



**2025** | **16-20**  
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

**9CFE-1726**

---

Organiza





## Influencia de los sistemas de riego en la producción de trufa negra

MAGARZO, A. (2), ALBA, S. (2), SANTOS DEL BLANCO, L. (3), FRANCO MANCHÓN, I. (2), OLAIZOLA, J. (2), MARTÍN PINTO, P. (1) y MEDIAVILLA, O. (1)

(1) Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible (iuFOR), Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid.

(2) IDForest-Biotecnología Forestal Aplicada.

(3) Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR, INIA-CSIC)

### Resumen

España es uno de los principales productores de trufa negra (*Tuber melanosporum* Vittad.) en el mundo. Las trufas negras se cultivan habitualmente en plantaciones de *Quercus ilex*, siendo crucial la disponibilidad de agua para su producción. A pesar de la importancia del riego en las plantaciones de trufa, no se ha realizado ningún estudio que compare la eficiencia de diferentes sistemas de riego. El objetivo de este estudio fue comparar la eficiencia de dos sistemas de riego, uno por goteo y otro por microaspersión, en una plantación de trufas ubicada en la provincia de Burgos. No se observaron diferencias entre los dos sistemas de riego en cuanto a producción y calidad de las trufas. Sin embargo, teniendo en cuenta el impacto económico y ambiental de la instalación, y su funcionamiento, el riego por goteo se evaluó como un sistema superior debido a un menor desperdicio de agua. Este estudio valida por primera vez el uso del riego por goteo frente al sistema de microaspersión (el más empleado en las plantaciones truferas) por su mayor eficiencia en el uso del agua, un factor cada vez más importante ante futuros escenarios de cambio climático marcados por la escasez de agua.

### Palabras clave

Truficultura, cultivo de trufas, riego por goteo, riego por microaspersión

### 1. Introducción

*Tuber melanosporum* Vittad. es un hongo ectomicorrícico que necesita asociarse a una planta, normalmente de la familia Fagaceae, para completar su ciclo vital y producir sus cuerpos fructíferos, conocidos como trufas negras (Chen et al., 2021; Gómez-Molina et al., 2020; Phong et al., 2022). Las trufas negras silvestres se encuentran principalmente en Italia, Francia y España. Sin embargo, debido a la gran demanda de trufa negra y a la disminución de las producciones silvestres, la trufa negra también se produce en plantaciones en todo el mundo (Marozzi et al., 2017; Meadows et al., 2020; Zhang et al., 2020), aunque la temporada de recolección se limita al invierno en el hemisferio norte (Caboni et al., 2020). La producción mundial de trufa es actualmente de aproximadamente 120.000 kg por año, generando un volumen de negocio anual de unos 50 millones de euros para los truficultores (Oliach et al., 2020). Las plantaciones truferas son una inversión muy rentable que los agricultores pueden utilizar para diversificar y aumentar sus beneficios (Bonet et al., 2009). Además, se ha demostrado que las plantaciones de trufa tienen un impacto socioeconómico beneficioso en sus zonas circundantes



(Büntgen et al., 2017; Oliach et al., 2021). Las plantaciones han ido en aumento en las últimas décadas debido al mayor beneficio económico de la producción de trufa en relación a cualquier otro producto forestal en los bosques mediterráneos (Reyna y Garcia-Barreda, 2014). España es uno de los mayores productores de trufa negra del mundo (Herrero de Aza et al., 2022) debido a que sus condiciones edafoclimáticas son idóneas para su cultivo (Garcia-Barreda et al., 2018), y es uno de los pocos lugares del mundo que cuenta con un gran número de lugares naturalmente productivos (García-Barreda et al., 2012). De hecho, dentro de España, la zona de mayor producción de trufa negra se restringe a la región noreste (Thomas, 2014), donde se realizó el presente estudio. Aunque se sabe que algunas condiciones, como las temperaturas frescas y un suministro moderado de agua, son esenciales para la formación de carpóforos (Piñuela et al., 2021; Tejedor-Calvo et al., 2020; Wang et al., 2019), no se conocen bien las condiciones óptimas para el cultivo, lo que hace que las producciones anuales sean impredecibles, variando de un año a otro y de una zona a otra (Herrero de Aza et al., 2022), lo que puede suponer un riesgo a la hora de satisfacer una demanda cada vez mayor.

En los últimos años, las sequías son cada vez más frecuentes debido al cambio climático (Tramblay et al., 2020). Los efectos perjudiciales de los largos periodos de sequía en primavera u otoño sobre la producción de trufa negra son ampliamente conocidos por expertos y truficultores (Baragatti et al., 2019a; Bardet & Fresquet, 1995), resultando en un estrés importante sobre los cultivos de trufa negra, y poniendo en riesgo su fructificación (Baragatti et al., 2019b). Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2012, 2017), se espera que los recursos hídricos en Europa disminuyan como resultado del desequilibrio entre la disponibilidad y la demanda de agua. Otros estudios han demostrado que la lluvia es el factor climático más importante en la producción de trufa, viéndose esta reducida por la sequía (Büntgen et al., 2012, 2015). De hecho, la producción de trufa española mostró la correlación más fuerte con las precipitaciones de verano, tal y como observaron en un estudio Thomas y Büntgen (2019). La adecuada gestión de las plantaciones podría ayudar a frenar la disminución de las producciones (Garcia-Barreda et al., 2019), y sus prácticas deberían ajustarse para disminuir el gasto de agua (Garcia-Barreda, et al., 2020). Ya en 1982, Le Tacon et al. (1982) afirmaron que el riego puede debilitar el vínculo entre las precipitaciones de verano y la producción de trufas, atenuando así la influencia de las condiciones climáticas desfavorables sobre la producción. En España, los sistemas de riego se están popularizando en las plantaciones truferas como complemento al agua de lluvia para garantizar el mantenimiento de la producción estándar y la calidad de las trufas (Lamas & Maio, 2020; Mustafa et al., 2020; Sánchez et al., 2018) durante el periodo vegetativo (Garcia-Barreda, et al., 2020). Los sistemas eficientes en el uso del agua, sin comprometer la productividad de los cultivos, serán esenciales para los futuros escenarios de cambio climático; por lo tanto, el estudio de la optimización de los sistemas de riego es crucial para que se desperdicie una cantidad mínima de agua. Aquí, nos centramos por primera vez en comparar dos sistemas de riego diferentes, un sistema de riego por microaspersión y un sistema de riego por goteo, para evaluar su efecto en la producción de trufa. Ambos se encuentran entre las estrategias de microirrigación más típicas (Praharaj et al., 2016; Reyes-Cabrera et al., 2016), ya que son capaces de asegurar la producción a la vez que reducen el consumo de agua (Liao et al., 2019). El riego por microaspersión, el sistema de riego más utilizado en la truficultura, se basa en la



aplicación de pequeñas gotas de agua sobre la superficie del suelo, imitando el agua de lluvia, para humedecer toda la zona alrededor del árbol huésped (Piñuela et al., 2021; Roldan et al., 2019). Se sabe que este tipo de riego es eficaz y también puede utilizarse para suministrar a las plantas fertilizante hidrosoluble diluido (Issaka et al., 2018). Además, reduce el consumo de agua en comparación con otros sistemas de riego no automáticos (Li et al., 2019). Este sistema aplica agua a bajo caudal y baja presión, utilizando un bajo volumen de agua, lo que se traduce en un bajo coste energético (Varma & Namara, 2006) y, por tanto, es una solución práctica y económica en las plantaciones (Chevalier & Sourzat, 2012). Sin embargo, se sabe que, con el riego por microaspersión, la distribución del agua puede no ser homogénea, ya que depende de factores abióticos como el viento, que puede dejar algunas zonas sin mojar (Hahn-Schlam, 2021). Esto podría representar la principal desventaja que tiene el riego por microaspersión, ya que el principal indicador de la calidad del riego es la uniformidad de aplicación del agua (Salvatierra-Bellido et al., 2018). El riego por goteo se basa en la aplicación de agua a una zona del suelo, cerca del tronco del árbol (Conde Solano et al., 2021). El agua se conduce a través de una red de tuberías y se aplica de manera localizada en forma de gotas utilizando goteros (Liotta et al., 2015), proporcionando un suministro controlado y regulado de agua a la vez que se minimizan las pérdidas por evaporación (Wang et al., 2018), lo que hace que tenga una eficiencia del 90% al 95% (Liotta et al., 2015). Además, Yang et al. (2013) observaron que el riego por goteo mostró significativamente un efecto más favorable al humedecer uniformemente toda la zona radicular, lo que puede favorecer enormemente al cultivo ya que garantiza que el agua llegue a la raíz de la planta (Karthikeyan & Suresh, 2019). Sin embargo, este sistema también presenta desventajas como el elevado coste de su instalación debido al coste de los equipos o la necesidad de un sistema automatizado (Naranjo et al., 2022).

Dada la importancia del agua para la fructificación en las plantaciones truferas, así como la necesidad de una gestión eficiente de los recursos hídricos debido a su impacto en la rentabilidad económica de la producción de trufa, es importante comprender qué tipo de sistema de riego sería el más adecuado para la producción sostenible de trufas en el futuro (Himanshu et al., 2013).

## 2. Objetivos

El objetivo de este estudio fue comparar, por primera vez, la eficiencia de dos sistemas de riego, uno por goteo y otro por microaspersión en la producción de trufas en una plantación de *T. melanosporum* en función de la cantidad y calidad de las trufas, la tasa neta de riego y el consumo de energía, así como la rentabilidad económica de su instalación.

## 3. Metodología

### Sitio experimental

Este estudio se llevó a cabo en una plantación trufera de casi 5 ha de encinas micorrizadas (*Quercus ilex* L.; distancia entre plantas de 5x5 m, equivalente a 400 plantas por ha) que se estableció en 2013 en la provincia de Burgos. La plantación está situada en una zona de terreno llano (pendiente del 1-2%) y clima mediterráneo subhúmedo, con veranos frescos y heladas entre diciembre y

febrero. La temperatura media anual es de 11,4 C y la precipitación anual de 460,56 mm. En concreto, durante los meses en los que se aplicó el riego en el presente estudio, de abril a octubre de 2021, se registró una precipitación de 244 mm. En los meses de julio y agosto, las lluvias fueron prácticamente inexistentes. La temperatura media durante estos meses fue de 15,48 C. La plantación está situada sobre terreno calizo (pH 8,36), pedregoso, pobre en materia orgánica y de textura arcillosa gruesa (32,56% arcilla, 48,44% arena y 19,00% limo). Las condiciones edáficas de la plantación son homogéneas en toda la zona, no existiendo diferencias significativas entre los distintos sectores de riego.

### Diseño experimental

La plantación se dividió en nueve sectores iguales de 0,5 ha cada uno (30x190 m), con 220 árboles por sector. Anualmente se eliminaron las herbáceas alrededor de la base de los árboles, se podaron los árboles para mejorar su estructura y se realizó un laboreo antes de instalar el sistema de riego. Solo se utilizaron seis de los nueve sectores en este estudio para que fuera equilibrado. Los sectores 3, 6 y 9 se regaron con un sistema de riego por microaspersión, mientras que los sectores 2, 5 y 8 se regaron con un sistema de riego por goteo (Figura 1). Los quemados de trufa alrededor de cada árbol (es decir, el área potencialmente productiva alrededor de cada árbol) tienen un diámetro de 2,5 m. Ambos sistemas de riego se instalaron de manera que se pudiera regar esta área circular alrededor de cada árbol. Se colocaron microaspersores con una capacidad de 70 L h<sup>-1</sup> cada 5 m a una distancia de 0,5 m de los troncos de los árboles. En el caso del sistema de riego por goteo, cada sector estaba compuesto por 6-7 hileras de árboles. En cada hilera había cuatro líneas de goteo paralelas a 0,5 m de los fustes de los árboles, dos a cada lado de los fustes. Cada línea de goteo tenía goteros autocompensantes integrados espaciados a 0,33 m entre sí. Cada gotero dispensaba 1 L·h<sup>-1</sup>, aplicando 26 L·h<sup>-1</sup> a los quemados. Por lo tanto, se aplicaron 14,28 L·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> a los quemados utilizando el sistema de microaspersión y 5,30 L·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> utilizando el sistema de riego por goteo. El periodo de riego duró de abril a octubre de 2021. La plantación fue regada durante un total de 60 h, aplicándose 14.500 L h<sup>-1</sup> de riego neto con el sistema de riego por goteo y 39.000 L h<sup>-1</sup> de riego neto a las parcelas regadas con sistema de microaspersión, resultando un volumen total de 870 m<sup>3</sup> al año y 2340 m<sup>3</sup> al año, respectivamente.

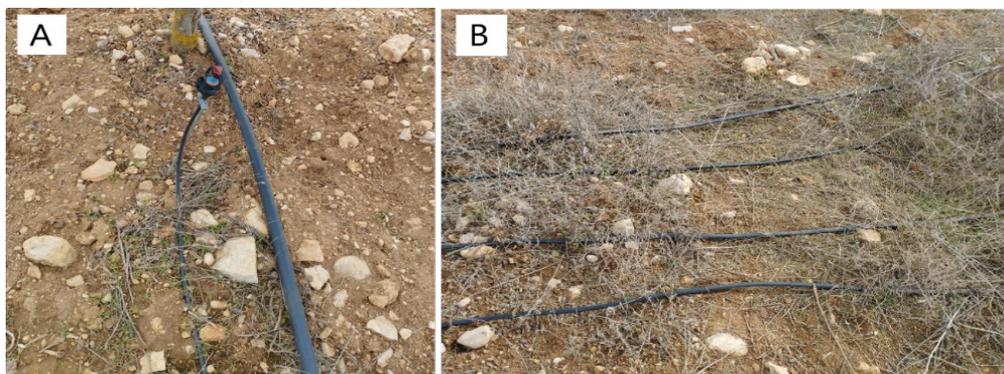


Figura 1. Imagen de los tipos de riego implantados en la parcela de estudio. (A) Sistema de riego por microaspersión. (B) Riego por goteo.



### **Muestreo de trufa negra**

Las trufas se recolectaron individualmente en cada sector durante un período de 114 días entre diciembre de 2021 y marzo de 2022 con la ayuda de perros adiestrados. Las trufas se recolectaron una vez a la semana, excepto cuando la recolección no fue posible debido a condiciones climáticas adversas (13 días de recolección en total). Las trufas recolectadas se limpiaron manualmente para eliminar la tierra antes de contarlas y pesarlas. Se registró el peso de cada trufa y el peso total de trufas por sector. La calidad de una trufa negra está determinada por su forma y peso. Idealmente, las trufas deben tener una forma regular y pesar más de 20 g, pero no ser demasiado pesadas para que sea más fácil vender la trufa sin dañarla. Sin embargo, evaluamos la calidad de la trufa en función del peso únicamente porque el peso es más fácil de medir que la forma (Tabla 1).

### **Análisis estadístico**

Para cada grupo, los datos de interés fueron el peso en gramos de cada trufa recolectada, el peso total de las trufas recolectadas en cada sector y el número total de trufas. Se realizaron análisis para evaluar el efecto de los diferentes sistemas de riego sobre la producción de trufa. El tipo de sistema de riego se consideró una variable fija. El efecto del número de trufas recolectadas fue considerado como posible valor de confusión, por lo que se incluyó como variable fija cuando la interacción con el tipo de riego a estudiar fue significativa y se consideró una variable independiente más cuando no lo fue. Por su parte, para controlar la variación que pudiese haber entre las diferentes fechas y en cada sector, se definieron fecha y sector como variables aleatorias, de tal forma que las conclusiones puedan ser extendidas a nivel de parcela y para toda la temporada.

Se utilizó RStudio para el análisis de datos, utilizando el paquete ImerTest, que implementa el ajuste de modelos mixtos a partir del paquete madre lme4 mediante la función lmer (Kuznetsova et al., 2017; R Core Team, 2019). Se utilizó una tabla de análisis de varianza tipo III utilizando el método Satterthwaite para testar la significatividad de las variables fijas, considerando 0.05 como el límite de significatividad, mientras que, para las variables aleatorias, se usó un test de ratios de verosimilitud que sigue una distribución de chi cuadrado para este testeo. Además, cada modelo fue validado en cuanto a la normalidad y a la varianza constante de los errores.

## **4. Resultados**

### **Análisis de datos generales**

En total, se recolectaron 1003 trufas con un peso total de 34,904 kg en 3 ha, es decir, una producción media de 11,63 kg ha<sup>-1</sup>. El peso promedio de una trufa individual fue de 33,98 g, con una desviación típica de 32,82 g y un error típico de 1,04 g. Las trufas producidas en sectores regados con el sistema de riego por microaspersión tuvieron un peso promedio de 33,88 g, con un error típico de 1,55

g, mientras que las trufas producidas en sectores regados con el sistema de riego por goteo pesaron un promedio de 34,08 g, con un error típico de 1,37 g.

### Efectos del sistema de riego sobre el peso total de las trufas

El peso total de las trufas recogidas en los sectores regados con el sistema de riego por microaspersión no difirió significativamente del peso total de las trufas recogidas en los sectores regados mediante riego por goteo ( $F_{1,4} = 0,000$ ;  $p$ -valor = 0,99). Además, el tipo de sistema de riego y la fecha de recolección no afectaron significativamente al peso de las trufas ( $p$ -valor = 0,962; Figura 2). En general, el peso total de las trufas recogidas en cada día de recolección mostró una tendencia general a la baja entre el primer y el último día de recolección, con un segundo pico entre los días 50 y 70. Considerando la fecha como el número de días transcurridos desde el inicio de la temporada de recolección, la asociación entre la fecha de recolección y el peso de las trufas tuvo un  $p$ -valor de  $<0,01$  y un  $F_{69,1} = 23,1$ .

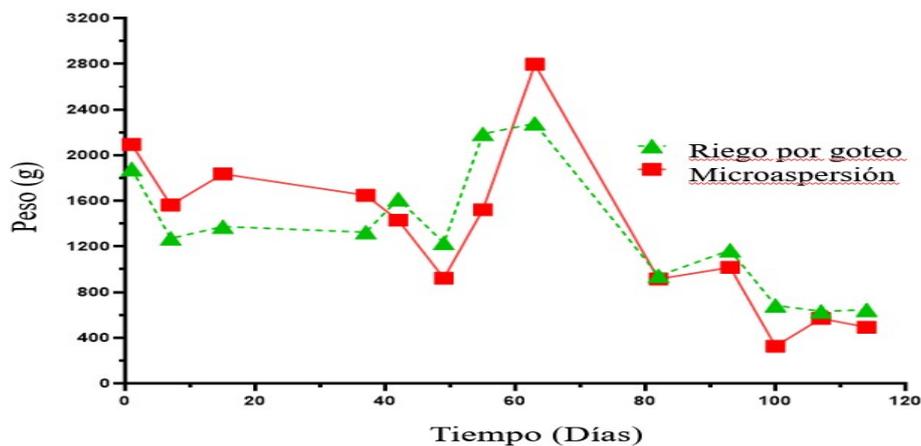


Figura 2. Gráfico comparativo que muestra el peso de las trufas recolectadas en los sectores regados por un sistema de riego por goteo (triángulos verdes) o por microaspersión (cuadrados rojos) a lo largo de la temporada de recolección. El peso de la trufa es el peso total (g) de las trufas recolectadas en cada día de cosecha durante la temporada de recolección.

### Efectos del sistema de riego sobre el tamaño de las trufas

Las trufas se clasificaron según su peso y sistema de riego. No se encontraron diferencias significativas entre el peso de las trufas y los dos sistemas de riego (análisis de varianza de Satterthwaite;  $F_{1,4} = 0,08$ ;  $p$ -valor = 0,79). El número de trufas recolectadas en cada clase de peso fue muy similar para ambos sistemas de riego (Tabla 1). La mayoría de las trufas (85%) pertenecían a las tres clases de peso más bajas. Las correlaciones entre la calidad (clase de peso) y el número de trufas recolectadas tampoco fueron significativas ( $p = 0,11$ ). Además, no se encontró correlación entre la fecha de recolección de la trufa y el peso de la trufa bajo ninguno de los sistemas de riego ( $p$ -valor en  $\chi^2$  de 0,96).

Tabla 1. Número de trufas de cada clase de peso recolectadas en los sectores regados

con un sistema de microaspersión o de riego por goteo durante la temporada de recolección.

| Clase de peso | Microaspersión | Goteo | Totales |
|---------------|----------------|-------|---------|
| 0-20 g        | 210            | 232   | 442     |
| 21-40 g       | 147            | 123   | 270     |
| 41-60 g       | 72             | 73    | 145     |
| 61-80 g       | 31             | 31    | 62      |
| 81-100 g      | 20             | 20    | 40      |
| Más de 100 g  | 22             | 22    | 44      |

## 5. Discusión

Los procesos de formación y maduración de la trufa no se conocen completamente, pero se cree que el desarrollo del micelio, y por tanto la producción de trufas, depende de la disponibilidad de agua, produciéndose un mayor crecimiento del micelio cuando toda la zona circundante está humedecida (García-Barreda, et al., 2020). A pesar de la importancia del riego en el cultivo de la trufa, esta es la primera vez que se realiza un estudio comparando diferentes sistemas de riego en plantaciones truferas. En nuestro estudio, ambos sistemas de riego suministraron agua a los sectores durante el mismo periodo de tiempo; sin embargo, aunque los sectores regados con el sistema de microaspersión recibieron casi tres veces más agua que los sectores regados por goteo, esto no afectó significativamente a la producción de trufas, a la clase de tamaño de las trufas o a la fecha de recolección de las mismas. Por tanto, el riego por goteo es más eficiente que el riego por microaspersión en términos de uso del agua. El riego por goteo proporciona suficiente agua a la parte húmeda de la raíz, lo que debería permitir que el agua llegue a los primordios fúngicos, proporcionándoles nutrientes y permitiéndoles crecer (Schneider-Maunoury et al., 2020). Bajas dosis de riego pueden aumentar la cantidad ápices radiculares y número de ápices micorrizados por *T. melanosporum* sin afectar el crecimiento aéreo del árbol (Olivera et al., 2011). Sin embargo, aumentar el riego por encima del volumen de agua necesario no necesariamente tiene un efecto positivo en la cantidad de micorrizas de trufa, como demostraron Bonet et al. (2006). Otro estudio de Olivera et al. (2014) observó que aumentar la humedad del suelo solo aumentó la capacidad de los hongos competidores para formar micorrizas. Se necesitan más estudios de riego con mediciones precisas de la temperatura del suelo y el contenido de agua para comprender completamente las necesidades de riego (Murat et al., 2016). En este estudio, las producciones de trufa alcanzaron su punto máximo en la mitad del período de recolección, lo que se encuentra dentro de la normalidad (Caboni et al., 2020). La fructificación está influenciada por las condiciones a las que están expuestos el árbol huésped y el hongo durante todo el año. En un estudio de la trufa del desierto (*Terfezia clavaryi*), Andrino et al. (2019) demostraron que todos los factores que afectan los cambios y el desarrollo de las plantas y los hongos desde el verano hasta la primavera podrían ser cruciales para la fructificación y la producción del cultivo.



Dado que ambos sistemas de riego dieron como resultado producciones y calidad de trufa similares, por razones económicas y ambientales, la elección del sistema de riego debe basarse en la eficiencia del uso del agua (EUA). El riego por goteo mantiene eficazmente las plantas mientras utiliza un volumen de agua menor que el riego por microaspersión porque solo humedece un área específica cerca de la raíz en lugar de toda la superficie del suelo que rodea al árbol (Ortiz-Calle et al., 2021). De hecho, Matyakubov et al. (2023) observaron que, en cultivos de algodón, el riego por goteo redujo el desperdicio de agua y aumentó el rendimiento del algodón en rama en un 24%. Además, con respecto al uso de este sistema de riego, Cao et al. (2018) estudiaron las características de absorción de agua de las cerezas y observaron que, al utilizar una estrategia de riego por goteo variable, es decir, ajustándola a los requisitos actuales, se puede reducir el desperdicio de agua. Cuando se utiliza un sistema de riego por microaspersión, se puede perder un volumen considerable de agua pulverizada debido a factores abióticos como el viento, que puede redirigir el agua a áreas no deseadas, lo que promueve el crecimiento de herbáceas (Hahn-Schlam, 2021). Esto también significa que el volumen real de agua que riega la planta podría variar. Con base en un volumen de riego aplicado de 400 mm, Ortiz-Calle et al. (2021) calcularon un ahorro de agua de 40.9% al utilizar un sistema de riego por goteo en lugar de un sistema de riego por aspersión. Por lo tanto, en áreas donde los vientos fuertes son frecuentes, las pérdidas de agua debido al uso del riego por microaspersión serían aún mayores, lo que implica un gasto extra para el agricultor. Se ha demostrado que el riego por goteo ahorra agua y mejora la producción de cultivos a través de la transferencia frecuente de pequeñas cantidades de agua alrededor de la periferia de las raíces de las plantas (Wilson et al., 2010). La ubicación de los goteros hace que el sistema sea eficiente, proporcionando a cada árbol solo la cantidad de agua que necesita sin someter al árbol y al hongo a estrés hídrico (Sanchez Delgado y Rivera Serna, 2018). Aunque el contenido de agua del suelo tarda más en alcanzar un estado óptimo cuando se aplica mediante riego por goteo en lugar de con microaspersión (Amiri et al., 2022), esto favorece el desarrollo de la plantación al limitar la evapotranspiración y la percolación profunda (Chen et al., 2015), contribuyendo al mantenimiento de la humedad del suelo. Además, las plantaciones con sistema de riego por goteo pueden regarse a cualquier hora del día, manteniendo el suelo húmedo incluso en periodos de altas temperaturas, como el verano, etapa crucial para el desarrollo de *T. melanosporum* (Jurayev et al., 2021). Aunque el coste de instalación de ambos sistemas es muy similar, los costes de funcionamiento del riego por goteo son significativamente menores debido a que este sistema es más eficiente en el uso del agua que el riego por microaspersión. Los métodos de riego precisos, como el riego por goteo (Reyes-Cabrera et al., 2016), también reducen el consumo de energía.

Las tuberías de goteo se pueden desmontar con mayor facilidad que un sistema de microaspersión, lo que permite labrar el suelo en ambas direcciones. Aunque desmontar y volver a conectar las tuberías de goteo conlleva un coste de mano de obra, existe un ahorro económico al evitar la proliferación de herbáceas (Liotta et al., 2015), que también pueden reducir la eficiencia del riego por microaspersión. Además, los animales pueden dañar las plantaciones de diversas formas, incluidos los sistemas de riego (Bapat et al., 2017). Un sistema de riego por descarga, sin elementos externos, como un sistema de riego por goteo, tiene menos



probabilidades de ser dañado por animales que otros sistemas de riego. Sin embargo, la desventaja de un sistema de riego por goteo es que los goteros pueden obstruirse; por lo tanto, es necesario un buen sistema de filtrado y el sistema necesita ser revisado con frecuencia (Naranjo et al., 2022). También puede ser necesario verter ácidos en las tuberías cada cierto tiempo para desincrustarlas (Souza et al., 2014). Sin embargo, los factores que afectan a los sistemas de riego pueden variar según la ubicación de la plantación. Por lo tanto, la selección de un sistema de riego debe tener en cuenta factores como el consumo de energía, la disponibilidad y calidad del agua, la disponibilidad de mano de obra, el viento y la fauna.

En las últimas décadas, la recurrencia de los períodos de sequía ha aumentado y se espera que aumente aún más en los próximos años, especialmente en el área de cultivo de trufas en el Mediterráneo (Cramer et al., 2018; Vicente-Serrano et al., 2014). Las relaciones entre el balance hídrico mensual y la producción de trufas podrían cambiar si una plantación de trufas experimenta condiciones más cálidas y secas que las analizadas por García-Barreda et al. (2020) o si las tendencias climáticas regionales muestran estas condiciones, como se espera que ocurra (Vicente-Serrano et al., 2017). Para combatir las condiciones más secas en las plantaciones de trufas, será necesario implementar el riego (Ricard et al., 2003) y el mulching (Olivera et al., 2014). Los factores climáticos, particularmente durante el verano, pueden tener una gran influencia en la fructificación de la trufa negra (Büntgen et al., 2012; Le Tacon et al., 2014), siendo la disponibilidad de agua el factor más limitante (Büntgen et al., 2019; Garcia-Barreda, et al., 2020; Piñuela et al., 2021). Una menor disponibilidad de agua también afecta al estado fisiológico del hospedante *Q. ilex*, limitando la absorción de carbono y deteniendo el crecimiento (Lempereur et al., 2015). Los efectos positivos de las precipitaciones de verano (Büntgen et al., 2019) y el riego de nivel medio en la colonización de ápices de *Q. ilex* (Olivera, et al., 2014) y la producción de esporocarpos de *T. melanosporum* (Le Tacon et al., 1982) se han reportado previamente. El riego adecuado o bien programado es un factor clave para mantener la productividad de una plantación (Honrubia et al., 2014). Los truficultores necesitan entender cuándo y cuánta agua se debe aplicar (Broner, 2005) y el efecto directo que esto tiene en la eficiencia del uso del agua (Koech & Langat, 2018). Los sistemas de riego necesitan funcionar eficientemente para promover el uso eficaz de los recursos (Kadirbeyoglu & Özertan, 2015). Por lo tanto, el desarrollo de un sistema de riego adecuado para una plantación de *T. melanosporum* debe ser capaz de satisfacer los requisitos de agua de la trufa negra y ser económicamente rentable para garantizar una buena aceptación por parte de los truficultores.

## 6. Conclusiones

Este es el primer estudio que se lleva a cabo para comparar la eficiencia de distintos sistemas de riego en plantaciones trufas. Los resultados mostraron que la producción de trufa no se vio afectada significativamente por el tipo de sistema de riego, lo que implica que las ventajas en términos de retención de agua y el uso eficiente del agua serán claves a la hora de elegir un sistema de riego. Basándonos en estos criterios, el riego por goteo sería un sistema mejor que el sistema de microaspersión. Un sistema de riego por goteo también minimizaría las pérdidas de agua debido a factores bióticos y abióticos que pueden amenazar la eficiencia



del riego, lo que convierte al riego por goteo en una buena elección. Los aspectos económicos determinarán qué sistema de riego elijan los truficultores. Este estudio valida por primera vez el uso del riego por goteo en el cultivo de la trufa, que puede frenar la amenaza que supone para la producción la escasez mundial de agua. El uso del riego por goteo puede ayudar a los productores de todo el mundo a ahorrar agua y dinero, y facilita la gestión de la tierra. Por lo tanto, este estudio allana el camino para futuras investigaciones sobre las necesidades hídricas de los primordios de *T. melanosporum* y su relación con el hospedador.

## 7. Agradecimientos

Queremos agradecer a Felipe Warthon Quintanilla y David Sánchez Tuero su ayuda en la recolección de trufas. También agradecemos a Eladi Grau y Guillermo García el apoyo técnico.

## 8. Bibliografía

AMIRI, Z., GHEYSARI, M., MOSADDEGHI, M. R., AMIRI, S., TABATABAEI, M. S. (2022). An attempt to find a suitable place for soil moisture sensor in a drip irrigation system. *Information Processing in Agriculture*, 9(2), 254–265. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.04.010>

ANDRINO, A., NAVARRO-RÓDENAS, A., MARQUÉS-GÁLVEZ, J. E., MORTE, A. (2019). The crop of desert truffle depends on agroclimatic parameters during two key annual periods. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(6), 51. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0596-9>

BAPAT, V., KALE, P., SHINDE, V., DESHPANDE, N., SHALIGRAM, A. (2017). WSN application for crop protection to divert animal intrusions in the agricultural land. *Computers and Electronics in Agriculture*, 133, 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.12.007>

BARAGATTI, M., GROLLEMUND, P.-M., MONTPIED, P., DUPOUEY, J.-L., GRAVIER, J., MURAT, C., LE TACON, F. (2019a). Influence of annual climatic variations, climate changes, and sociological factors on the production of the Périgord black truffle (*Tuber melanosporum* Vittad.) from 1903–1904 to 1988–1989 in the Vaucluse (France). *Mycorrhiza*, 29(2), 113–125. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0877-1>

BARAGATTI, M., GROLLEMUND, P.-M., MONTPIED, P., DUPOUEY, J.-L., GRAVIER, J., MURAT, C., LE TACON, F. (2019b). Influence of annual climatic variations, climate changes, and sociological factors on the production of the Périgord black truffle (*Tuber melanosporum* Vittad.) from 1903–1904 to 1988–1989 in the Vaucluse (France). *Mycorrhiza*, 29(2), 113–125. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0877-1>



BARDET, M. C., FRESQUET, C. (1995). Influence de la pluviométrie et de la température du sol. *Infos-Ctifl*, 110, 38–41.

BONET, J. A., FISCHER, C. R., COLINAS, C. (2006). Cultivation of black truffle to promote reforestation and land-use stability. *Agronomy for Sustainable Development*, 26(1), 69–76. <https://doi.org/10.1051/agro:2005059>

BONET, J. A., OLIACH, D., FISCHER, C., OLIVERA, A., MARTINEZ DE ARAGON, J., COLINAS, C. (2009). Cultivation methods of the black truffle, the most profitable mediterranean non-wood forest product; a state of the art review. In *EFI Proceedings*, 57, 57–71.

BRONER, I. (2005). Irrigation scheduling for tomato production. Colorado State University Cooperative, 4. [www.ext.colostate.edu](http://www.ext.colostate.edu)

BÜNTGEN, U., EGLI, S., CAMARERO, J. J., FISCHER, E. M., STOBBE, U., KAUSERUD, H., TEGEL, W., SPROLL, L., STENSETH, N. C. (2012). Drought-induced decline in Mediterranean truffle harvest. *Nature Climate Change*, 2(12), 827–829. <https://doi.org/10.1038/nclimate1733>

BÜNTGEN, U., EGLI, S., SCHNEIDER, L., VON ARX, G., RIGLING, A., CAMARERO, J. J., SANGÜESA-BARREDA, G., FISCHER, C. R., OLIACH, D., BONET, J. A., COLINAS, C., TEGEL, W., RUIZ BARBARIN, J. I., MARTÍNEZ-PEÑA, F. (2015). Long-term irrigation effects on Spanish holm oak growth and its black truffle symbiont. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 202, 148–159. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.12.016>

BÜNTGEN, U., LATORRE, J., EGLI, S., MARTÍNEZ-PEÑA, F. (2017). Socio-economic, scientific, and political benefits of mycotourism. *Ecosphere*, 8(7), e01870. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1870>

BÜNTGEN, U., OLIACH, D., MARTÍNEZ-PEÑA, F., LATORRE, J., EGLI, S., KRUSIC, P. J. (2019). Black truffle winter production depends on Mediterranean summer precipitation. *Environmental Research Letters*, 14(7), 074004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1880>

CABONI, P., SCANO, P., SANCHEZ, S., GARCIA-BARREDA, S., CORRIAS, F., MARCO, P. (2020). Multi-platform metabolomic approach to discriminate ripening markers of black truffles (*Tuber melanosporum*). *Food Chemistry*, 319, 126573. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126573>

CAO, X., YANG, P., ENGEL, B. A., LI, P. (2018). The effects of rainfall and irrigation on cherry root water uptake under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 197, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.021>



CHEN, J., DE LA VARGA, H., TODESCO, F., BEACCO, P., MARTINO, E., LE TACON, F., MURAT, C. (2021). Frequency of the two mating types in the soil under productive and non-productive trees in five French orchards of the Périgord black truffle (*Tuber melanosporum* Vittad.). *Mycorrhiza*, 31(3), 361–369. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-01011-4>

CHEN, R., CHENG, W., CUI, J., LIAO, J., FAN, H., ZHENG, Z., MA, F. (2015). Lateral spacing in drip-irrigated wheat: The effects on soil moisture, yield, and water use efficiency. *Field Crops Research*, 179, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.021>

CHEVALIER, G., SOURZAT, P. (2012). Soils and Techniques for Cultivating *Tuber melanosporum* and *Tuber aestivum* in Europe (pp. 163–189). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33823-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33823-6_10)

CONDE SOLANO, J. L., SÁNCHEZ URDANETA, A. B., COLMENARES DE ORTEGA, C. B., RAMIRO VÁSQUEZ, E., ORTEGA ALCALÁ, J. (2021). Impacto del riego por goteo subsuperficial en la eficiencia de uso del agua en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 50–58.

CRAMER, W., GUIOT, J., FADER, M., GARRABOU, J., GATTUSO, J.-P., IGLESIAS, A., LANGE, M. A., LIONELLO, P., LLASAT, M. C., PAZ, S., PEÑUELAS, J., SNOUSSI, M., TORETI, A., TSIMPLIS, M. N., XOPLAKI, E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8(11), 972–980. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>

DOMENECH, R. (2007). Truficultura: fundamentos y técnicas (Santiago Reyna Domenech (ed.)). Mundi-Prensa.

EEA. (2012). Water Resources in Europe in the Context of Vulnerability. State of Water Assessment. EEA Report No 11/2012.

EEA. (2017). Climate Change, Impacts, and Vulnerability in Europe 2016. An Indicator-Based Report. EEA Report No 1/2017.

GARCIA-BARREDA, S., CAMARERO, J. J. (2020). Tree ring and water deficit indices as indicators of drought impact on black truffle production in Spain. *Forest Ecology and Management*, 475, 118438. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118438>

GARCIA-BARREDA, S., CAMARERO, J. J., VICENTE-SERRANO, S. M., SERRANO-NOTIVOLI, R. (2020). Variability and trends of black truffle production in Spain (1970-2017): Linkages to climate, host growth, and human factors. *Agricultural and Forest Meteorology*, 287, 107951. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107951>



GARCIA-BARREDA, S., FORCADELL, R., SÁNCHEZ, S., MARTÍN-SANTAFÉ, M., MARCO, P., CAMARERO, J. J., REYNA, S. (2018). Black Truffle Harvesting in Spanish Forests: Trends, Current Policies and Practices, and Implications on its Sustainability. *Environmental Management*, 61(4), 535–544. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0973-6>

GARCIA-BARREDA, S., MARCO, P., MARTÍN-SANTAFÉ, M., TEJEDOR-CALVO, E., SÁNCHEZ, S. (2020). Edaphic and temporal patterns of *Tuber melanosporum* fruitbody traits and effect of localised peat-based amendment. *Scientific Reports*, 10(1), 4422. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61274-x>

GARCÍA-BARREDA, S., REYNA, S., PÉREZ-BADÍA, R., RODRÍGUEZ-BARREAL, J. A., DOMÍNGUEZ-NÚÑEZ, J. A. (2012). Ecología de la trufa y las áreas truferas.

GARCIA-BARREDA, S., SÁNCHEZ, S., MARCO, P., SERRANO-NOTIVOLI, R. (2019). Agro-climatic zoning of Spanish forests naturally producing black truffle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 269–270, 231–238. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.02.020>

GÓMEZ-MOLINA, E., SÁNCHEZ, S., PARLADÉ, J., CIRUJEDA, A., PUIG-PEY, M., MARCO, P., GARCIA-BARREDA, S. (2020). Glyphosate treatments for weed control affect early stages of root colonization by *Tuber melanosporum* but not secondary colonization. *Mycorrhiza*, 30(6), 725–733. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-00990-8>

HAHN-SCHLAM, F. (2021). Yield in a Haden mango orchard controlled by micro-sprinkler irrigation systems. *Current Topics in Agronomic Science*, 1(1), 31–36.

HERRERO DE AZA, C., ARMENTEROS, S., MCDERMOTT, J., MAUCERI, S., OLAIZOLA, J., HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, M., MEDIAVILLA, O. (2022). Fungal and bacterial communities in *Tuber melanosporum* plantations from Northern Spain. *Forests*, 13(3), 385. <https://doi.org/10.3390/f13030385>

HIMANSHU, S. K., SINGH, A. K., KUMAR, S., KALURA, P. (2013). Response of broccoli to irrigation scheduling and methods under drip, sprinkler and surface irrigation. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2(4), 777–782.

HONRUBIA, M., ANDRINO, A., MORTE, A. (2014). Preparation and Maintenance of Both Man-Planted and Wild Plots (pp. 367–387). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-40096-4\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-642-40096-4_22)

ISSAKA, Z., LI, H., YUE, J., TANG, P., DARKO, R. O. (2018). Water-smart sprinkler irrigation, prerequisite to climate change adaptation: a review. *Journal of Water and Climate Change*, 9(2), 383–398. <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.017>



JURAYEV, A. Q., JURAYEV, U. A., ATAMURODOV, B. N., NAJMIDDINOV, N. N. (2021). Scientific Benefits and Efficiency of Drip Irrigation. *Journal of Ethics and Diversity in International Communication*, 1(6), 62–64.

KAARTHIKEYAN, G. M., SURESH, A. (2019). A study on understanding the adoption of water saving technology: A case study of drip irrigation. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 7(6), 1123–1130.

KADIRBEYOGLU, Z., ÖZERTAN, G. (2015). Power in the Governance of Common-Pool Resources: A comparative analysis of irrigation management decentralization in Turkey. *Environmental Policy and Governance*, 25(3), 157–171. <https://doi.org/10.1002/eet.1673>

KOECH, R., LANGAT, P. (2018). Improving Irrigation Water Use Efficiency: A Review of Advances, Challenges and Opportunities in the Australian Context. *Water*, 10(12), 1771. <https://doi.org/10.3390/w10121771>

KUZNETSOVA, A., BROCKHOFF, P. B., CHRISTENSEN, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, 82(13). <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>

LAMAS, A. M., MAIO, S. (2020). Aptitud climática para la producción de trufa negra (*Tuber melanosporum*) en Argentina. *Agrometeoros*, 28. <https://doi.org/10.31062/agrom.v28.e026624>

LE TACON, F., DELMAS, J., GLEYZE, R., BOUCHARD, D. (1982). Influence du régime hydrique du sol et de la fertilisation sur la frutification de la truffe noire du Périgord (*Tuber melanosporum* Vitt.) dans le sud-est de la France. *Acta Oecol*, 4, 291–306.

LE TACON, FRANÇOIS, MARÇAIS, B., COURVOISIER, M., MURAT, C., MONTPIED, P., BECKER, M. (2014). Climatic variations explain annual fluctuations in French Périgord black truffle wholesale markets but do not explain the decrease in black truffle production over the last 48years. *Mycorrhiza*, 24(S1), 115–125. <https://doi.org/10.1007/s00572-014-0568-5>

LEMPEREUR, M., MARTIN-STPAUL, N. K., DAMESIN, C., JOFFRE, R., OURCIVAL, J., ROCHETEAU, A., RAMBAL, S. (2015). Growth duration is a better predictor of stem increment than carbon supply in a Mediterranean oak forest: implications for assessing forest productivity under climate change. *New Phytologist*, 207(3), 579–590. <https://doi.org/10.1111/nph.13400>

LI, J., ZHANG, Z., LIU, Y., YAO, C., SONG, W., XU, X., ZHANG, M., ZHOU, X., GAO, Y., WANG, Z., SUN, Z., ZHANG, Y. (2019). Effects of micro-sprinkling with different



irrigation amount on grain yield and water use efficiency of winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 224, 105736. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105736>

LIAO, R., WU, W., HU, Y., XU, D., HUANG, Q., WANG, S. (2019). Micro-irrigation strategies to improve water-use efficiency of cherry trees in Northern China. *Agricultural Water Management*, 221, 388–396. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.017>

LIOTTA, M. A., CARRIÓN, R. A., CIANCAGLINI, N., OLGUIN PRINGLES, A. (2015). Riego por goteo. In de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá (Colombia) de Investigación Agropecuaria, (Colombia) (p. 03:13 minutos). PROSAP, INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/33614>

MAROZZI, G., SÁNCHEZ, S., BENUCCI, G. M. N., BONITO, G., FALINI, L. B., ALBERTINI, E., DONNINI, D. (2017). Mycorrhization of pecan (*Carya illinoensis*) with black truffles: *Tuber melanosporum* and *Tuber brumale*. *Mycorrhiza*, 27(3), 303–309. <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0743-y>

MATYAKUBOV, B., NUROV, D., TESHAEV, U., KOBULOV, K. (2023). Drip irrigation advantages for the cotton field in conditions of salty earth in Bukhara province region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1138(1), 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1138/1/012016>

MEADOWS, I., GASKILL, K., STEFANILE, L., SHARPE, S., DAVIS, J. (2020). Persistence of *Tuber melanosporum* in truffle orchards in North Carolina, USA. *Mycorrhiza*, 30(6), 705–711. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-00982-8>

MURAT, C., BONNEAU, L., DE LA VARGA, H., OLIVIER, J., SANDRINE, F., LE TACON, F., CLAUDE, M., LUCIEN, B., LA VARGA HERMINIA, D., JEAN-MARC, O., FIZZALA, S., TACON FRANÇOIS, L. (2016). Trapping truffle production in holes: a promising technique for improving production and unravelling truffle life cycle. *Italian Journal of Mycology*, 45, 47–53. <https://doi.org/10.6092/issn.2531-7342/6346>

MUSTAFA, A. M., ANGELONI, S., NZEKOU, F. K., ABOUELENEIN, D., SAGRATINI, G., CAPRIOLI, G., TORREGIANI, E. (2020). An Overview on Truffle Aroma and Main Volatile Compounds. *Molecules*, 25(24), 5948. <https://doi.org/10.3390/molecules25245948>

NARANJO, L. D., RODRÍGUEZ, E. P., BARREIRO, E. C. (2022). Evaluación de un sistema de riego por goteo soterrado en plantaciones de mango/Assessment of an underground irrigation drip system in mango plantations. *Universidad & Ciencia*, 11(2), 26–37.



OLIACH, D., COLINAS, C., CASTAÑO, C., FISCHER, C. R., BOLAÑO, F., BONET, J. A., OLIVA, J. (2020). The influence of forest surroundings on the soil fungal community of black truffle (*Tuber melanosporum*) plantations. *Forest Ecology and Management*, 470–471, 118212. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118212>

OLIACH, D., VIDALE, E., BRENKO, A., MAROIS, O., ANDRIGHETTO, N., STARA, K., MARTÍNEZ DE ARAGÓN, J., COLINAS, C., BONET, J. A. (2021). Truffle Market Evolution: An Application of the Delphi Method. *Forests*, 12(9), 1174. <https://doi.org/10.3390/f12091174>

OLIVERA, A., BONET, J. A., OLIACH, D., COLINAS, C. (2014). Low summer soil temperature and moisture favours root tip colonization of *Quercus ilex* by *Tuber melanosporum*. In Book of Abstract, 1st International Conference on Truffle Research 14.

OLIVERA, A., FISCHER, C. R., BONET, J. A., MARTÍNEZ DE ARAGÓN, J., OLIACH, D., COLINAS, C. (2011). Weed management and irrigation are key treatments in emerging black truffle (*Tuber melanosporum*) cultivation. *New Forests*, 42(2), 227–239. <https://doi.org/10.1007/s11056-011-9249-9>

OLIVERA, A., BONET, J. A., OLIACH, D., COLINAS, C. (2014). Time and dose of irrigation impact *Tuber melanosporum* ectomycorrhiza proliferation and growth of *Quercus ilex* seedling hosts in young black truffle orchards. *Mycorrhiza*, 24(S1), 73–78. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0545-4>

OLIVERA, A., BONET, J. A., PALACIO, L., LIU, B., COLINAS, C. (2014). Weed control modifies *Tuber melanosporum* mycelial expansion in young oak plantations. *Annals of Forest Science*, 71(4), 495–504. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0360-x>

ORTIZ-CALLE, R., CHILE-ASIMBAYA, M., CARTAGENA-AYALA, Y., MORILLO-VELARDE, R., VÁSQUEZ-MEJÍA, C., ROMERO-ANCHAPANTA, M., ERIQUE-AGILA, D., ALOMOTO-PANOLUISA, W., TORRES-FIERRO, P. (2021). Effect of the low volume drip irrigation in the yield of the beans crop variety “Rojo del Valle” in the Ecuadorian Andes. *Manglar*, 18(3), 253–260. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.033>

PHONG, W. N., GIBBERD, M. R., PAYNE, A. D., DYKES, G. A., COOREY, R. (2022). Methods used for extraction of plant volatiles have potential to preserve truffle aroma: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(2), 1677–1701. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12927>

PIÑUELA, Y., ALDAY, J. G., OLIACH, D., CASTAÑO, C., BOLAÑO, F., COLINAS, C., BONET, J. A. (2021). White mulch and irrigation increase black truffle soil mycelium when competing with summer truffle in young truffle orchards. *Mycorrhiza*, 31(3), 371–382. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-01018-x>



PRAHARAJ, C. S., SINGH, U., SINGH, S. S., KUMAR, N., JAT, R. L. (2016). Crop growth, productivity, water use and economics in mungbean and urdbean as influenced by precision tillage and sprinkler irrigation scheduling. *Journal of Food Legumes*, 29(2), 116–122.

R CORE TEAM. (2019). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing.

REYES-CABRERA, J., ZOTARELLI, L., DUKES, M. D., ROWLAND, D. L., SARGENT, S. A. (2016). Soil moisture distribution under drip irrigation and seepage for potato production. *Agricultural Water Management*, 169, 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.001>

REYNA, S., GARCIA-BARREDA, S. (2014). Black truffle cultivation: a global reality. *Forest Systems*, 23(2), 317. <https://doi.org/10.5424/fs/2014232-04771>

RICARD, J. M., BERGOUGNOUX, F., CHEVALIER, G., OLIVIER, J. M., PARGNEY, J. C., SOURZAT, P. (2003). La truffe: Guide pratique de trufficulture. Ctifl.

ROLDAN, M. V. H. P., MORA, X. A. G., ROMERO, O. S. D. (2019). El diámetro económico y su uso óptimo para un sistema de riego por aspersión. *Opuntia Brava*, 11(4), 332–338.

SALVATIERRA-BELLIDO, B., MONTERO-MARTÍNEZ, J., PÉREZ-URRESTARAZU, L. (2018). Development of an automatic test bench to assess sprinkler irrigation uniformity in different wind conditions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.036>

SANCHEZ DELGADO, M. A., RIVERA SERNA, L. G. (2018). Aplicación de dos modalidades de riego por goteo en el crecimiento y producción de camote (*Ipomoea batatas* L., variedad INIA 320). *Anales Científicos*, 79(1), 144. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1151>

SÁNCHEZ, S., SÁNCHEZ, S., SÁNCHEZ, J. (2018). Nota técnica: Primer éxito en el cultivo de trufa negra en el oeste de la península ibérica y posibilidades de expansión. *Informacion Tecnica Economica Agraria*. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.031>

SCHNEIDER-MAUNOURY, L., DEVEAU, A., MORENO, M., TODESCO, F., BELMONDO, S., MURAT, C., COURTY, P., JAŁKALSKI, M., SELOSSE, M. (2020). Two ectomycorrhizal truffles, *Tuber melanosporum* and *T.aestivum*, endophytically colonise roots of non-ectomycorrhizal plants in natural environments. *New Phytologist*, 225(6), 2542–2556. <https://doi.org/10.1111/nph.16321>



SOUZA, W. DE J., SINOBAS, L. R., SÁNCHEZ, R., BOTREL, T. A., COELHO, R. D. (2014). Prototype emitter for use in subsurface drip irrigation: Manufacturing, hydraulic evaluation and experimental analyses. *Biosystems Engineering*, 128, 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.09.011>

TEJEDOR-CALVO, E., MORALES, D., MARCO, P., SÁNCHEZ, S., GARCIA-BARREDA, S., SMIDERLE, F. R., IACOMINI, M., VILLALVA, M., SANTOYO, S., SOLER-RIVAS, C. (2020). Screening of bioactive compounds in truffles and evaluation of pressurized liquid extractions (PLE) to obtain fractions with biological activities. *Food Research International*, 132, 109054. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109054>

THOMAS, PAUL, BÜNTGEN, U. (2019). A risk assessment of Europe's black truffle sector under predicted climate change. *Science of The Total Environment*, 655, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.252>

THOMAS, PW. (2014). An analysis of the climatic parameters needed for *Tuber melanosporum* cultivation incorporating data from six continents. *Mycosphere*, 5(1), 137–142. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/5/1/5>

TRAMBLAY, Y., LLASAT, M. C., RANDIN, C., COPPOLA, E. (2020). Climate change impacts on water resources in the Mediterranean. *Regional Environmental Change*, 20(3), 83. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01665-y>

VARMA, S., NAMARA, R. E. (2006). Promoting micro irrigation technologies that reduce poverty. *Water Policy Briefing*, 23.

VICENTE-SERRANO, S.M., RODRÍGUEZ-CAMINO, E., DOMÍNGUEZ-CASTRO, F., EL KENAWY, A., AZORÍN-MOLINA, C. (2017). An updated review on recent trends in observational surface atmospheric variables and their extremes over Spain. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 43(1), 209–232. <https://doi.org/10.18172/cig.3134>

VICENTE-SERRANO, SERGIO M, LOPEZ-MORENO, J.-I., BEGUERÍA, S., LORENZO-LACRUZ, J., SANCHEZ-LORENZO, A., GARCÍA-RUIZ, J. M., AZORIN-MOLINA, C., MORÁN-TEJEDA, E., REVUELTO, J., TRIGO, R., COELHO, F., ESPEJO, F. (2014). Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. *Environmental Research Letters*, 9(4), 044001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/4/044001>

WANG, R., GUERIN-LAGUETTE, A., BUTLER, R., HUANG, L.-L., YU, F.-Q. (2019). The European delicacy *Tuber melanosporum* forms mycorrhizae with some indigenous Chinese *Quercus* species and promotes growth of the oak seedlings. *Mycorrhiza*, 29(6), 649–661. <https://doi.org/10.1007/s00572-019-00925-y>



WANG, X., HUO, Z., GUAN, H., GUO, P., QU, Z. (2018). Drip irrigation enhances shallow groundwater contribution to crop water consumption in an arid area. *Hydrological Processes*, 32(6), 747–758. <https://doi.org/10.1002/hyp.11451>

WILSON, M. L., ROSEN, C. J., MONCRIEF, J. F. (2010). Effects of Polymer-coated Urea on Nitrate Leaching and Nitrogen Uptake by Potato. *Journal of Environmental Quality*, 39(2), 492–499. <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0265>

YANG, Q., ZHANG, F., LI, F., LIU, X. (2013). Hydraulic conductivity and water-use efficiency of young pear tree under alternate drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 119, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.12.015>

ZHANG, X., LI, X., YE, L., HUANG, Y., KANG, Z., ZHANG, B., ZHANG, X. (2020). Colonization by *Tuber melanosporum* and *Tuber indicum* affects the growth of *Pinus armandii* and phoD alkaline phosphatase encoding bacterial community in the rhizosphere. *Microbiological Research*, 239, 126520. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126520>

Baragatti et al.