

# EFECTO COMPARATIVO DE DOS SISTEMAS DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE HONGOS RIZOSFÉRICOS Y PRODUCTIVIDAD DEL OLIVO EN TACNA, PERÚ

David E. Lindo-Seminario<sup>1</sup>, Sandra J. Mendez-Farroñan<sup>1</sup>, Martha H. Jahuirah-Arias<sup>1</sup>, D.P. Casanova-Núñez-Melgar<sup>1</sup> y Arturo Morales-Pizarro<sup>2</sup>

## RESUMEN

Perú es considerado el principal productor de olivo (*Olea europaea*) en América del Sur, y Tacna es la región líder con más de 23.000 hectáreas de cultivo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos sistemas de riego por goteo (doble hilera - DH y sectorizado - ST) sobre los hongos rizosféricos y productividad del olivo. Se aislaron hongos a partir de muestras de suelo y se evaluó el rendimiento en aceitunas, peso del fruto y proporción de materia seca (%) en función del tipo de riego mediante una prueba de t con 20 repeticiones. Se aislaron 22 morfotipos de hongos del género *Alternaria* (2), *Cladosporium* (1), *Fusarium* (4), *Paecilomyces* (5), *Trichoderma* (8) y *Verticillium* (1). Hubo tendencia mayor número de cepas en ST en comparación con DH. El riego ST produjo un rendimiento superior a DH ( $p \leq 0,05$ ), con 5.020 frente a 4417 kg ha<sup>-1</sup>. Por su parte, el DH produjo un peso promedio del fruto superior al de ST, con 7,899 g frente a 7,183 g. Finalmente, los órganos de la planta en ST tuvieron una fracción de materia seca superior, con 31,30 y 22,63 %, en ramas y hojas, respectivamente, frente a 28,33 y 19,37 % en el riego DH. Además, se obtuvieron correlaciones positivas desde  $r = 0,95$  hasta  $r = 0,54$  ( $p \leq 0,05$ ) entre las variables de productividad. Este estudio sugiere que, en cuanto a rendimiento, el sistema de riego ST es una mejor opción para el riego del olivo en los suelos salinos de la región de Tacna.

**Palabras clave adicionales:** *Olea europaea*, respuesta productiva, sistemas de riego

## ABSTRACT

### Comparative effect of two irrigation systems on the rhizospheric fungal community and olive productivity in Tacna, Peru

Peru is considered the main producer of olives (*Olea europaea*) in South America, and Tacna is the leading region with over 23,000 hectares under cultivation. The objective of this research was to evaluate the effect of two drip irrigation systems (double-row - DH and sectorized - ST) on rhizospheric fungi and plant productivity. Fungi were isolated from soil samples, and olive yield, fruit weight, and dry matter content (%) were assessed as a function of the irrigation type using a t-test with 20 replications. Twenty-two fungal morphotypes were isolated from the genera *Alternaria* (2), *Cladosporium* (1), *Fusarium* (4), *Paecilomyces* (5), *Trichoderma* (8), and *Verticillium* (1). There was a trend toward a greater number of strains in the ST compared to the DH system. The irrigation ST resulted in a higher yield than DH ( $p \leq 0.05$ ), with 5,020 versus 4,417 kg·ha<sup>-1</sup>. On the other hand, DH produced a higher average fruit weight than ST, with 7.899 g versus 7.183 g. Finally, the plant organs under ST irrigation had a higher dry matter fraction, with 31.30 and 22.63 % in branches and leaves, respectively, compared to 28.33 and 19.37 % under DH irrigation. Furthermore, positive correlations ranging from  $r = 0.95$  to  $r = 0.54$  ( $p \leq 0.05$ ) were found between the productivity variables. This study suggests that, in terms of yield, the ST irrigation is a better option for olive irrigation in the saline soils of the Tacna region.

**Additional Keywords:** Irrigation systems, *Olea europaea*, productive response

Editor Asociado: Dra. Marina García

## INTRODUCCIÓN

El olivo (*Olea europea* L.), es uno de los cultivos más antiguos remontándose a 6000 años A.C., (Vernet, 1990), extendiéndose hasta América en el siglo XVI (Maroto, 2014). Este cultivo presenta una amplia rusticidad, mínimo requerimiento de horas de frío, resistencia a las

heladas, tolerancia a déficit hídrico, salinidad y su adaptación a diferentes tipos de suelo, permiten conseguir una excelente calidad de sus frutos (Wiesman, 2009).

La olivicultura en Perú se inició con la introducción de plantones de olivos en los valles de Yauca Atiquipa e Ilo en 1560 (Hidalgo, 1993;

Recibido: Abril 23, 2025

Aceptado: Diciembre 20, 2025

<sup>1</sup> Estación Experimental Agraria Tacna. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). La Yarada, Tacna, Perú. e-mail: delindoseminario@gmail.com; sandrajmfar@gmail.com; jahuirah@gmail.com; dcasanova@inia.gob.pe

<sup>2</sup> Departamento de Morfofisiología Vegetal, Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Piura, Campus Universitario. Piura, Perú. e-mail: dmoralesp@unp.edu.pe (autor de correspondencia)

Sotomayor, 2000; Alférez y Robles, 2007); actualmente se cultivan alrededor de 30.000 ha de olivos, de las cuales 20.000 ha se encuentran en producción. El 80 % se destinan para aceituna de mesa, y el resto al procesamiento de aceite de oliva (ANDINA, 2020). De las regiones dedicadas a este cultivo, en Perú: Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna, esta última es considerada la principal productora de aceitunas con 23.168 ha de área cultivada (AGRITACNA, 2019), concentradas en el distrito fronterizo de La Yarada Los Palos, las cuales representan el 78 % de la producción nacional (SENAMHI, 2020).

El cambio climático y el uso excesivo del agua para riego están provocando una disminución alarmante de las reservas de agua en todo el mundo, aunado al incremento de la población en los sectores agrícolas, alimentario y textil (Cruz *et al.*, 2025). Esta demanda hídrica podría afectar considerablemente la producción de muchos cultivos en todo el mundo (FAO, 2019), incluido el olivo.

Para mitigar este problema, se han desarrollado tecnologías modernas de riego que tienen como base la respuesta fisiológica de las plantas y las condiciones edafoclimáticas de los campos. Estas tecnologías incluyen el riego programado por meteorología, el riego basado en la evapotranspiración, el riego deficitario y el riego por goteo sectorizado (Masmoudi, 2006; Masmoudi *et al.*, 2010). Estos sistemas son implementados para mejorar los sistemas de riego tradicionales (gravedad, aspersión y surco-surco), que emplean grandes volúmenes de agua, y garantizan el uso eficiente del recurso hídrico en los campos agrícolas, lo que es esencial para solucionar la carencia estimada de agua en las próximas décadas, especialmente en los campos olivícolas de la costa sur de Perú (Hammami, 2012; Huarcusi, 2016).

El suelo alberga una notable diversidad microbiana, constituyendo un ecosistema complejo habitado por bacterias, hongos, algas, protozoarios, virus, arqueas, actinomicetos y otros microorganismos (Morales *et al.*, 2022a). Si bien las bacterias suelen ser el grupo más abundante en número de individuos, los hongos, por su mayor tamaño celular y estructura filamentosa (hifas), representan aproximadamente el 70 % de la biomasa microbiana total del suelo y desempeñan un papel fundamental en procesos esenciales como la descomposición de la materia orgánica

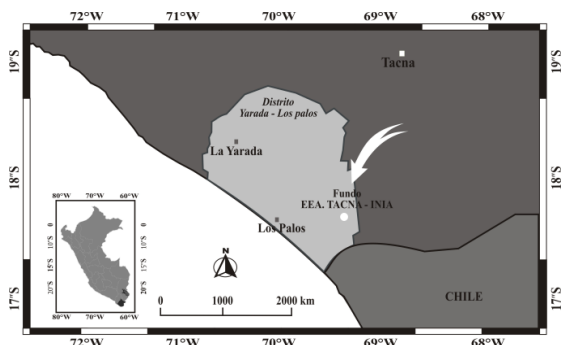
(especialmente compuestos complejos como la lignina y la celulosa), el ciclo de nutrientes (nitrógeno, fósforo, azufre, etc.), la formación de agregados del suelo, la retención de agua y las interacciones simbióticas con las plantas (micorrizas, que mejoran la absorción de nutrientes y agua) (Chanduví *et al.*, 2023; Morocho *et al.*, 2024). Bacterias como *Rhizobium* fijan nitrógeno atmosférico, mientras que hongos micorrízicos como *Glomus* establecen simbiosis con las raíces de las plantas.

Estas complejas interacciones entre los microorganismos del suelo, las raíces de las plantas y los constituyentes del suelo (partículas minerales, materia orgánica, agua y aire) en la interfase raíz-suelo dan como resultado la formación de la rizósfera (Galecio *et al.*, 2023; Cardoza *et al.*, 2024). Esta es una zona de influencia del sistema radical, caracterizada por un ambiente dinámico con propiedades físicas, químicas y biológicas distintas al resto del suelo, que alberga una gran diversidad de formas microbianas en constante interacción y relativa estabilidad (Pedraza *et al.*, 2010). Esta zona es crucial para la nutrición de las plantas, la protección contra patógenos mediante la competencia por nutrientes y la producción de antibióticos por parte de algunos microorganismos; además de la regulación de diversos procesos fisiológicos, influyendo directamente en el crecimiento y la salud de las plantas. Factores como el pH, la humedad del suelo y las prácticas agrícolas como la labranza y la fertilización pueden influir en la composición y la actividad de la comunidad microbiana del suelo. Bacterias PGPR (plant growth promoting rhizobacteria) colonizan la raíz y estimulan el crecimiento vegetal. Por su parte, los diazótrofos son microorganismos fijadores de nitrógeno (Clavijo *et al.*, 2012), seguidos por los hongos antagonistas como *Trichoderma* spp. que ha mejorado el crecimiento y vigor de las plantas, induciendo resistencia sistémica (Nawaz *et al.*, 2018; Aguilar *et al.*, 2021; Morales *et al.*, 2022b). Estos hongos también activan diversos mecanismos de control biológico, como la competencia por espacio y nutrientes, la modificación de las condiciones ambientales y la producción de antibióticos a través de micoparasitismo (Zhang *et al.*, 2020; Morales *et al.*, 2022a).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de dos sistemas de riego (Doble Hilera-DH y Sectorizado-ST) sobre los hongos rizosféricos y la productividad del olivo. De igual forma, se procedió a la identificación de los géneros de hongos presentes en la rizosfera durante la campaña agrícola 2019-2020 en la Estación Experimental Agraria Tacna, perteneciente al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) del Perú.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área experimental.** El estudio se efectuó en la Estación Experimental Agraria (EEA) Tacna del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), ubicada en el distrito de La Yarada Los Palos, provincia y departamento de Tacna (Figura 1). Los árboles de olivo de la variedad Sevillana tenían alrededor de 20 años de edad y una densidad de 204 plantas·ha<sup>-1</sup> (7 m x 7 m). La superficie en estudio fue de tres hectáreas, a 62 m.s.n.m., latitud 18° 26' 02" S y longitud 70° 39' 39" W. Los suelos son salinos, con conductividad eléctrica que va desde 11,40 hasta 17,63 dS·m<sup>-1</sup>. Durante el periodo evaluado, las temperaturas mínimas registradas fueron de 10 °C y las máximas de 21 °C, con una humedad relativa mínima de 70 % y máxima de 93 % (SENAMHI, 2020).



**Figura 1.** Mapa de ubicación de la EEA Tacna, en el distrito de La Yarada Los Palos, Provincia y Departamento de Tacna. El círculo blanco indica la ubicación de las tres hectáreas experimentales de olivo.

**Aislamiento de hongos rizosféricos.** Se tomaron 100 g de suelo en cinco sitios aleatorios por cada sistema de riego. Para el aislamiento de los microorganismos, se utilizó 1 g de sustrato por cada tratamiento y se aplicó la técnica de diluciones seriadas decimales (1/10, 1/100 y

1/1000) (Stanier e Ingraham, 1996). Se sembraron 0,10 mL de cada dilución, por triplicado, en placas de Petri con medio de cultivo agar dextrosa papa (PDA), un medio general para el cultivo de hongos, enriquecido con micronutrientes (7 g·L<sup>-1</sup> de nitrato de calcio, 5 g·L<sup>-1</sup> de sulfato de potasio y 5 g·L<sup>-1</sup> de sulfato de magnesio) y cloranfenicol (250 µg·mL<sup>-1</sup>) para inhibir selectivamente el crecimiento bacteriano, favoreciendo el desarrollo de hongos.

Las placas se incubaron durante siete días a 30±2 °C; transcurrido este tiempo se escogieron todas las colonias por sus características morfológicas macroscópicas de forma, color, tamaño, borde, superficie y elevación, se resembraron y purificaron para su conservación en tubos con PDA, inclinado.

Para la identificación de los hongos aislados, fueron preparados microcultivos de cada muestra y se realizaron observaciones microscópicas utilizando un microscopio Motic con iluminación Köhler a 40 X como método clásico basado en atributos morfológicos como micelio, fiálides, conidióforos, conidios y clamidosporas (Margez *et al.*, 2020).

**Sistemas de riego.** El ensayo se estableció bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) para evaluar dos variantes de riego por goteo en un cultivo de olivo: Doble Hilera (DH) y Sectorizado (ST), cuyas especificaciones se detallan en la Cuadro 1. La plantación se manejó con un sistema de riego superficial mediante líneas de goteo auto-compensantes por árbol. Aunque la frecuencia y duración del riego (2 horas por evento) fueron idénticas para ambos, el volumen de agua constituyó la variable principal: se aplicaron 30 L·hora<sup>-1</sup> en el tratamiento DH y 25 L·hora<sup>-1</sup> en el ST. El control preciso del caudal para cada tratamiento se garantizó mediante el uso de válvulas de regulación individuales.

**Material vegetal.** La recolección de las muestras se realizó durante el periodo de cosecha 2019-2020. Se utilizaron 20 repeticiones por tratamiento. Se colectaron hojas, ramas y frutos de planta. Las muestras se almacenaron en bolsas de plástico, cerradas herméticamente y fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Semillas de la Estación Experimental Agraria Arequipa-INIA. Se determinaron las siguientes variables:

**Cuadro 1.** Tratamiento de riego en el EEA Tacna del INIA.

Tratamientos	Símbolo	Detalle
Doble Hilera	DH	Sistema de riego por goteo modelo dos doble hileras con 6 goteros cada 0,5 centímetros por planta
Sectorizado	ST	Sistema de riego por goteo modelo sectorizado con aro circular polietileno de 16 mm, unión 2 mm y 6 bigotes de 1 mm por planta

**Rendimiento de frutos.** La cosecha del fruto se realizó de forma manual por planta. Se tomó el peso total de los frutos por planta y, posteriormente, se extrapoló a rendimiento en función de la superficie de plantación.

**Peso y número promedio de frutos.** Se tomaron 100 frutos de olivo (aceitunas) por planta y se calculó el peso promedio en las 20 plantas evaluadas por hectárea.

**Porcentaje de materia seca.** Esta evaluación se realizó en ramas y hojas, para lo cual se pesaron muestras de materia fresca que luego se

secaron en estufa a temperatura de 50-55 °C hasta obtener un peso constante. Se obtuvo el contenido de humedad mediante la diferencia entre el peso fresco y el seco, expresado como porcentaje del peso fresco. La diferencia de 100 correspondió al porcentaje de materia seca.

**Calibre y pigmentación de los frutos.** El calibre se estableció midiendo su diámetro en mm (Cuadro 2), conforme a la categorización de la EEA Tacna (Garrido y Romero, 1999). La pigmentación del fruto evaluó según la metodología de Barranco (2000) (Cuadro 3).

**Cuadro 2:** Calibre de los frutos de olivo.

Calibre	Diámetro de frutos (mm)
Extra	80-120
Mediana	120-170
Aceitera	170-220

Fuente: Garrido y Romero, 1999

**Análisis estadístico.** Los resultados de las variables fueron sometidos a estadística descriptiva y prueba de t para detectar diferencias significativas entre los dos sistemas de riego ( $p \leq 0,05$ ). Así mismo, se realizó un análisis de correlación de

Pearson entre el rendimiento y otras variables productivas. Los análisis fueron realizados con las aplicaciones del programa libre Rstudio (versión 3.11).

**Cuadro 3:** Grado de pigmentación de los frutos de olivo.

Código	Grado Pigmentación
1	Verde
2	Mulata
3	Negra

Fuente: Barranco, 2000

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Aislamiento e identificación de los hongos rizosféricos.** El estudio de los aislamientos procedentes de ambos sistemas de riego reveló una diversidad de características morfológicas de hongos rizosféricos. A partir de esta observación, las cepas más representativas fueron clasificadas en seis géneros (Cuadro 4 y Figura 2). El

tratamiento ST, resultó con el mayor número de cepas (14) en comparación con DH (7), entre ellas *Trichoderma*, *Paecilomyces* y *Fusarium*.

Entre las diferentes cepas aisladas, el hongo más abundante fue *Trichoderma* spp., especialmente en ST. Este género se emplea desde hace décadas como agentes de biocontrol (Samuels, 1996) y para mejorar la salud general de los cultivos. Su rol en la mitigación del estrés

abiótico es particularmente relevante; Fu *et al.* (2017) reportaron que *Trichoderma asperellum* mejora la absorción de agua y la tolerancia al estrés oxidativo en plantas de maíz. Estudios realizados por Kubicek *et al.* (2011), mencionan que el desarrollo de las especies *Trichoderma reesei*, *T. atroviride* y *T. virens* se ve favorecido por los compuestos liberados por las raíces de las plantas. Así mismo, Hermosa *et al.* (2012) indicaron que ciertas cepas de *Trichoderma* spp. interactúan con las plantas induciendo resistencia a estreses abióticos, y promoviendo su crecimiento. Mastouri *et*

*al.* (2010) reportaron que *T. harzianum* incrementa el vigor de las semillas de tomate y ayuda a aliviar los efectos del estrés hídrico, osmótico y salino induciendo protección contra el daño oxidativo. Por su parte, el género *Paecilomyces* ha sido señalado como un bioestimulante potencial que puede incrementar el crecimiento de raíces de la planta y el rendimiento de los cultivos (Paul *et al.*, 2013; Moreno *et al.*, 2020). La evidencia sugiere que el incremento de poblaciones de hongos rizosféricos tiene como consecuencia indirecta una optimización en el uso del agua por la planta.

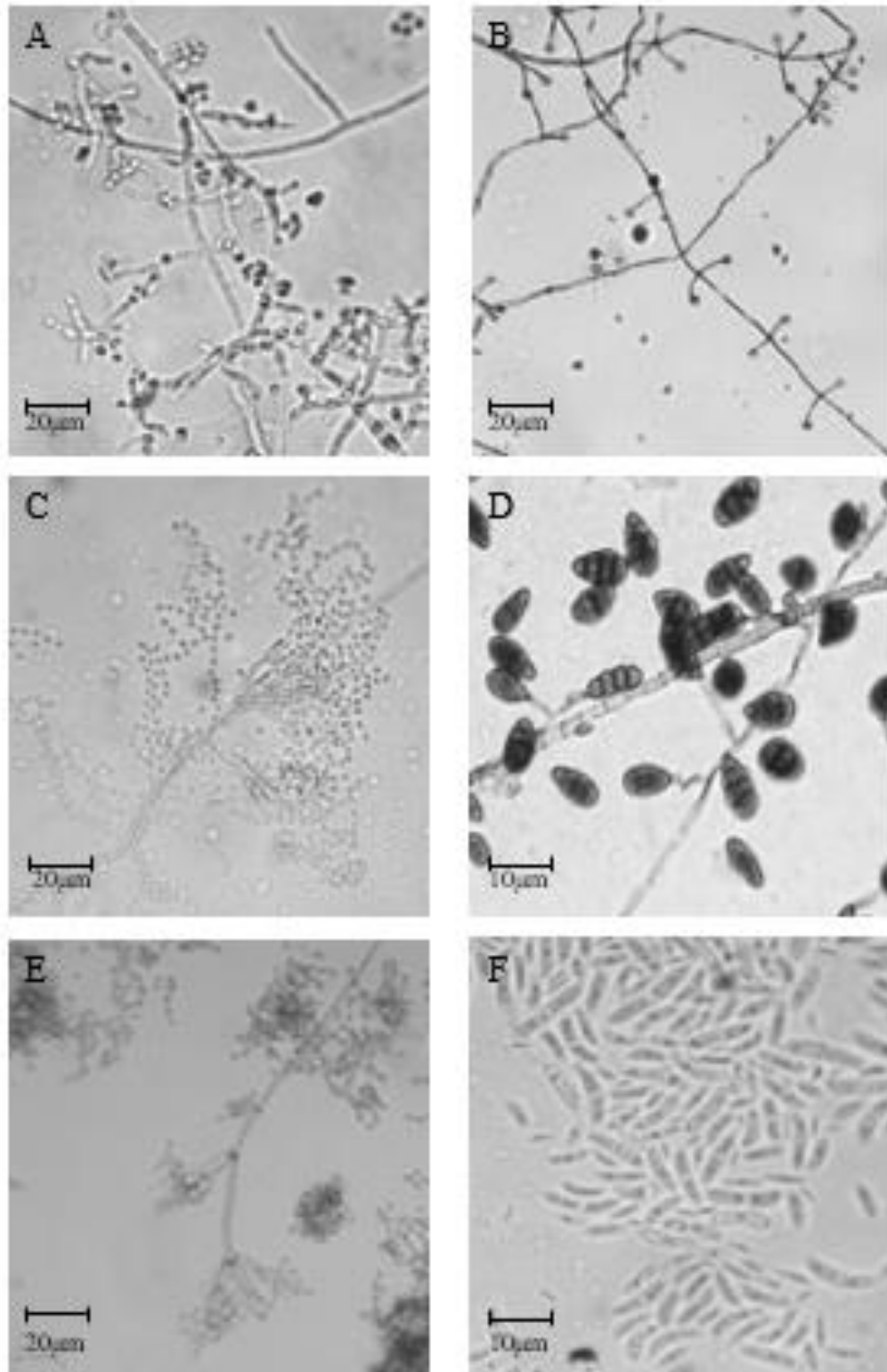
**Cuadro 4.** Número de colonias de hongos rizosféricos identificados en las variantes de riego de la EEA Tacna del INIA.

Aislamiento	DH	ST
<i>Alternaria</i>	1	1
<i>Cladosporium</i>	0	1
<i>Fusarium</i>	1	3
<i>Paecilomyces</i>	1	4
<i>Trichoderma</i>	3	5
<i>Verticillium</i>	1	0
$\bar{x} \pm SD$	1, 167 $\pm$ 0,8975	2,333 $\pm$ 1,7951

**Variables de productividad.** De acuerdo con el análisis de productividad entre ST y DH, se observó que presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). El tratamiento ST tuvo un rendimiento superior, alcanzando 5020 kg·ha<sup>-1</sup>, en comparación con 4427 kg·ha<sup>-1</sup> obtenidos por DH (Cuadro 5). Adicionalmente, esta superioridad se reflejó en las características agronómicas del fruto, donde ST produjo un 55,9 % de frutos de calibre 'Extra' y un 60 % alcanzó una pigmentación de color negro. Estos resultados fueron superiores a lo indicado por la Gerencia Regional de Agricultura de Moquegua (1756 kg·ha<sup>-1</sup>). Sin embargo, difirieron con los reportados por el Gobierno Regional de Tacna (9398 kg·ha<sup>-1</sup>) (AGRITACNA, 2019). A través de este estudio, se reafirma que la región Tacna ocupa el primer lugar en la producción de olivo a nivel nacional con 23.168 ha de las 30.000 ha de áreas cultivadas según AGRITACNA (2019) y ANDINA (2020). Nuzzo *et al.* (1997) y Patumi *et al.* (1999), explican que el incremento en los índices de producción está directamente influido por la disponibilidad del agua en el suelo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Hijazi *et al.* (2014), Sanz *et al.* (2015) y Liu *et al.* (2019),

quienes demostraron que el riego por goteo incrementa la productividad del olivo.

**Peso promedio del fruto.** El mejor PF promedio por hectárea se obtuvo en el tratamiento ST, con un valor de 7,899 g, mientras que en DH presentó valores inferiores, 7,183 g (Cuadro 5). El análisis estadístico demostró diferencias significativas entre ambos sistemas de riego ( $p \leq 0,05$ ). Estos resultados coincidieron con las investigaciones de Muñoz (2008) y Fichet *et al.* (2011), quienes señalaron que la reducción del peso del fruto es típica de olivos con grandes producciones, existiendo una relación entre el número y el tamaño de la aceituna, donde a menor número de aceitunas mayor es el peso del fruto. Así también, Barranco *et al.* (2008) reportaron que a menor cantidad de aceitunas en el árbol, menor es la competencia por fotoasimilados entre los frutos, siendo mayor la acumulación de materia seca en ellos. Del mismo modo, Famiani *et al.* (2006), demostraron que al aumentar los volúmenes de agua en las plantas sumando a buenas prácticas de raleo en el olivo, se incrementa el tamaño de los frutos y hay una mejor relación mesocarpio/semilla.



**Figura 2.** Identificación de géneros de hongos rizosféricos de EEA Tacna, ubicada en el distrito de La Yarada Los Palos, Provincia y Departamento de Tacna. A. *Trichoderma*, B. *Verticilium*, C. *Paecilomyces*, D. *Alternaria*, E. *Cladosporium*, F. *Fusarium*. Barras de escala para los conidios representados en 10 a 20  $\mu\text{m}$ .

**Peso promedio del fruto.** El mejor PF promedio por hectárea se obtuvo en el tratamiento ST, con un valor de 7,899 g, mientras que en DH presentó valores inferiores, 7,183 g (Cuadro 5). El análisis estadístico demostró diferencias significativas entre ambos sistemas de riego ( $p \leq 0,05$ ). Estos resultados coincidieron con las investigaciones de Muñoz (2008) y Fichet *et al.* (2011), quienes señalaron que la reducción del peso del fruto es típica de olivos con grandes producciones, existiendo una relación entre el número y el tamaño de la aceituna, donde a menor

número de aceitunas mayor es el peso del fruto. Así también, Barranco *et al.* (2008) reportaron que a menor cantidad de aceitunas en el árbol, menor es la competencia por fotoasimilados entre los frutos, siendo mayor la acumulación de materia seca en ellos. Del mismo modo, Famiani *et al.* (2006), demostraron que al aumentar los volúmenes de agua en las plantas sumando a buenas prácticas de raleo en el olivo, se incrementa el tamaño de los frutos y hay una mejor relación mesocarpio/semilla.

**Cuadro 5.** Rendimiento y peso del fruto en los olivos de la EEA Tacna del INIA, 2020.

Variable	Calibre	Pigmentación	$\bar{x} \pm SD$	
			Rendimiento	Peso del fruto
			(kg·ha <sup>-1</sup> )	(g)
Riego a doble hilera (DH)	Extra	Negra	733 ± 43,36	10,57 ± 1,05
		Mulata	411 ± 59,15	10,43 ± 1,27
		Verde	151 ± 60,29	9,10 ± 0,50
	Mediana	Negra	1641 ± 264,74	8,17 ± 0,81
		Mulata	841 ± 259,61	8,13 ± 0,76
		Verde	332 ± 86,12	7,53 ± 0,38
	Aceitera	Negra	174 ± 43,71	5,17 ± 0,49
		Mulata	100 ± 6,66	5,37 ± 0,76
		Verde	44 ± 25,06	5,07 ± 0,21
Total		4.427,00 b	7,899 a	
Riego sectorizado (ST)	Extra	Negra	2004 ± 903,53	10,63 ± 0,93
		Mulata	628 ± 298,16	10,23 ± 0,76
		Verde	177 ± 165,11	9,20 ± 0,75
	Mediana	Negra	961 ± 269,01	7,77 ± 0,38
		Mulata	726 ± 122,52	7,77 ± 0,45
		Verde	355 ± 83,74	7,23 ± 0,15
	Aceitera	Negra	66 ± 20,98	4,97 ± 0,15
		Mulata	61 ± 7,37	5,43 ± 0,46
		Verde	43 ± 14,01	5,27 ± 0,68
Total		5.020 a	7,183 b	

Comparación entre sistemas de riego: Valor total para el rendimiento y media ponderada para el peso del fruto. Prueba de t ( $p \leq 0,05$ )

**Porcentaje de materia seca.** Respecto a la fracción de materia seca de ramas y hojas, el análisis detectó diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). En el riego ST se observaron valores superiores en el porcentaje de materia seca (31,30 y 22,63 % en ramas y hojas respectivamente) en comparación

con el tratamiento DH (28,33 y 19,37%) (Cuadro 6). Esto podría ser resultado del mejor aprovechamiento y circulación del recurso hídrico en los distintos órganos de la planta, reflejándose en los pesos de los frutos en el tratamiento ST, causando buenos índices de producción por

hectárea (Cuadro 5). Azcón y Talón (2008) indicaron que una buena distribución de los emisores en los sistemas de riego por goteo, permite que las raíces logren una mayor absorción del agua y, por ende, un mayor incremento de la materia seca en los frutos. Los resultados del presente estudio fueron inferiores a los de Bacelar

(2004) y Borjas (2015), quienes mencionaron que la proporción seca de los diversos órganos del olivo se encuentra entre 25 a 15 %. A pesar de ello, los resultados podrían sugerir incrementos de la fracción de materia seca en ramas y hojas del olivo en las posteriores cosechas en la EEA, en relación con el mayor tiempo de recuperación.

**Cuadro 6.** Porcentaje de materia seca en hojas y ramas en los olivos de la EEA Tacna del INIA, 2020

Variable	Órgano	Materia seca (%)
Riego a doble hilera (DH)	Ramas	28,33 B
	Hojas	19,37 b
Riego sectorizado (ST)	Ramas	31,30 A
	Hojas	22,63 a

Comparación entre sistemas de riego: Letras mayúsculas para las ramas y minúsculas para las hojas. Prueba de t ( $p \leq 0,05$ )

**Análisis de correlación.** Los resultados generados del análisis de correlación de Pearson mostraron correlación positiva significativa entre el rendimiento ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) y algunos de sus componentes como el número de frutos ( $r=0,95$ ;  $p \leq 0,05$ ) y peso fresco del fruto ( $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) ( $r=0,54$ ;  $p \leq 0,05$ ). De la misma manera, el porcentaje de humedad de ramas y hojas presentó una correlación moderada con el rendimiento ( $r=0,53$ ;  $p \leq 0,05$ ).

## CONCLUSIONES

Se confirmó la presencia de los géneros fúngicos *Trichoderma* y *Paecilomyces* en la rizosfera del cultivo de olivo, particularmente en el riego por goteo sectorizado (ST). La existencia de estos microorganismos benéficos es relevante, porque sus conocidos mecanismos de acción representan un capital biológico con potencial para mejorar la sanidad y la resiliencia del cultivo de manera natural.

El tratamiento de riego ST demostró ser la estrategia hídrica más eficiente al promover la productividad del olivo incluyendo el rendimiento total ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) y la fracción de materia seca. Este sistema de riego luce como una estrategia

adecuada para el cultivo de olivo en las condiciones agroclimáticas de la región de Tacna.

## LITERATURA CITADA

1. AGRITACNA (Dirección Regional de Agricultura de Tacna). 2019. <https://n9.cl/77bok>
2. Aguilar-Anccota, R., C.G. Arévalo-Quinde, A. Morales-Pizarro y M. Galecio-Julca. 2021. Hongos asociados a la necrosis de haces vasculares en el cultivo de banano orgánico: síntomas, aislamiento e identificación, y alternativas de manejo integrado. *Scientia Agropecuaria* 12(2): 249-256.
3. ANDINA (Agencia Peruana de Noticias). 2020. Disponible en: <https://n9.cl/b4d01t>
4. Bacelar, E.A., C.M. Correia, J.M. Moutinho-Pereira, B.C. Gonçalves y J.I., Lopes. 2004. Sclerophylly and leaf anatomical traits of five field-grown olive cultivars growing under drought conditions. *Tree physiology* 24(2): 233-239.
5. Barranco Navero, D., A. Cimato, P. Fiorino, L. Rallo Romero, A. Touzani, C. Castañeda *et al.* 2000. Catálogo mundial de variedades de olivo. Consejo Oleícola Internacional, Madrid 360 p.

6. Barranco Navero, D., D.B. Navero y L.R. Romero. 2008. El cultivo del olivo. Mundi-Prensa. Madrid. 846 p.
7. Borjas, R., D. Rebaza y A. Julca. 2015. Contenido hídrico de dos variedades de olivo (*Olea europaea* L.) en el Valle de Cañete, Lima-Perú. *Scientia Agropecuaria* 6(3): 147-154.
8. Cardoza-Viera, A., D. Arévalo-Valladolid, J. Javier-Alva, R. Peña-Castillo, R. Chanduví-García, y A. Morales-Pizarro. 2024. Sustratos Orgánicos Alternos en la Germinación y Crecimiento Inicial de Plántulas de Maíz (*Zea mays* L.) en Condiciones de Vivero. *Terra Latinoamericana* 42: 1867
9. Chanduví-García, R., M.A. Sandoval-Panta, R. Peña-Castillo, J. Alva, L.A. Álvarez y D.A. Morales-Pizarro. 2023. Biofertilizante y su correlación entre parámetros productivos y de calidad en limón sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Terra Latinoamericana* 41: 1685
10. Clavijo, C., V. Chipana, J. Centeno, D. Zúñiga y C. Guillén. 2012. Aislamiento, caracterización e identificación de bacterias diazotróficas de la rizósfera del cultivo de *Olea europea* "olivo" en Tacna Perú. *Ecología Aplicada* 11(2): 89-102.
11. Cruz-Grimaldo, C., M. Nieves, E. Vera, M. Duran, A. Morales y W. Salazar. 2025. Yield predictions of 'Del Cerro' cotton (*Gossypium hirsutum* L.) germplasm by multispectral monitoring in the north coast of Peru. *Chilean journal of agricultural research* 85(1): 15-26.
12. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2019. <http://www.fao.org/water/es/>
13. Famiani F.L., L. Nasini y P. Proietti. 2006. Effect of different leaf-to-fruit ratios on photosynthesis and fruit growth in olive (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica* 44: 275-285.
14. Fichet, T.G., B. Razeto y T. Curkovic. 2011. El olivo: estudio agronómico en la Región de Atacama. Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas No 16. Santiago, Chile. 171 p.
15. Fu, J., Z. Liu, Z. Li, Y. Wang y K. Yang. 2017. Alleviation of the effects of saline-alkaline stress on maize seedlings by regulation of active oxygen metabolism by *Trichoderma asperellum*. *Plos One* 12(6): e0179617.
16. Galecio-Julca, M., M. Neira-Ojeda, R. Chanduvi-García, P. Peña-Castillo, L. Álvarez-Bernaola, G. Granda-Wong *et al.* 2023. Efecto de la eficacia de los microorganismos nativos y la composta en tres pisos altitudinales en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad INIA 415-Pasankalla. *Terra Latinoamericana* 41.
17. Hammami, S. 2012. Análisis de procesos morfogénicos del crecimiento, desarrollo y producción del olivo. Universidad de Córdoba, Departamento de Agronomía. <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/7631/572.pdf?sequence=1>
18. Hermosa, R., A. Viterbo, I. Chet y E. Monte. 2012. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. *Microbiology* 158(1): 17-25.
19. Hijazi, A., M. Doghoze, N. Jouni, V. Nangia, M. Karrou y T. Oweis. 2014. Water requirement and water-use efficiency for olive trees under different irrigation systems. 7th International Conf. on Water Resources in the Mediterranean Basin.
20. Huarcusi C.A. 2016. Fenología del olivo (*Olea europea* L.) var. Sevillana en una campaña productiva en La Yarada-Tacna.
21. Kubicek, C.P., A. Herrera-Estrella, V. Seidl-Seiboth, D.A. Martinez, I.S. Druzhinina, M. Thon *et al.* 2011. Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral life style of *Trichoderma*. *Genome biology* 12(4): R40.
22. Liu, Q., Y. Lan, F. Tan, Y. Tu, Y. Sun, G. Yougu *et al.* 2019. Drip irrigation elevated olive productivity in Southwest China. *HortTechnology* 29(2): 122-127.
23. Margez, J.P.F., J.A. Jiménez-Cervantes, J.A. Hernández-Escamilla, E. Olivas-Enríquez, P. Osuna-Ávila, M.K. Shukla *et al.* 2020. Detección de géneros de hongos en suelos del desierto de Chihuahua durante tormentas de polvo en la frontera entre México y Estados Unidos. *Revista Terra Latinoamericana* 38: 4
24. Maroto-Borrego, J.V. 2014. Historia de la Agronomía: Una Visión de la Evolución Histórica de la Ciencia y las Técnicas Agrarias. Ithaca, NY.

25. Masmoudi, C.C., M.M. Ayachi, y M. Gouia. 2010. Water relations of olive trees cultivated under deficit irrigation regimes. *Scientia Horticulturae* 125(4): 573-578.
26. Masmoudi-Charfi, C. 2006. Gestion de l'irrigation dans les plantations d'olivier. Institut de l'Olivier, Sfax.
27. Mastouri, F., T. Bjo'rkman, y G.E. Harman. 2010. Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. *Phytopathology* 100: 1213-1221.
28. MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2018. <https://n9.cl/1lfj7>
29. Morales-Pizarro, A., J. Javier-Alva, L.A. Álvarez, R. Mayta-Obos, R. Aguilar-Ancota, R. Peña-Castillo *et al.* 2022a. Isolation, identification and in vitro evaluation of native isolates of *Bacillus*, *Trichoderma* and *Streptomyces* with potential for the biocontrol of grapevine trunk fungi. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 25(2).
30. Morales-Pizarro, D., J. Javier-Alva, L. Álvarez, R. Peña-Castillo, R. Chanduvi García, C. Granda-Wong *et al.* 2022b. In vivo control of *Phaeoacremonium parasiticum* with native antagonists *Bacillus*, *Trichoderma* and actinomycetes and their growth promoting effect in grapevine. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 25(3).
31. Moreno-Gavira, A., F. Diánez, B. Sánchez-Montesinos y Y.M. Santos. 2020. *Paecilomyces variotii* as a plant-growth promoter in horticulture. *Agronomy* 10(4): 597.
32. Morocho-Romero, H., R. Peña-Castillo, R. Chanduvi-García, S. Vilchez-Navarro, M. Quiroz-Calderón, M. Calero-Merino *et al.* 2024. Influence of organic fertilization on the fruit morphology and production of mango (*Mangifera indica* L.) var. Kent. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 27(3).
33. Muñoz, C.L. 2008. Control de carga frutal en olivos variedad Coratina mediante poda de invierno. Memoria de Título en Ingeniería Agronómica, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 42 p.
34. Nuzzo, V., C. Xiloyannis y G. Dichio. 1997. Growth and yield in irrigated and non-irrigated olive trees cultivar Corantina over four years after planting. *Acta Horticulture* 449: 75-82.
35. Parra, M., R. Fernández y C. Navarro. 2002. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Junta de Andalucía. 255 p.
36. Patumi, M., R. d'Andria, G. Fontanazza, G. Morelli, P. Giorio y G. Sorrentino. 1999. Yield and oil quality of intensively trained trees of three cultivars of olive (*Olea europaea* L.) under different irrigation regimes. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74(6): 729-737.
37. Paul, N.C., J.X. Deng, J.H. Lee y Y.S.H. Yu. 2013. New records of endophytic *Paecilomyces inflatus* and *Bionectria ochroleuca* from chili pepper plants in Korea. *Mycobiology* 41(1): 18-24.
38. Pedraza, R.O., K.R. Teixeira, A.F. Scavino, I.G. De Salamone, B.E. Baca, R. Azcón *et al.* 2010. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Revisión. Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11(2): 155-164.
39. Samuels G.J. 1996. *Trichoderma*: una revisión de la biología y sistemática del género. *Mycol. Res.* 100: 923-935.
40. Sanz-Cortes, F., Martínez-Calvo, J., Badenes, M.L. *et al.* 2015. Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea*). *Annals of Applied Biology* 140: 151-157.
41. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2020. Tiempo y pronóstico meteorológico. <https://n9.cl/sru8e>
42. Sotomayor León, E. 2000. Época de floración de cultivares de olivo en el Valle de Azapa (Arica-Chile). *Idesia* 18: 7-13.
43. Vernet, J.L. 1990. Man and vegetation in the Mediterranean area during the last 2000 years. In: F. di Castro, A. J. Hansen and M. Debusche (Eds.). Kluwer Ac. Press. Dodrecht. Netherlands.
44. Wiesman, Z. 2009. Cultivo de aceite de oliva en desierto: biotecnologías avanzadas. Prensa académica.