, abonos sintéticos, modificaciones genéticas de semillas, etc.

- La truficultura cumple con los principales criterios y objetivos para la agricultura y selvicultura ecológica (ASE) que pueden resumirse de acuerdo con Capellán *et al.* (2002) en:
- Producir alimentos de calidad nutritiva, sanitaria, organoléptica, social y ética elevada, y en cantidades razonables.
- Obtener otros productos agrarios no alimenticios (forestales, textiles, ornamentales, lana, pieles, tinturas...) acordes con las reglas y orientaciones de ASE.
- Trabajar en armonía con los agro-ecosistemas y bosques, manteniendo y revitalizando su integridad, alcanzando una producción sostenida; buscar la eficiencia funcional de los agro-ecosistemas preservando su estructura y la interrelación entre sus componentes y mantener la productividad ecológica de los bosques.
- Elegir sistemas de gestión para mantener y mejorar la salud y la fertilidad de la tierra, su actividad biológica, su naturaleza física y mineral, las interrelaciones entre los biota del suelo, las plantas y los animales, etc., como medio para proporcionar un suministro equilibrado de nutrientes para la vida animal y vegetal, así como para conservar el agua y los recursos del suelo.

3.2 Valor ecológico de la truficultura

Las producciones de trufa fomentan la conservación de las masas forestales, que tienen un gran valor, al ser necesaria la existencia de montes de quercíneas, como etapas más próximas a la formación clímax.

A parte de cubrir la función del monte arbolado, la explotación trufera puede tener un papel muy notable en las demandas sociales del monte mediterráneo. En muchos casos estas funciones ya están siendo potenciadas para cubrir numerosos objetivos de la política forestal (Reyna, 2007), donde pueden citarse los siguientes:

- *Prevención de incendios forestales*
 - Las plantaciones son muy resistentes al fuego tanto por su fisonomía (parecida a la dehesa), como por las especies empleadas.
 - Debido a los efectos alelopáticos del hongo se produce alrededor de la planta una zona desprovista de vegetación que impide el paso del fuego superficial, limitándolo al de copas.
 - Las especies utilizadas, al ser frondosas, son menos pirófitas.
 - Las plantaciones truferas exigen la presencia de los truficultores que son los primeros interesados en que no se produzca un incendio y actuarán como vigilantes.
- *Mantener y mejorar el suelo, la flora y la fauna*
 - Se produce un aumento de la superficie arbolada, ya que la mayoría de plantaciones se realizan sobre terrenos agrícolas de secano.

- Se produce un aumento del paisaje, al convertir los campos de cereal en dehesas.
- La apertura de claros en masas cerradas permite la formación de pequeños pastizales donde se desarrolla una mayor biodiversidad en la vegetación.
- Papel hidrológico
 - La truficultura tiene un papel 100% protector ya que, siendo propia de zonas calizas donde se recargan gran parte los acuíferos, al no utilizarse ni abonos ni pesticidas la calidad del agua infiltrada es óptima y por otra parte elimina los riesgos de erosión en terrenos abandonados al ponerlos en cultivo (Ourzik, 1999).
 - Contribuye a la conservación de los abancalamientos históricos, que de otra forma acabarían desmoronándose en incrementando los procesos erosivos.