



2022
Lleida

27·1
junio · juny
julio · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022
ISBN 978-84-941695-6-4
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



Proyecto “Turmicultura”: Cultivo de trufas del desierto contra el cambio climático y para el desarrollo rural

MORTE, A.^{1,2,4}, DE LARA TOVAR, F.², MARCO MONTORI, P.³, TEJEDOR CALVO, E.³, ARENAS, F.¹, A., GUARNIZO, A.L.¹, MARQUÉS GÁLVEZ, J.E.^{1,4}, GUTIÉRREZ, A.¹, y NAVARRO RÓDENAS, A.^{1,4}

¹Dpto. Biología Vegetal (Botánica), Facultad de Biología, Universidad de Murcia, 30100 Murcia.

²Asociación Española de Turmicultura, C/ Jara Carrillo 1, 30004 Murcia.

³Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Dpto. Ciencia Vegetal, Zaragoza.

⁴Thader Biotechnology, Edificio CAID, Campus de Espinardo, 30100 Murcia.

Resumen

La Asociación Española de Turmicultura (<https://trufadeldesierto.com/>) es una asociación de cultivadores de trufas del desierto que se creó en 2017 para realizar el proyecto de Grupo Operativo “Turmicultura”. El objetivo de este proyecto es establecer y consolidar el cultivo de la trufa del desierto o “turma” (*Terfezia claveryi* Chatin) en la Región de Murcia y poner en valor su consumo para promover el desarrollo rural de las zonas menos productivas de la Región. El cultivo de la turma es ecológico, sin consumo de fertilizantes ni productos fitosanitarios, que utiliza especies vegetales y fúngicas autóctonas y es aplicable en zonas de secano, poco productivas. Los objetivos del proyecto son 1) Establecimiento de plantaciones en zonas climáticas y edafológicas diferentes, 2) Formación en técnicas de manejo de plantaciones, comercialización, empresa y micoturismo, y 3) Valorización del consumo de turmas mediante el estudio de su composición y su utilización en la gastronomía por prestigiosos restauradores. Se presentan las actividades realizadas para conseguir estos objetivos, por los diferentes miembros de esta asociación. Este proyecto ha sido financiado por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural y de la Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca de la Región de Murcia (FEADER, CARM).

Palabras clave

Terfezia claveryi, trufa del desierto, turma, ascomiceto hipogeo, micorriza, *Helianthemum*, producto no maderero, aprovechamiento micológico.

1. Introducción

Las trufas del desierto son un grupo de hongos comestibles hipogeos, pertenecientes a distintos géneros dentro del Orden Pezizales, División Ascomycota, siendo los más importantes *Terfezia*, *Picoa* y *Tirmania*. Estos hongos son frecuentes en ecosistemas áridos y semiáridos, con suelos ácidos y alcalinos, de la cuenca Mediterránea y cuya fructificación es en primavera, de febrero a mayo (Honrubia et al. 2007). En España son conocidas con los términos “turmas”, en suelos alcalinos del este peninsular, o “criadillas”, en suelos ácidos del oeste peninsular, en concreto para hacer referencia a las especies más recolectadas de *Terfezia claveryi* y *Terfezia arenaria*, respectivamente. Son hongos que, en general, forman simbiosis micorrícica con diferentes especies de cistáceas en ecosistemas de praderas xerofíticas con especies anuales y en matorrales abiertos con especies perennes.

Los carpóforos de la especie *T. claveryi* representan más del 90% de las recolecciones de turmas en ambientes semiáridos del termomediterráneo peninsular en suelos básicos (Oliach et al. 2020). Al interés científico y comercial de esta turma, hay que añadir el hecho de que se trata de la única especie de hongo que fue sugerida como objeto de medidas de gestión para su aprovechamiento, según el Libro Rojo de la Flora Silvestre Protegida de la Región de Murcia (Sánchez-Gómez et al. 2002) y recogida como tal en el Decreto nº 50/2003 de BORM (Boletín Oficial de la Región de Murcia) de 30 de mayo de 2003, por el que se establece el Catálogo Regional de

Flora Silvestre Protegida de la Región de Murcia y se dictan las normas para el aprovechamiento de diversas especies forestales. Asimismo, es considerada entre los recursos naturales de la Región de Murcia (Honrubia *et al.* 2003).

T. claveryi es la única especie de turma que se cultiva en España y cuyas primeras plantaciones en el mundo se realizaron en la región de Murcia, en 1999, por el Grupo de Investigación de Micología-Micorrizas de la Universidad de Murcia (Honrubia *et al.* 2001, 2007, 2014; Morte *et al.* 2008, 2009, 2012) y supuso el inicio de la "turmicultura", término acuñado por este Grupo de Investigación, y que se define como el conjunto de técnicas y conocimientos para cultivar las turmas y la parte del sector primario que se dedica a ello; en ella se engloban los diferentes trabajos de producción de planta micorrizada, tratamiento del suelo, los cultivos de turmas en campo y su recolección (Oliach *et al.* 2020).

La mayoría de las plantaciones de turmas establecidas hasta ahora, han empezado a ser productivas en la formación de ascocarpos entre el segundo y tercer año desde su plantación (Morte *et al.* 2021). El promedio de la producción de turmas en la plantación más antigua, establecida en 1999 y que dio sus primeras turmas en 2001, es de aproximadamente 300 kg/ha-año, pero con grandes fluctuaciones de un año a otro (Andrino *et al.* 2019). Aunque la mayoría de los estudios relacionados con la producción de trufas del desierto señalan la importancia exclusiva de la precipitación (Bradai *et al.* 2015; Morte *et al.* 2012), recientemente hemos observado que la producción de *T. claveryi* en un clima mediterráneo semiárido tiene dos periodos clave durante su ciclo anual: otoño (septiembre-octubre) y primavera (finales de marzo). El índice de aridez (AI, calculado como la precipitación dividida por la ETO) y el potencial hídrico del suelo parecen los parámetros más controlables en el campo por las aplicaciones de riego para los periodos señalados (Andrino *et al.* 2019).

En cuanto al tipo de suelos aptos para la turmicultura, estos hongos y sus plantas simbiotes se adaptan a un amplio rango de pH, características edáficas y textura (Bonifacio y Morte 2014). Para la especie *T. claveryi* se puede afirmar que se adapta a casi la totalidad de la Región de Murcia, tanto a suelos aireados como arcillosos, con margas y yesos, pobres en nutrientes, alto pH (8 - 8,5) y dependiendo de la especie de *Helianthemum* asociada, no siendo, a priori, un factor determinante en su fructificación como lo es el clima (Honrubia *et al.* 2014).

Por último, numerosos estudios demuestran que *T. claveryi* tiene un gran valor nutricional (Murcia *et al.* 2002, 2003) y medicinal (Janakat *et al.* 2004, Dahham *et al.* 2018). Sin embargo, se sabe muy poco de su perfil aromático y no hay estudios sobre catas sensoriales profesionales de estas trufas que las pongan en valor, en el terreno gastronómico, y puedan demostrar, al mercado, el valor culinario que realmente poseen.

2. Objetivos

El objetivo de este proyecto de Grupo Operativo (GO) fue establecer y consolidar el cultivo de la trufa del desierto o "turma" (*T. claveryi*) en la Región de Murcia y poner en valor su consumo para promover el desarrollo rural de las zonas menos productivas de la Región. Para ello, se llevaron a cabo los siguientes objetivos específicos: 1) Establecimiento de plantaciones en zonas climáticas y edafológicas diferentes, 2) Formación en técnicas de manejo de plantaciones, comercialización, empresa y micoturismo, y 3) Valorización del consumo de turmas mediante el estudio de su composición y su utilización en la gastronomía por prestigiosos restauradores.

3. Metodología

La Asociación Española de Turmicultura (AET; <https://trufadeldesierto.com/>) es una asociación de cultivadores de trufas del desierto que se creó en 2017 para llevar a cabo el proyecto.

3.1 Producción de plantas micorrizadas con *T. claveryi*

Con el fin de realizar las plantaciones, se produjeron 21.000 plantas micorrizadas de *Helianthemum* spp (*H. almeriense* y *H. violaceum*) con *T. claveryi* por parte de la empresa *spin off*

Thader Biotechnology SL, siguiendo la metodología de Andrino et al. (2012). Las plantas se sometieron a un control de calidad morfológico, anatómico y molecular para garantizar la micorrización de las mismas con el hongo *T. claveryi* y tras un informe de calidad positivo, fueron suministradas para su plantación.

3.2 Selección de parcelas y establecimiento de las plantaciones

Se realizaron plantaciones piloto de plantas micorrizadas, con un total de 4 hectáreas, con marcos de plantación de 1,5 x 1 m, 2 x 1 m, 2 x 1,25 m, 2 x 2 m en zonas del litoral (Águilas), pre-litoral (Corvera), zona media (Abarán) y zona del noroeste (Moratalla) de la Región de Murcia, con tipos de suelos y climatología diferentes (Tabla 1). Previo a las plantaciones, se realizaron desfondados del terreno y labrado de refinado de la superficie, vallado del perímetro con malla tipo gallinero e instalación de pastor eléctrico para protección contra animales. Se instalaron tuberías de 16 mm para de riego por goteo.

Tabla 1. Relación de plantaciones de turmas implicadas en el proyecto y sus características.

Localidad	Coordenadas	Región biogeográfica	Región bioclimática	Tipo de suelo
Moratalla	38°12'34.88" N 1° 51'38.74" W	Castellano-Maestrazgo-Manchega	Mesomediterráneo frío/seco (350-500mm)	Litosol/cambisol petrocálcico
Abarán	38° 15'55.35" N 1° 20'10.66" W	Castellano-Maestrazgo-Manchega	Mesomediterráneo cálido/seco	Litosol
Corvera	37° 50' 57.09" N 1° 11' 36.24" W	Murciano-Almeriense	Termomediterráneo superior/ semiárido (200-350)	Regosol cálcico
Águilas	37° 30'50.80" N 1° 36'49.78" W	Murciano-Almeriense	Termomediterráneo inferior/ semiárido	Litosol

3.3 Monitorización del manejo de las plantaciones

Se instalaron sensores para medir la humedad del suelo y se aplicó riego en las plantaciones en función de las variables de índice de aridez (IA) y potencial hídrico del suelo (ψ_s), para alcanzar los umbrales mínimos de IA y ψ_s en otoño y en primavera, como se detalla en Andrino et al. (2019). Según estos autores, se regó teniendo en cuenta los valores óptimos del IA de 0,3 y 1,7 entre el 20 de septiembre y el 10 de noviembre y, posteriormente, los valores de 0,5 y 1,0 entre el 20 marzo y el 10 de mayo. El riego según el ψ_s se aplicó para mantener los valores óptimos de entre 2,3 y 3,0 pF, desde el 1 noviembre al 30 de mayo. Durante las temporadas 2019/20, 2020/21, se registraron datos de producción de turmas durante la época de producción, intercambio gaseoso mediante IRGA (LICOR 6400) cada 15 días (Marqués-Gálvez et al. 2020), biomasa de micelio en suelo (Arenas 2021) y micorrización en las raíces (Gutiérrez et al. 2003) cada 3 meses.

3.4 Composición química de *T. claveryi*

Los carpóforos recolectados se mantuvieron en condiciones de refrigeración hasta su llegada al laboratorio, donde fueron almacenadas a 4 °C y 95 % de humedad relativa (HR) durante 24 h. Se seleccionaron, descartando aquellos cuerpos fructíferos que presentaron coloraciones extrañas, podredumbres o falta de firmeza, se limpiaron debajo del grifo con un cepillo suave, y se secaron al aire.

a. Análisis de perfil aromático por Cromatografía de Gases Masas por Espacio de Cabeza (HS-GC-MS)

Para este análisis se utilizaron 3 turmas de 25 gramos previamente seleccionadas. En fresco, se laminaron y picaron finamente con un cuchillo, se homogenizaron, y se tomaron 3 muestras de 4 gramos en un vial, para su análisis. Se utilizó un muestreador Turbomatrix HS16 HeadSpace

(PerkinElmer, Massachusetts, USA) acoplado a un GC-MS siguiendo la metodología que viene reflejado en Tejedor-Calvo et al. (2021).

b. Análisis carbohidratos, proteínas, compuestos fenólicos y esteroides

Las muestras de turma (100 g) fueron liofilizadas (LyoBeta 15 (Telstar, Madrid, España), molidas, mezcladas y tamizadas hasta obtener un tamaño de partícula inferior a 0,5 mm, y se conservaron en congelación (a -80 °C) hasta su posterior utilización. Para el análisis, se tomó una muestra de 0,5 g por triplicado, y se sometieron a la tecnología de Extracción mediante Líquidos Presurizados (Dionex Corporation, ASE 350, EE.UU.). Las condiciones de extracción y análisis de composición química vienen reflejadas en Tejedor-Calvo et al. (2022).

3.5 Formación en turmicultura y divulgación

Durante los años 2018-2020, se han llevado a cabo numerosas acciones de formación y divulgación, por parte del personal del grupo de investigación Micología-Micorrizas-Biotecnología Vegetal de la Universidad de Murcia y de miembros de la AET, bajo el formato de jornadas técnicas, jornadas gastronómicas y tumaforum, en varias localidades de la Región de Murcia.

4. Resultados

4.1 Establecimiento y monitorización de plantaciones de turmas

Todas las plantas micorrizadas producidas pasaron un control de calidad previo a su plantación en campo. Para ello, tuvieron un porcentaje de micorrización mayor o igual al 40%, con las características típicas de ectendomicorriza, con colonización intercelular, con red de Hartig bien desarrollada, e intracelular.

Una vez realizadas las plantaciones, el porcentaje de marras fue siempre inferior al 20%, favoreciendo la supervivencia el hecho de plantar en otoño frente a plantar en primavera, ya que ambas especies *H. almeriense* y *H. violaceum* son plantas caducifolias de verano y tienen su máxima actividad fotosintética en invierno.

Todas las plantaciones realizadas produjeron sus primeras turmas en primavera (Figura 1), entre los 13, 16 y 18 meses desde su establecimiento, independientemente del marco de plantación realizado. Aunque son producciones testimoniales, las plantaciones hechas en primavera fructificaron antes que las realizadas en otoño por el ciclo propio del hongo que fructifica en primavera.



Figura 1. Vista de la plantación de dos años de *Helianthemum almeriense* micorrizadas con *Terfezia claveryi* en Corvera (Murcia) (izquierda). Primera fructificación de *T. claveryi* a los 16 meses desde la plantación (derecha).

Se establecieron calendarios de riegos óptimos, para cada una de las plantaciones, teniendo en cuenta que los valores del IA (Tabla 2) y de ψ_s según los umbrales óptimos descritos por Andriano

et al. (2019). Estos riegos están permitiendo compensar el déficit de precipitaciones en la Región de Murcia, que son necesarias para la formación de turmas.

Tabla 2. Riego (litros/m²) propuesto en plantaciones de trufa de desierto *Terfezia clavertyi* para las distintas comarcas agrícolas de la Región de Murcia, en función de los valores de índice de aridez (IA) siguiendo el modelo propuesto por Andrino et al. (2019) para la campaña 2020-2021.

Comarca	Sept 2020	Oct	Nov	Dic	Ene 2021	Feb	Mar	Abr	May	Total (l/m ²)
Bajo Guadalentín	30	30	35	40	15	45	25	75	25	320
Campo de Cartagena	20	35	36	40	15	40	20	60	20	286
Vega Alta	15	30	35	0	25	35	20	80	20	260
Noroeste	15	30	15	20	0	35	20	65	0	200
Altiplano	15	25	30	0	20	40	20	75	0	225
Alto Guadalentín	20	40	35	40	20	50	25	80	25	335
Rio Mula	15	30	35	0	20	50	20	65	20	255
Ricote-Vega media-Oriental	20	30	35	10	20	50	20	70	15	270
Huerta de Murcia	35	70	20	45	0	40	20	55	30	315
Mar Menor	20	45	30	50	15	45	20	70	35	330

Las medidas de fotosíntesis, durante la temporada 2019-2020, no mostraron diferencias significativas en las plantas regadas teniendo en cuenta el tipo de riego, el IA o el ψ_s , ni respecto a las plantas control no regadas (Figura 2). Los resultados de estas medidas muestran que el sumatorio del CO₂ asimilado durante la estación vegetativa de la planta (desde septiembre hasta junio) fue de 1,59kg/m², 1,66kg/m² y 1,87kg/m², para los tratamientos de riego en función del ψ_s , el IA y el tratamiento control, respectivamente.

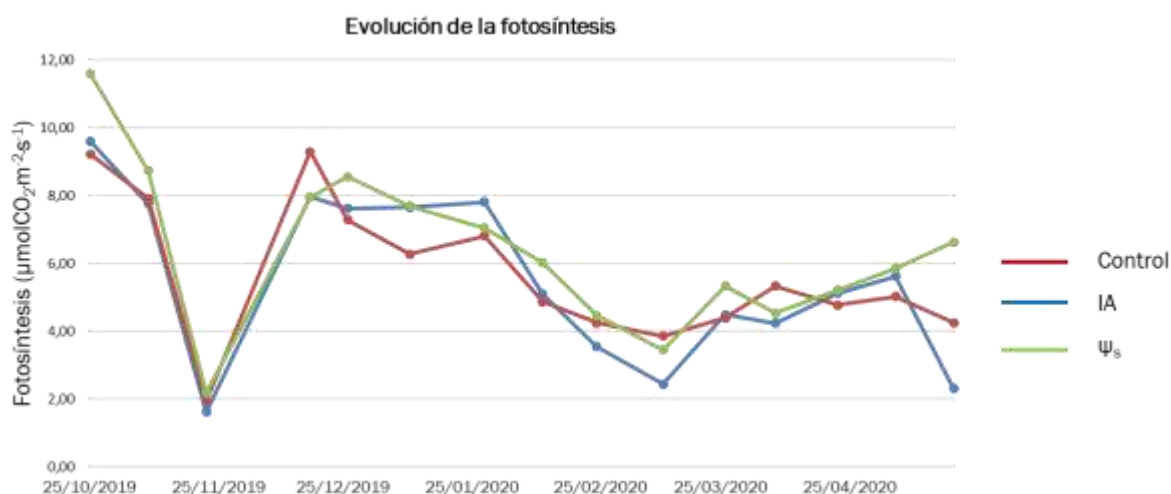


Figura 2. Evolución de la fotosíntesis de las plantas durante la temporada 2019-2020 con diferentes tipos de riego según el índice de aridez (IA), potencial hídrico del suelo (ψ_s) y sin riego (control).

El porcentaje de micorrización de las raíces fue mayor durante el invierno, en ambas temporadas 2019-20 y 2020-21, pero sin diferencias en cuanto al tratamiento de riego (Figura 3). La mayor concentración de micelio en suelo se obtuvo en otoño de 2020 con el riego basado en el IA y sin diferencia entre las zonas no regadas y las regadas siguiendo el ψ_s (Figura 3).

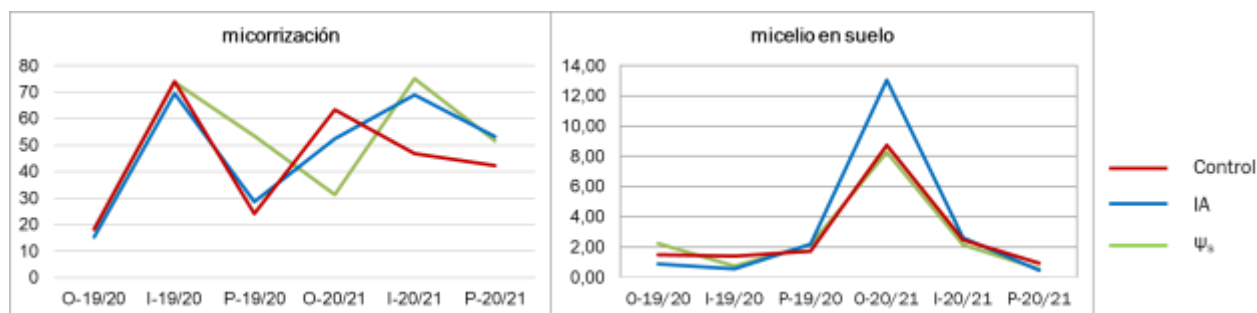


Figura 3. Evolución del % micorrización (izquierda) y presencia de micelio de *T. claveryi* en suelo (derecha) durante las temporadas 2019-20 y 2020-21, según el riego aplicado teniendo en cuenta el índice de aridez (IA), el potencial hídrico del suelo (ψ_s) y en zonas sin regar (control). O: otoño, I: invierno, P: primavera

En cuanto a la producción de turmas del tratamiento control de la campaña 2019-20 fue más alta con respecto a la producción de los tratamientos con riego, pero fue la más baja en la campaña siguiente 2020-21 (Tabla 3). Respecto al tipo de riego, en ambas temporadas, el basado en el IA fue el que mejores resultados de producción presentó (16,0 y 24,5 kg/ha) comparados con el riego basado en el potencial hídrico del suelo (12,9 y 16,7 kg/ha).

Tabla 3. Producción de turmas de *T. claveryi* en los tratamientos de riego basados en el índice de aridez (IA) y el potencial hídrico del suelo (ψ_s).

Tratamiento	Turmas campaña 19-20 (kg/ha)	Turmas campaña 20-21 (kg/ha)
Control	38,7±7	9,72±4
Basado en el IA	16,0±10	24,52±4
Basado en ψ_s	12,9±5	16,77±10
Media total	22,5±7	17,01±6

4. 2. Composición química de *T. claveryi*

a. Análisis de perfil aromático mediante HS-GC-MS.

Pese a que *T. claveryi* es reconocida por su excelente sabor y no tanto por su aroma, se han caracterizado un total de 21 compuestos volátiles, que componen el perfil aromático de este hongo (Tabla 4). Los carpóforos de *T. claveryi* están compuestos por 2-metil-1-butanal, propanona, 2-butanona, metanotiol y, 2,3-butanodiona principalmente. Destaca el compuesto propanona, que tiene un característico olor afrutado, con el valor más alto (68 mg/100 g de trufa), seguido de 2-metil-1-butanal y metanotiol, con aromas a alcohol/fusel y aliáceo, respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Lista de compuestos aromáticos identificados por HS-GC-MS en *T. claveryi*. Los valores se expresan en mg/100 g de turma. t_r = Tiempo de retención relativo con respecto al estándar fluorobenceno. IR_{exp} = Índice de retención experimental. IR_{lit} = Índice de retención de la base de datos de la literatura NIST (NIST, 2020). *=Compuesto estándar en las condiciones del método. - no detectado o por debajo de 0,5 mg/100 g de trufa.

Código	t_r	Nombre	Nº CAS	IR_{exp}	IR_{lit}	<i>T. claveryi</i>
Ácidos						
67	2.69	Ácido acético	64-19-7	1449*	1452	0.60
Alcoholes						
25	1.12	1-Propanol	71-23-8	1031	1032	0.11
66	2.67	1-Octen-3-ol	3391-86-4	1449*	1450	0.42
Aldehidos						
5	0.51	Acetaldehído	75-07-0	742	714	0.08
7	0.60	Propanal	123-38-6	797	799	1.21
12	0.63	Butanal	123-72-8	815	837	1.63
15	0.80	2-Metil-1-butanal	96-17-3	911	910	11.98
16	0.82	3-Metil-1-butanal	590-86-3	920	913	6.35

22	0.98	Pentanal	110-62-3	983*	982	1.59
31	1.30	Hexanal	66-25-1	1084*	1072	2.39
63	2.62	(E)-2-Octenal	2548-87-0	1434	1434	0.20
Hidrocarburos Aromáticos						
58	2.29	Anisol	100-66-3	1347*	1340	0.06
81	3.38	Benzaldehído	122-78-1	1650	1650	0.06
Cetonas						
11	0.63	Propanona	67-64-1	812	820	68.14
14	0.78	2-Butanona	78-93-3	902	908	3.89
21	0.96	2,3-Butanediona	431-03-8	974*	975	4.85
26	1.14	2-Pentanona	107-87-9	1034	1025	0.05
29	1.22	2,3-Pentanediona	600-14-6	1058	1055	0.97
Compuestos azufrados						
3	0.45	Carbon disulfuro	75-15-0	710	696	1.23
4	0.45	Metanotiol	74-93-1	720	710	11.07
6	0.56	Dimetil sulfuro	75-18-3	776*	757	0.08

Estos compuestos se podrían denominar sus marcadores aromáticos. Esta especie, caracterizada principalmente por su potencial saporífero, comparte compuestos aromáticos con otros hongos hipogeos pertenecientes al género *Tuber*, como dimetil sulfuro, el compuesto principal de *Tuber aestivum* y *Tuber melanosporum*, cuyo valor gastronómico viene determinado principalmente por su aroma (Tejedor-Calvo et al. 2022).

b. Análisis de carbohidratos, proteínas, compuestos fenólicos y esteroides.

Los hongos en general, además de apreciados por sus características organolépticas, son una fuente muy importante de nutrientes y son altamente valorados por su composición en compuestos bioactivos. Tejedor-Calvo et al. (2022) aplica por primera vez la extracción por líquidos presurizados a *T. claveryi* para establecer su composición química y optimizar la determinación de compuestos bioactivos, como refleja la Tabla 5.

Acorde con otros hongos, los ascocarpos de *T. claveryi* mostraron altos niveles de carbohidratos, estando las proteínas en un segundo orden.

Tabla 5. Carbohidratos totales, proteínas totales, compuestos fenólicos totales y esteroides en *T. claveryi*. n.d. no detectado.

Compuesto	<i>Terfezia claveryi</i>
Carbohidratos (g/100g)	38.44 ± 1.35
β-Glucanos (g/100g)	27.96 ± 1.55
Quitina (g/100g)	8.53 ± 0.26
Proteínas (g/100g)	8.92 ± 1.05
Compuestos Fenólicos Totales (mg/g)	1.02 ± 0.07
Ergosterol (mg/g)	2.30 ± 0.23
Brasicasterol (mg/g)	1.40 ± 0.15
Ergosta7.22-dienol (mg/g)	1.16 ± 0.02
Estigmasterol (mg/g)	n.d.

Tienen una alta concentración de β-glucanos (28 g/100g), uno de los compuestos bioactivos más valorados en hongos comestibles. Presentaron mayores concentraciones de esteroides que de compuestos fenólicos. El ergosterol y el brasicasterol fueron los dos esteroides principales, seguidos del ergosta7,22-dienol (Tabla 5).

4.3 Formación, divulgación y puesta en valor de la turmicultura

La mayor parte de las acciones de formación y divulgación sobre Turmicultura han quedado registradas en la web de la AET <https://trufadeldesierto.com/noticias/>. En el año 2018, con la jornada de difusión realizada en Corvera, se atendió 150 personas que se acercaron a conocer

dicho cultivo. Pero fue en el año 2019, con el evento Turmaforum y a principios de 2020, con la asistencia y presentación agro-gastronómica en Madrid Fusión, cuando realmente se disparó el interés general por este cultivo a nivel local y nacional. Desde 2019 hasta la actualidad, se han atendido de manera personalizada, tanto presencial como online, a más de 200 personas que han tenido la oportunidad de conocer la turmicultura visitando las plantaciones del GO, en especial las realizadas en Corvera en la Finca Torrecillas. Además, el chef David López ha elaborado 13 recetas con turma *T. claveryi* para el GO, publicadas en el libro “Turmas, para comérselas” (Morte et al. 2020), que ha dado una gran difusión al producto en este sector. Esta continua difusión de información y formación ha concluido en un aumento de la superficie de plantación a nivel nacional, que ha pasado de 5,5 ha en 2017 a 14,6 ha en 2021.

El trabajo de difusión y puesta en valor que ha ido haciendo el GO desde 2018 hasta la actualidad ha conseguido que la sociedad en diferentes sectores, se interese por el consumo de las turmas. En 2019 y 2020 se pusieron a la venta las primeras turmas certificadas de cultivo procedentes de las plantaciones realizadas previas al GO y su precio arrancó en 70€/kilo, el cual se ha elevado a 100 €/kilo a final de la pasada campaña 2021. Este dato contrasta con los precios que se manejaban hasta la fecha para turmas silvestres, que eran las únicas que se comercializaban hasta entonces y que no rebasaban los 30 €/kilo.

5. Discusión

La supervivencia de las plantas micorrizadas y la obtención de las primeras fructificaciones de turmas en todas las plantaciones establecidas por el GO, indican que el cultivo de la turma *T. claveryi* se adapta a un amplio rango de variables edafo-climáticas, de forma que se puede afirmar que casi la totalidad de la Región de Murcia es apta para su cultivo. Estos resultados apoyan a los obtenidos previamente por Honrubia et al. (2014).

Respecto de la fotosíntesis acumulada no fue posible encontrar diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de riego. Esto se debió a que la campaña turmera 2019-20 fue muy lluviosa. En la zona control se registró un acumulado de lluvias de 465 mm. En el tratamiento basado en el AI se aplicaron únicamente 37 mm adicionales (+7,9%) y en el caso del tratamiento basado en el potencial hídrico del suelo se aplicaron 75 mm adicionales (+16%). Podría decirse que todas las parcelas recibieron un aporte hídrico sin diferencias significativas. Esto refuerza la idea de que este tipo de ensayos deben realizarse en varias campañas a fin de obtener datos robustos y fiables.

En cuanto a la producción de turmas, como ya se ha comentado, la temporada turmera 2019-20, teniendo en cuenta el total de lluvias acaecidas desde 10 de agosto al 31 de mayo, se caracterizó por ser una temporada muy lluviosa con una media más alta de lo habitual (465 mm) y con las lluvias distribuidas en los periodos clave para la producción de turmas (Andrino et al. 2019), al contrario que la temporada 2020-21 que fue más seca (331,8 mm). Esto explica que la producción de turmas del tratamiento control de la campaña 2019-20 sea más alta con respecto a la producción de los tratamientos con riego. Podemos afirmar que el riego basado en el AI aumenta la cantidad de micelio en otoño y la subsiguiente producción de turmas en primavera, durante campañas turmeras secas. Estudios previos observan fluctuaciones anuales en la producción de turmas cultivadas (Morte et al. 2012, 2021), las cuales podrían suavizarse si se aplicaran aportes hídricos mínimos teniendo en cuenta el AI, en los periodos críticos de otoño y primavera.

El análisis químico de los ascocarpos de *T. claveryi* demuestra que son una buena fuente de carbohidratos y proteína, con valores similares a los obtenidos por otros autores para esta especie (Murcia et al. 2003, Behzadi et al. 2021). El ergosterol también fue elevado, indicando un crecimiento fúngico adecuado (Parsi et al. 2006). La detección de brasicasterol, típico de las plantas, podría deberse al intercambio de nutrientes entre las turmas y las plantas huésped con las que se asocian (Weete y col. 1985). Además, la sorprendente riqueza en compuestos volátiles de *T. claveryi* la hacen competitiva frente a otros hongos hipogeos comestibles (Tejedor-Calvo et al. 2022).

6. Conclusiones

La creación de la Asociación Española de Turmicultura ha supuesto un avance para el desarrollo de la tumicultura en España, haciendo que diferentes sectores de la sociedad se interesen por el cultivo y consumo de turmas, aumentando las hectáreas dedicadas al mismo y su puesta en valor en las zonas rurales donde se produce.

El cultivo de la turma *T. claveryi* se adapta a un amplio rango de variables edafo-climáticas, de forma que se puede afirmar que casi la totalidad de la Región de Murcia es apta para su cultivo.

Para evitar fluctuaciones anuales de producción de turmas, se recomienda el riego puntual basado en el AI, que aumenta la cantidad de micelio en otoño y la subsiguiente producción de turmas en primavera, durante campañas turmeras secas.

Las propiedades nutricionales y organolépticas de los carpóforos de *T. claveryi* ponen en valor esta turma en el sector gastronómico.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural, Programa de Desarrollo Rural de la Región de Murcia 2014–2020, Grupo Operativo Asociación Española de Turmicultura (G73977902).

8. Bibliografía

ANDRINO, A.; MORTE, A.; HONRUBIA, M.; 2012. Method for producing plants of the Cistaceae family that establish mycorrhiza with different desert truffle species. Patente ES2386990B1

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. *Agron. Sustain. Dev.* 39(6): 51

ARENAS, F.; 2021. Análisis del crecimiento y del desarrollo miceliar de la trufa del desierto *Terfezia claveryi* Chatin y de los microorganismos asociados a plantas micorrícias de trufa del desierto. Pp. 97-104. Tesis Doctoral, Universidad de Murcia

BEHZADI, A.A.; ZAREIE, M.; ABBASI, A.; MASOOM, I.B.; ASHRAFI-DEHKORDI, E.; MORTE, A.; 2021. Physicochemical Properties, Nutritional Composition, and Phylogenetic Analysis of Black Truffles Grown in Fars Province, Iran. *Int. J. Nutr. Sci.* 6(1):45-51

BONIFACIO, E.; MORTE, A.; 2014. Soil Properties. In: Kagan-Zur V, Roth-Bejerano N, Sitrit Y, Morte A (eds) Desert Truffles. Soil Biology, vol 38. Chapter 4, pp. 57-67. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg

BRADARI, L.; BISSATU, S.; CHENCHOUNI, H.; AMRANI, K.; 2015. Effects of climate on the productivity of desert truffles beneath hyper-arid conditions. *Int. J. Biometeorol.* 59: 907 – 915

DAHAM, S.S.; AL-RAWI, S.S.; IBRAHIM, A.H.; ABDUL MAJID, A.S.; ABDUL MAJID, A.M.S.; 2018. Antioxidant, anticancer, apoptosis properties and chemical composition of black truffle *Terfezia claveryi*. *Saudi J. Biol. Sci.* 25: 1524–1534

GUTIÉRREZ, A.; MORTE, A.; HONRUBIA, M.; 2003. Morphological characterization of the mycorrhiza formed by *Helianthemum almeriense* Pau with *Terfezia claveryi* Chatin and *Picoa lefebvrei* (Pat.) Maire. *Mycorrhiza* 13: 299 – 307

HONRUBIA, M.; GUTIÉRREZ, A.; MORTE, A.; 2001. Desert truffle plantations from South-East Spain. 3-ICOM. Adelaida, Australia

HONRUBIA, M.; MORTE, A.; GUTIÉRREZ, A.; GONZÁLEZ, F.; DIESTE, C.; 2003. Las Turmas o Trufas de Desierto. En: ESTEVE-SELMA M.A.; LLORÉIS-PASCUAL, M.; MARTÍNEZ-GALLUR, C. (eds): Los Recursos Naturales de la Región de Murcia. Un Análisis Interdisciplinar. Pp. 277–279. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, Murcia

HONRUBIA, M.; MORTE, A.; GUTIÉRREZ, A.; 2007. Las Terfezias. Un cultivo para el desarrollo rural en regiones áridas y semi-áridas. En: REYNA, S. (coord.): Truficultura, Fundamentos y Técnicas. Pp. 365-397. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid

HONRUBIA, M.; ANDRINO, A.; MORTE, A.; 2014. Domestication: Preparation and maintenance of plots. En: KAGAN-ZUR, V., ROTH-BEJERANO, N.; SITRIT, Y.; MORTE, A. (eds.): Desert Truffles. Soil Biology, vol 38. Chapter 22, pp. 367 – 387. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg

JANAKAT, S.; AL-FAKHIRI, S.; SALLAL, A.K.; 2004. A promising peptide antibiotic from *Terfezia claveryi* aqueous extract against *Staphylococcus aureus* in vitro. *Phytother. Res.* 18:810–813

MARQUÉS-GÁLVEZ, J. E.; MORTE, A.; NAVARRO-RÓDENAS, A.; 2020. Spring stomatal response to vapor pressure deficit as a marker for desert truffle fruiting. *Mycorrhiza* 30(4): 503-512

MORTE, A.; GUTIÉRREZ, A.; HONRUBIA, M.; 2008. Biotechnology and cultivation of desert truffles. En: VARMA, A. (ed.): *Mycorrhiza: Biology, Genetics, Novel Endophytes and Biotechnology*. Third edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg

MORTE, A.; ZAMORA, M.; GUTIÉRREZ, A.; HONRUBIA, M.; 2009. Desert truffle cultivation in semiarid Mediterranean areas. En: V. GIANINAZZI-PEARSON, V.; AZCÓN, C. (eds.): *Mycorrhizas: functional processes and ecological impact*. Chapter 15. Pp 221–234. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg

MORTE, A.; ANDRINO, A.; HONRUBIA, M.; NAVARRO-RÓDENAS, A.; 2012. *Terfezia* cultivation in arid and semiarid soils. En: ZAMBONELLI, A.; BONITO, G.M. (eds.): *Edible Ectomycorrhizal Mushrooms*. Soil Biology, vol 34. pp 241–263. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg

MORTE, A.; DE LARA, F.; LÓPEZ CARREÑO, D.; 2020. Turmas, para comérselas. Asociación Española de Turmicultura Ed., 40 páginas

MORTE, A.; KAGAN-ZUR, V.; NAVARRO-RÓDENAS, A.; SITRIT, Y.; 2021. Cultivation of Desert Truffles—A Crop Suitable for Arid and Semi-Arid Zones. *Agronomy* 11(8), 1462

MURCIA, M.A.; MARTÍNEZ-TOMÉ, M.; JIMÉNEZ, A.M.; VERA, A.M., HONRUBIA, M.; PARRAS, P.; 2002. Antioxidant activity of edible fungi (truffles and mushrooms): losses during industrial processing. *J. Food Prot.* 65:1614–1622

MURCIA, M.A.; MARTÍNEZ-TOMÉ, M.; VERA, A.; MORTE, A.; GUTIÉRREZ, A.; HONRUBIA, M.; JIMÉNEZ, A.M.; 2003. Effect of industrial processing on desert truffles *Terfezia claveryi* Chatin and *Picoa juniperi* Vitt.: proximate composition and fatty acids. *J. Sci. Food Agric.* 83: 535-541

OLIACH, D.; MORTE, A.; SÁNCHEZ, S.; NAVARRO-RÓDENAS, A.; MARCO, P.; GUTIÉRREZ, A.; MARTÍN-SANTAFÉ, M.; FISCHER, C.; ALBISU, L.M.; GARCÍA-BARREDA, S.; COLINAS, C.; 2020. Las trufas y las turmas. Los productos forestales no madereros en España: Del monte a la industria. Monografías INIA: Serie Forestal, 31

PARSI, Z.; GÓRECKI, T.; 2006. Determination of ergosterol as an indicator of fungal biomass in various samples using non-discriminating flash pyrolysis. *J. Chromatogr. A.* 1130, 145–150

SÁNCHEZ-GÓMEZ, P.; CARRIÓN, M.A.; GUERRA, J.; 2002. Libro Rojo de la flora silvestre protegida de la Región de Murcia. I.S.B.N: 84-688-0570-X. Edita Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Dirección General del Medio Natural

TEJEDOR-CALVO, E.; GARCÍA-BARREDA, S.; SÁNCHEZ, S.; MORALES, D.; SOLER-RIVAS, C.; RUIZ-RODRIGUEZ, A., SANZ, M. Á.; GARCIA, A. P.; MORTE, A.; MARCO, P.; 2021. Supercritical CO₂ extraction method of aromatic compounds from truffles. *LWT* 150, 111954.

TEJEDOR-CALVO, E.; GARCÍA-BARREDA, S.; SÁNCHEZ, S.; MORTE, A.; SILES-SÁNCHEZ, M. N.; SOLER-RIVAS, C.; SANTOYO, S.; MARCO, P.; 2022. Application of Pressurized Liquid Extractions to Obtain Bioactive Compounds from *Tuber aestivum* and *Terfezia claveryi*. *Foods*. Aceptado, en prensa.

WEETE, J.D.; KULIFAJ, M.; MONTANT, C.; NES, W.R.; SANCHOLLE, M.; 1985. Distribution of sterols in fungi. II: Brassicasterol in *Tuber* and *Terfezia* species. *Can. J. Microbiol.*, 31, 1127–1130.