



# Scientia Agropecuaria

Web page: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias  
Agropecuarias

Universidad Nacional de  
Trujillo

## RESEARCH ARTICLE



### Osmotic adjustment and yield of two varieties of avocado (*Persea americana*), Hass and Fuerte, with drip irrigation system, in Andean area of Peru

Ajuste osmótico y rendimiento de dos variedades de palta (*Persea americana*), Hass y Fuerte, con sistema de riego por goteo, en zona andina del Perú

Juan Quispe-Rodriguez<sup>1</sup> ; Tulio C. Paytan-Montañez<sup>1</sup> ; Isaac N. Aliaga Barrera<sup>1,2</sup> ; David Saravia-Navarro<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup> Escuela profesional de Negocios Agronómicos y Forestales, Universidad Nacional Autónoma de Huanta (UNAH), Jr Manco Cápac N° 497, Huanta 05121, Perú.

<sup>2</sup> Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Av. La Molina, 1981, Lima 15024, Perú.

\* Corresponding author: [davidsaravian@gmail.com](mailto:davidsaravian@gmail.com) (D. Saravia-Navarro).

Received: 24 December 2023. Accepted: 31 March 2024. Published: 23 April 2024.

#### Abstract

The cultivation of avocado (*Persea Americana*) is not only essential from an economic point of view, but also plays a crucial role in the nutrition, health and well-being of populations around the world. The study was carried out in Ayacucho -Peru (latitude: 12° 53' 57" S, longitude: 74° 16' 55" W and altitude: 2596 masl), with the objective of evaluating the effect of the use of the technical drip irrigation system on the production and yield of two varieties of avocado, Hass and Fuerte. The study was based on the use of an irrigation system with programming by treatment with avocado plants installed in plots of 500 m<sup>2</sup> in 6 sectors, with a density of 5 x 5 m, whose age was between 5 to 16 years, of the which were considered 12 plants (6 plants with drip irrigation and 6 plants as a control with gravity irrigation). Irrigation was carried out right at the flowering and production stage, guaranteeing adequate water supply in periods of water deficit, between February and June 2022. The experimental design was a complete randomized block, with six blocks of 20 plants each. The harvest carried out reported yields of 67.96 ± 8.8 t/ha under technical irrigation and 26.42 ± 4.93 t/ha under gravity irrigation, an increase of 157% with respect to the latter. As for the varieties, the Fuerte avocado had the highest yield 49.38 ± 23.06 t/ha compared to the Hass variety (45.0 ± 21.14 t/ha), the maximum yield occurred with drip irrigation for the Fuerte variety (71.09 ± 8.38 t/ha), this is explained by the energy expenditure in the osmotic adjustment potential which drastically decreases the yield potential with traditional gravity irrigation, obtaining a minimum yield in Hass of 25.18 ± 4.44 t/ha.

**Keywords:** Yield potential; high-Andean fruit trees; irrigation efficiency.

#### Resumen

El cultivo de palta (*Persea americana*) no solo es esencial desde el punto de vista económico, sino que también desempeña un papel crucial en la alimentación, la salud y el bienestar de las poblaciones en todo el mundo. El estudio se realizó en Ayacucho-Perú (latitud: 12° 53' 57" S, longitud: 74° 16' 55" O y altitud: 2596 msnm), con el objetivo de evaluar el efecto de la utilización del sistema de riego tecnificado por goteo en la producción y rendimiento de dos variedades de palta, Hass y Fuerte. El estudio estuvo basado en el uso de un sistema de riego con programación por tratamiento con plantas de palta instaladas en parcelas de 500 m<sup>2</sup> en 6 sectores, con una densidad de 5 x 5 m, cuya edad estuvo entre 5 a 16 años, de las cuales se consideró 12 plantas (6 plantas con riego por goteo y 6 plantas como testigo con riego por gravedad). Los riegos se efectuaron justo en la etapa de floración y producción garantizando el suministro de agua adecuado en periodos de déficit hídrico, entre febrero a junio de 2022. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con seis bloques de 20 plantas cada uno. La cosecha realizada reportó rendimientos 67,96 ± 8,8 t/ha bajo riego tecnificado y de 26,42 ± 4,93 t/ha en riego por gravedad, siendo un incremento del 157% con respecto a este último. En cuanto a las variedades, la palta Fuerte tuvo el mayor rendimiento 49,38 ± 23,06 t/ha con respecto a la variedad Hass (45,0 ± 21,14 t/ha), el rendimiento máximo se dio con riego por goteo para a variedad Fuerte (71,09 ± 8,38 t/ha), esto es explicado por el gasto de energía en el potencial de ajuste osmótico la cual disminuye drásticamente el potencial de rendimiento con riego tradicional por gravedad, obteniendo un rendimiento mínimo en Hass de 25,18 ± 4,44 t/ha.

**Palabras clave:** Potencial de rendimiento; frutales altoandinos; eficiencia de riego.

DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.017>

#### Cite this article:

Quispe-Rodriguez, J., Paytan-Montañez, T. C., Aliaga Barrera, I. N., & Saravia-Navarro, D. (2024). Ajuste osmótico y el rendimiento de dos variedades de palta (*Persea americana*) Hass y Fuerte con sistema de riego por goteo en zona andina del Perú. *Scientia Agropecuaria*, 15(2), 225-234.

## 1. Introducción

La disminución del recurso hídrico es un problema que se viene notando a nivel global (Bayu & Oki, 2020) y nuestro país no es ajeno a ello, precisamente por el cambio climático (Lee et al., 2022). El uso y manejo del agua de riego con menor eficiencia han hecho que los agricultores tomen decisiones de sembrar de acuerdo con la disponibilidad del recurso hídrico y bajo el régimen de la temporada de lluvias. Algunas zonas productoras tradicionalmente de frutales van disminuyendo progresivamente sus áreas de siembra o cambiando con otros cultivos que requieren menos cantidad de agua para producir, ello conllevará que en el futuro tenga repercusiones en la seguridad alimentaria, enfrentando también las incertidumbres asociadas con el cambio climático (Campbell et al., 2016; Delatorre-Herrera et al., 2021); más aún, el agua que se utiliza en la agricultura significa un 87% (Mekonnen et al., 2015) y la demanda mundial por este recurso hídrico es cada vez mayor (D'Odorico et al., 2020). Así mismo el agotamiento de los recursos hídricos, los altos costos del agua y la energía y la globalización de los mercados, exigen mejoras en la eficiencia de utilización del agua de riego (Ringle et al., 2013), el efecto de déficit de irrigación y su incidencia en el rendimiento y calidad de los cultivos han sido ampliamente estudiados (Patanè & Cosentino, 2010); no obstante solo a partir del año 1990 se encontraron resultados favorables en base a la calidad de los frutales en función del tipo de suelo y del índice de déficit hídrico (Carr, 2012). Estudios en hortalizas (Zhu et al., 2022) indican que no solo el riego tecnificado es imprescindible sino también en el aumento de la duración de la aireación y oxigenación afecta significativamente las actividades de las enzimas antioxidantes y los parámetros de crecimiento de las raíces y los rendimientos. Si a ello le sumamos el uso indiscriminado del agua de riego y la ausencia de una adecuada gestión del agua en relación al sistema agua – suelo – planta, generan graves riesgos sobre la calidad de suelos (Minhas et al., 2021) en diferentes regiones y países, y es evidente también en la zona de estudio, la aparición de problemas como la salinidad y la sodicidad no solo reduce la productividad, sino que limita la elección de cultivos que se puedan producir en estos suelos (Hailu & Mehari, 2021) así como también es sabido que los efectos del stress hídrico durante los periodos de desarrollo del cultivo son bien conocidos (Prasad et al., 2008; Zhao et al., 2020).

El estrés osmótico es provocado por el bajo potencial hídrico en el suelo y reduce los rendimientos de una amplia variedad de cultivos en el mundo y el

nivel de ácido abscísico (ABA) se incrementa, desencadenando el cierre estomático y el ajuste osmótico, entre otras respuestas (Bharath et al., 2021; Pantin et al., 2013; Hsu, 2021). Existen respuestas de las plantas a situaciones de estrés, como es la acumulación de solutos en las células, disminuyendo el potencial osmótico, para mantener un aceptable nivel de turgencia y distorsionando los valores del potencial hídrico (Bhattacharya & Bhattacharya, 2021). A esta respuesta, se le denomina ajuste osmótico (Munemasa et al., 2015), la cual es posible gracias a la síntesis de osmoreguladores, que son solutos compatibles con la actividad celular y que pueden acumularse en altos niveles, sin generar trastornos en el funcionamiento de éstas. Dentro de los osmoreguladores, podemos encontrar azúcares, alcoholes, compuestos amoniacales y aminoácidos (Ozturk et al., 2021). El ajuste osmótico mantiene el contenido celular de agua cuando se presenta una reducción en el potencial osmótico, como consecuencia de la acumulación de solutos orgánicos en el citoplasma y en la vacuola en situaciones de estrés por salinidad en el suelo (Chen & Jiang, 2010). Los solutos compatibles (osmolitos, citosolutos) son metabolitos hidrofílicos, entre los que se destacan azúcares (sacarosa y fructosa), aminoácidos (prolina y betaína), glicerol, manitol y otros metabolitos de bajo peso molecular (Arif et al., 2020). Los solutos compatibles no interfieren con el metabolismo normal de las células; se acumulan en el citoplasma y en la vacuola en altas concentraciones bajo condiciones de estrés osmótico (Ozturk et al., 2021), tienen un papel primario en el mantenimiento de la disminución del potencial osmótico en el citosol y están involucrados en la estabilidad de proteínas y estructuras celulares (Anjum et al., 2011; Fang & Xiong, 2015). La síntesis de ciertos metabolitos, como aminoácidos, azúcares solubles, polioles, poliaminas, fructanos y pigmentos (carotenoides, antocianos, betalainas) no interfiere en el metabolismo celular, juega un papel determinante en el mantenimiento de la turgencia celular. Estos metabolitos interactúan con lípidos y proteínas, previniendo posibles alteraciones de las membranas celulares y disociando complejos proteicos e inactivación de enzimas. Las plantas expuestas a altas concentraciones extracelulares de sales transportan iones a través de los sistemas selectivos de K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup> y de los no selectivos localizados en las membranas celular y vacuolar (Pottosin, & Dobrovinskaya, 2014).

La osmorregulación confiere a las plantas la capacidad de tolerar condiciones de escasez de agua y salinidad elevadas (Ozturk et al., 2021), con la expresión de mecanismos adaptativos que evitan la

disminución de la fotosíntesis, las alteraciones en la traslocación y la distribución de fotoasimilados y las pérdidas en rendimiento (Morales et al., 2020); hechos que tienen trascendencia significativa en el normal funcionamiento de la planta y en la productividad de los cultivos. Opazo et al. (2023) indica que el aguacate (palto) y la mandarina se clasificaron como especies con control estomático más estricto sobre el potencial hídrico, mientras que la granada, el higo y *Prunus* spp. mostró un menor control estomático. Estos resultados se pueden atribuir a la acumulación del aminoácido prolina (Bhattacharya, 2021). Y a partir de ellos, podemos sugerir que, bajo condiciones de estrés hídrico, el palto y la mandarina son capaces de desarrollar el mecanismo de ajuste osmótico para mantener su equilibrio interno.

El riego localizado o por goteo es el sistema más adecuado para cultivos frutales, ya que utilizan pequeños caudales a baja presión y alta frecuencia y no humedece la totalidad del suelo (Erazo-Mesa et al., 2021) aunque al inversión inicial siempre es de alta inversión, la misma que está ampliamente justificado por cuanto los rendimientos son buenos y altos, además que el equipo del sistema de riego por goteo podrá ser utilizado por varios años más sin volver a hacer el gasto inicial en equipo de riego. La raíz pivotante del cultivo de palto es corta y la mayor parte del sistema radicular de crecimiento horizontal se concentra en los primeros 50 cm de profundidad.

El estrés hídrico inevitablemente afecta los procesos fisiológicos que determinan el rendimiento (Seleiman et al., 2021), en ciertos casos se puede admitir pérdidas de rendimiento en el fruto más pequeños de palta y ahorro de agua con riego deficitarios (Cárceles Rodríguez et al., 2023). Al hacer la comparación del sistema de riego por goteo con el sistema de riego tradicional (por superficie) con relación al rendimiento se han encontrado diferencias sustantivas, por ello es que se planteó la realización del presente estudio, evaluando los rendimientos obtenidos en las plantas regadas de acuerdo a un programa de riego de acuerdo a la necesidad de agua por las plantas frente a los que disponían de agua solo cuando les tocaba el turno (de 30 a 60 días), cuyo objetivo fue cuantificar el rendimiento en función a un ajuste osmótico por sistema de riego tecnificado y riego a secado en área frutícola de la sierra del Perú.

## 2. Metodología

El trabajo de investigación se desarrolló en el distrito de Luricocha, provincia de Huanta, región Ayacucho

y república del Perú, a una latitud Sur: 12° 53' 57" y de longitud Oeste: 74° 16' 27" a 2680 m s.n.m. El estudio se realizó en 6 unidades de producción del distrito, en un espacio de 500 m<sup>2</sup> cada uno, tomados como repeticiones (Figura 1), organizado por comités de regantes y comisión de regantes, dedicados preferentemente al cultivo de palto en la región.

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial en bloque completamente al azar con dos niveles del factor riego (línea de riego por goteo en hilera de plantas en desarrollo versus riego por superficie tradicional) y dos niveles del factor variedad de palto (Hass y Fuerte) con 6 repeticiones por tratamiento, un total de 24 unidades experimentales.

La parcela estaba formada por 20 plantas en hilera con densidad de 5 m x 5 m, de las cuales se tomó como muestra para efectos de evaluación de rendimiento 6 plantas en hilera con sistema de riego por goteo en el siguiente orden: 3 plantas con la variedad Hass, 3 plantas con la variedad Fuerte y otras 6 plantas como testigo (3 de cada variedad) con riego tradicional por superficie (gravedad).

### Plantación, clima, suelos y agua de riego

Las plantas de palto ya instaladas en la zona de estudio fueron de la variedad Hass (70%) y la variedad Fuerte (30%) cuyas edades fluctúan de cinco a 16 años, plantadas a un distanciamiento promedio de 5 x 5 m, la parcela de estudio en promedio fue de 500 m<sup>2</sup>, considerándose para el estudio 12 plantas de palto: seis con riego por goteo (Hass y Fuerte) y seis con riego tradicional, por cada tratamiento.

La zona de estudio usualmente se caracteriza por una temperatura media histórica de 16 °C y una máxima de 26 °C, pero durante el 2020 hubo un mayor rango entre las temperaturas máximas y mínimas comparadas al año 2021 (Figura 2), y según la altitud observada la zona es libre de heladas, la precipitación total del 2020 fue de 319,5 mm y el 2021 de 368,4 mm. La humedad relativa fue más alta 73,8% y el rango durante las campañas en estudio fue de 50% a 80%.

Los suelos fueron del tipo aluvial, con horizontes A, de 15 a 20 cm de profundidad, un B de 20 a 40 cm. y un C de 40 a 75 cm, la textura de suelo fue de franco a franco arcilloso según resultado de análisis de suelo, con pH de 7,5 a 8,0 (medianamente alcalinos). Con respecto a la conductividad (CE) es normal y no existe restricción para ningún cultivo, el contenido de materia orgánica (MO) está en el nivel de bajo a alto, requiriendo siempre la incorporación de MO recomendable de 4 a 5 t/ha.

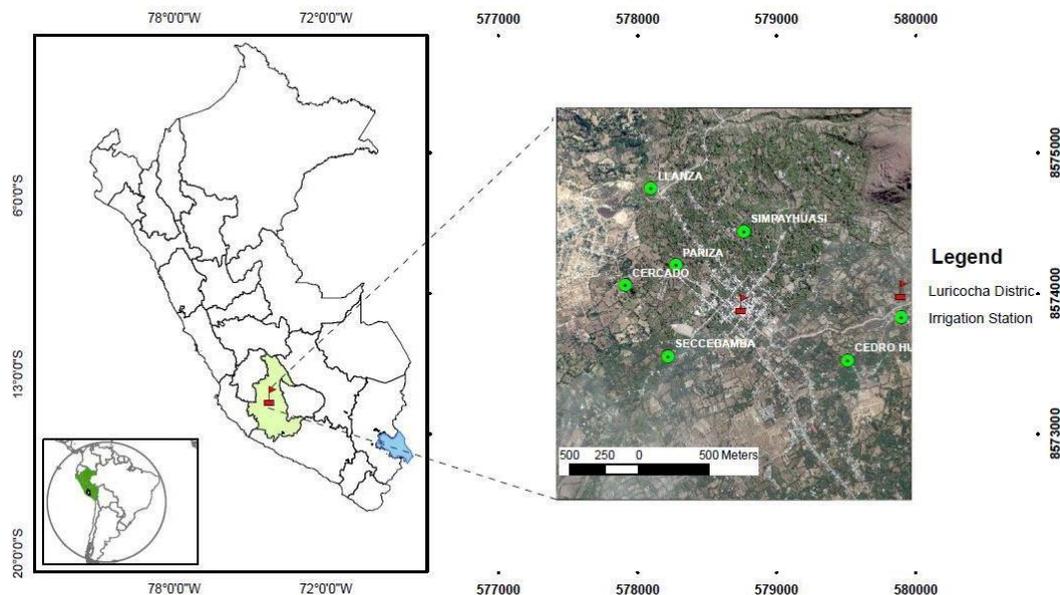


Figura 1. Localización de las parcelas experimentales en el distrito de Luricocha, provincia de Huanta, departamento de Ayacucho – Perú (Latitud: 12° 53' 57" S, Longitud: 74° 16' 55" O y altitud: 2596 m s.n.m.).

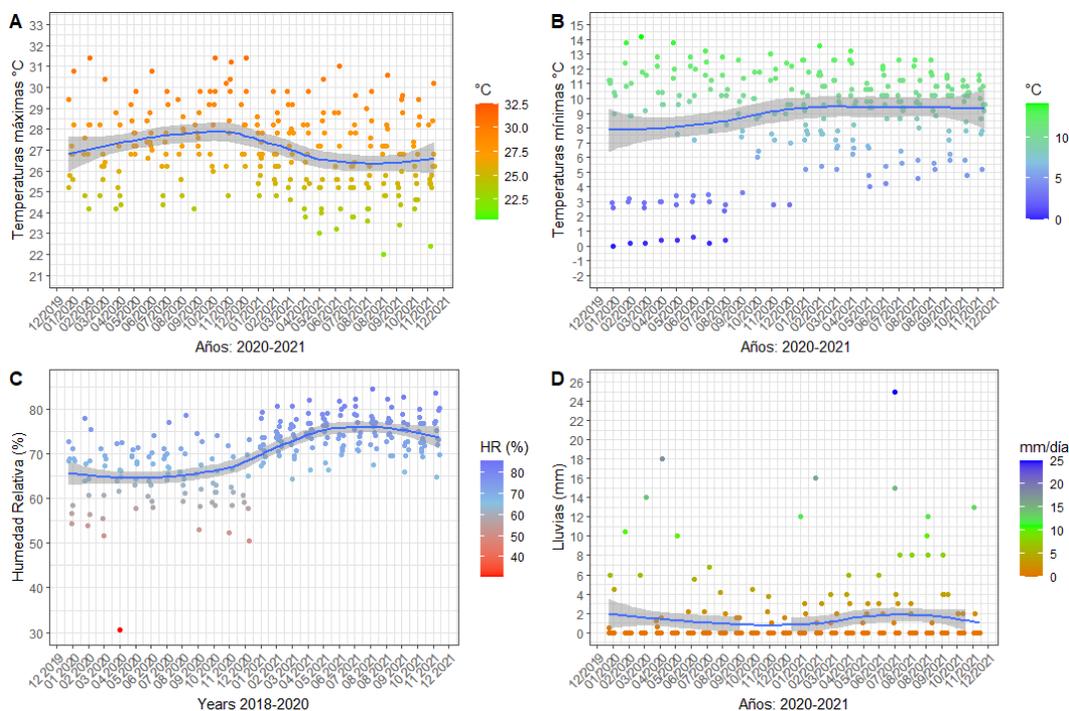


Figura 2. Condiciones meteorológicas (A: Temperaturas máximas, B: Temperaturas mínimas, C: Humedad Relativa y D: Precipitaciones) en el distrito de Luricocha, durante las campañas de estudio y conducción del experimento Datos de SENAMHI 2020-2021.

El agua de riego proviene del río Luricocha, las cuales fueron acumulados en tanques de 1500 litros, a fin de asegurar el riego óptimo según lo programado en el tiempo previsto, sobre todo a las plantas muestra en estudio a fin de que no le falte el agua en el momento oportuno y evitar el estrés hídrico que podría incidir en el rendimiento final y en cada lugar instalado de los seis comités de regantes.

Programación de Volumen aplicado en el riego: (a) Riego por goteo ( $m^3/ha$ ) y riego tradicional ( $m^3/ha$ ); (b) Relación: Rendimiento en  $kg/ha$  versus  $m^3/ha$ . El riego por goteo se programó cada 5 días en una lámina de 3,9 mm/día, con una frecuencia de riego de cada 5 días. Se aplicaron 487,5 L/planta, en las 3 plantas en estudio, por unidad experimental, con un total de 1462 litros. El abastecimiento se realizó

con un tanque de 1500 litros de agua disponible instalado a 2 m sobre el suelo, a fin de causar presión suficiente para el riego por goteo. El tendido de cinta se hizo en línea. Cerca de cada planta se instaló un gotero regulable rojo Q/70L/h económico, código 4079 de Megafusión agrícola, con salida de un caudal de 70 L/h, de tal modo que se usaba el agua necesaria para la planta durante 7 horas aproximadamente. Este riego fue realizado durante los 6 meses (etapa de floración a maduración y cosecha, de noviembre a abril). Los riegos fueron de manera complementaria en la época seca (no presencia de lluvias), siendo el riego por goteo de manera gradual cada 5 días y el riego convencional por gravedad una vez al mes por turno de riego que le tocaba a la parcela.

### 3. Resultados y discusión

Las variedades de palta (Hass y Fuerte) evaluadas tanto con sistema de riego tecnificado y riego convencional (Gravedad), mostraron diferencias altamente significativas en cuanto al rendimiento y productividad (Figura 3) de los frutos de palta. El riego por goteo brindó el mayor rendimiento ( $67,96 \pm 8,8$  t/ha), comparado al riego por gravedad o convencional ( $26,42 \pm 4,93$  t/ha), esa disminución del potencial de rendimiento (Figura 3 A), es debido a la acumulación de estrés hídrico reiterado en el riego convencional, producto del ajuste osmótico en el cultivo de palto y fue observado en ambas variedades (Figura 3 C). La variabilidad para todos los tratamientos fue muy similar en cuanto a la evaluación del rendimiento (Figura 3 D). Por otra parte, los rendimientos expresados en diagrama de cajas para cada parcela de agricultor (considerados bloques en el análisis) (Figura 4), muestran una tendencia muy similar para los seis agricultores las cuales también podemos observar en la Tabla 1. La parcela con los mayores rendimientos fue la del agricultor Nahum M., cuyos árboles de palto fueron los de mayor edad (12 a 16 años). Si observamos la variabilidad en el rendimiento de los árboles de palto en cuando a su edad, las plantas de 12 años tienen mayor variabilidad y son los de mayor producción

(Figura 5), y las plantas con riego por goteo en general también tienen mayor variabilidad como se aprecian las cajas rojas en la Figura 4 y 5.

En cuanto a los sistemas de riego, se observó una variabilidad baja y menores rendimientos con el riego convencional complementario (Figura 6), esto con análisis de componentes principales de las cosechas sucesivas realizadas en las parcelas, logrando explicar 97,6% de la variabilidad con las dos primeras dimensiones del análisis (Dim 1: 90,8% y Dim 2: 5,9%), observándose dos "cluster" o grupos marcadamente separados. Este mismo análisis multivariado las variedades de palta no logran formar un grupo completamente superado, observándose un traslape entre los individuos evaluados en palta Fuerte y Hass (Figura 7). La cantidad de agua adicional (durante los meses de época seca) de riego en el sistema por goteo fue de  $8367 \text{ m}^3/\text{ha}$  y el riego convencional complementario por gravedad fue de  $2964 \text{ m}^3/\text{ha}$  aproximadamente. Cabe indicar que los riegos por goteo tuvieron una frecuencia de 3-5 días entre riego y riego y para el sistema de riego convencional una vez al mes. La cantidad de volumen de riego en sistema por goteo fue de  $139,45 \text{ m}^3/\text{ha}$  en cada riego y para el convencional o gravedad  $449 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

La demanda hídrica convencional en un cultivo de palto fluctúa entre  $7000$  a  $12000 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$  (Zarate et al., 2014) y la ETo referencial para las zonas altas puede llegar a  $1700 \text{ mm}/\text{ha}/\text{año}$ . Por otra parte, la precipitación histórica en Huanta esta fluctuando de  $500$  a  $800 \text{ mm}$ , pero para los años de 2020 y 2021 en Luricocha solo se registraron precipitaciones totales al año menores a  $400 \text{ mm}$ , por lo cual una aplicación de riego por goteo con mayor frecuencia que el riego convencional incrementa enormemente el potencial productivo de estas variedades de palta Fuerte (156,9%) y Hass (157,5%) con respecto al riego por gravedad. Las programaciones de riego mensual en ambos sistemas de riego complementario sumados en total bajo riego por goteo van sufriendo un mayor volumen acumulado durante el mes y fraccionado en volúmenes menores, pero con mayor frecuencia que el riego solo una vez por mes en el caso del convencional (Figura 8).

Tabla 1

Promedios de producción en fundo de beneficiarios de las paltas Fuerte y Hass y los sistemas de riego de goteo y gravedad

Nombres	Fuerte		Hass		Altitud (m s.n.m.)
	Got.	Grav.	Got.	Grav.	
Luis J.	68,8	23,3	64,4	21,6	2590
Teófila A.	66,8	33,6	64,4	29,3	2542
María A.	70,3	32,5	65,7	28,8	2577
Nahum M.	84,0	26,4	79,1	28,9	2636
Lidia T.	75,6	30,4	60,7	24,4	2656
William C.	61,1	19,7	54,7	18,0	2577

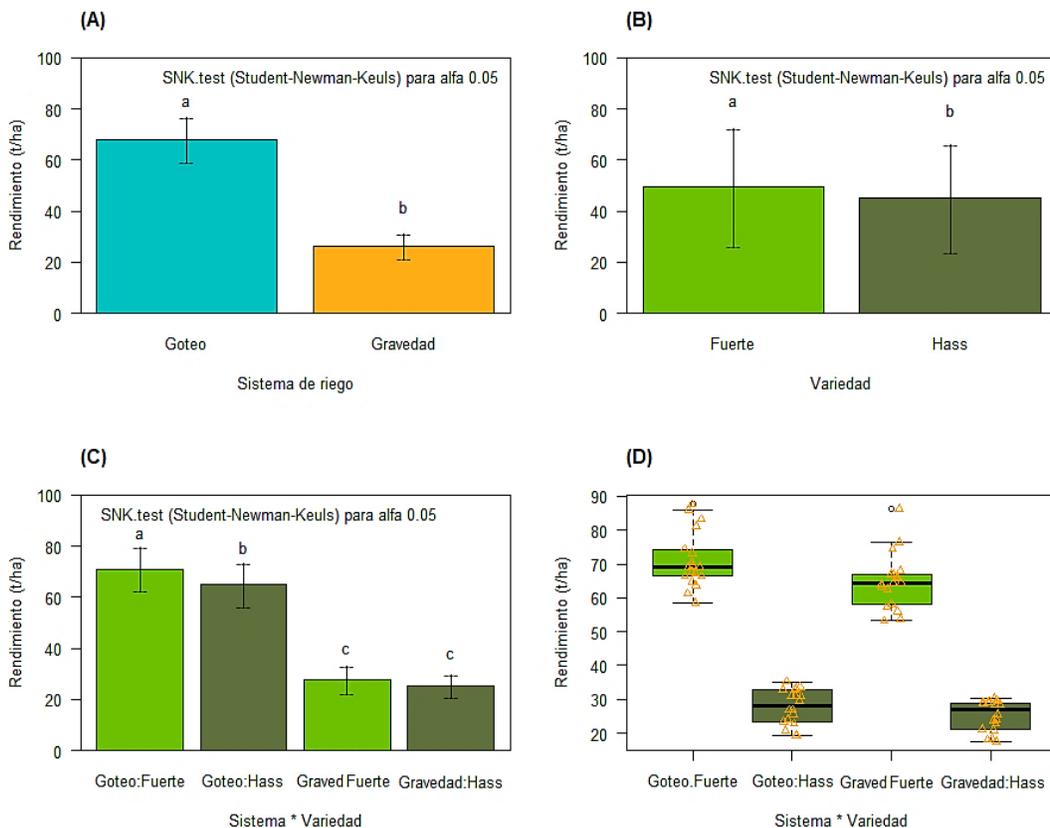


Figura 3. Comparación de medias SNK.test para el rendimiento de los sistemas de riego por goteo y gravedad (A), rendimiento de las variedades de Hass y Fuerte (B), todos los tratamientos (C) y la gráfica de diagrama de cajas en todos los tratamientos (D).

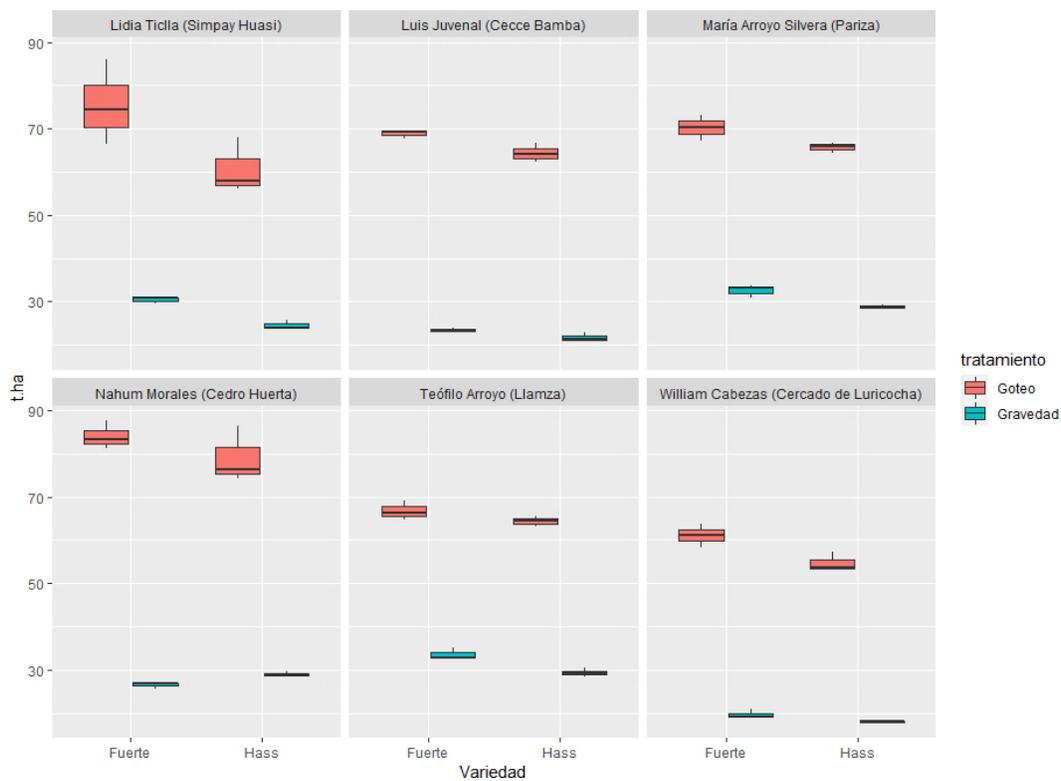


Figura 4. Diagrama de cajas para el rendimiento del cultivo de palta con las variedades de Fuerte y Hass para dos sistemas de riego, en las seis parcelas de agricultores.

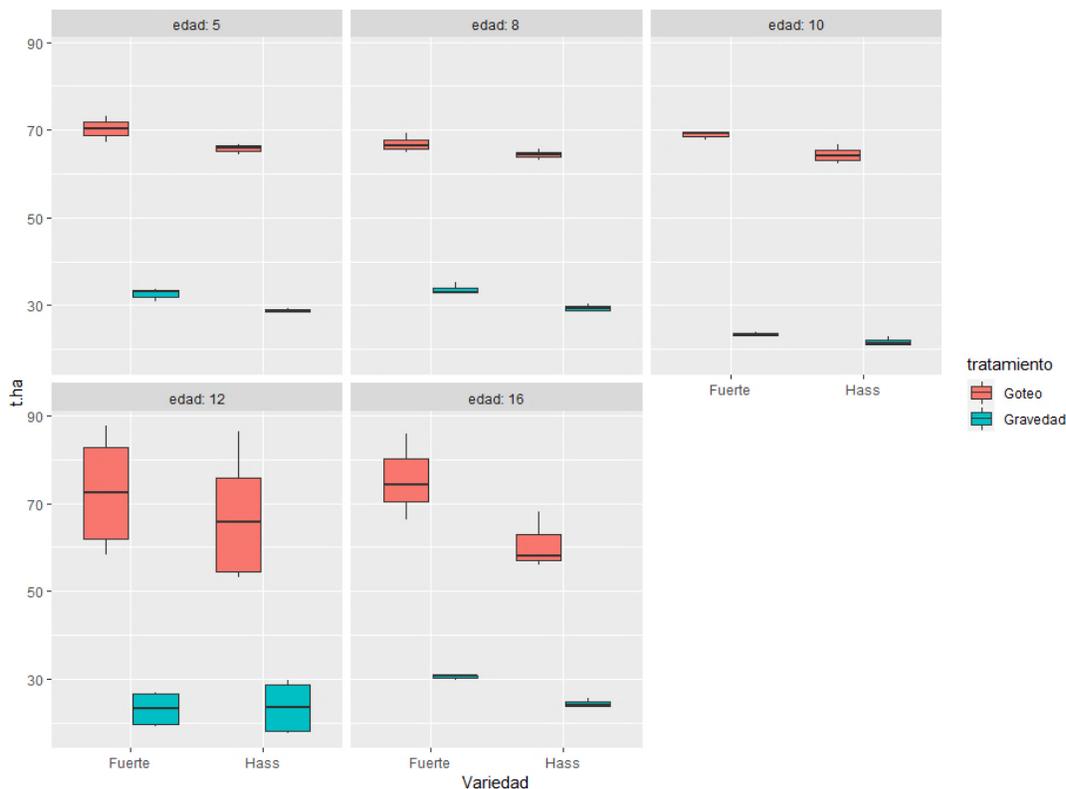


Figura 5. Diagrama de cajas para el rendimiento del cultivo de palta con las variedades de Fuerte y Hass para dos sistemas de riego (goteo y gravedad), con las cinco edades de árboles de palta.

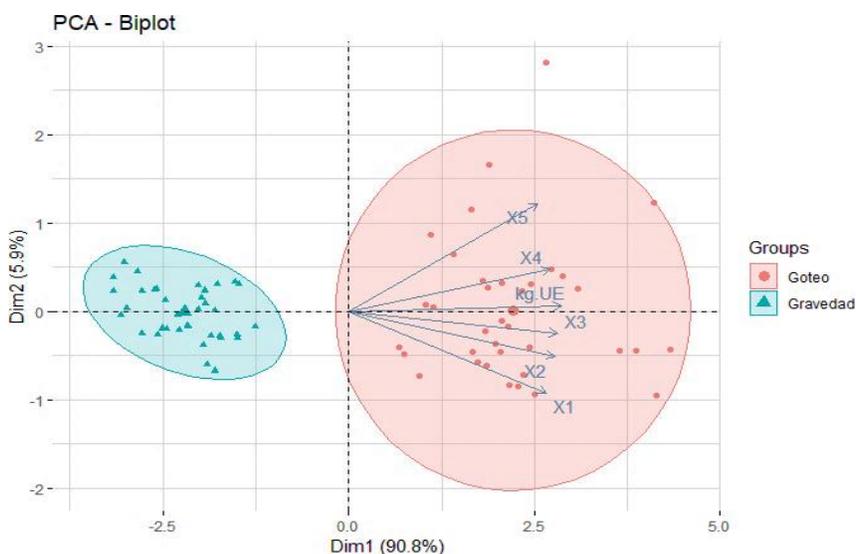


Figura 6. Análisis de componentes principales en Biplot para las cosechas realizadas de palta en los dos sistemas de riego.

El recurso hídrico en la zona es bastante escaso, por lo mismo el objetivo del presente estudio fue el de maximizar el recurso hídrico disponible, con una eficiencia de riego alta, realizando un buen uso, manejo del agua de riego y la consecuente utilización de un programa de riego para el cultivo en la zona de estudio, considerando parámetros climáticos

que nos garanticen satisfacer la demanda exacta de agua de riego para el cultivo de palta en las zonas andina del Perú con alta radiación y altas tasas de ETo referencial para el cultivo y poca retención de humedad en muchos suelos agrícolas con capa arable reducido y topografía irregular.

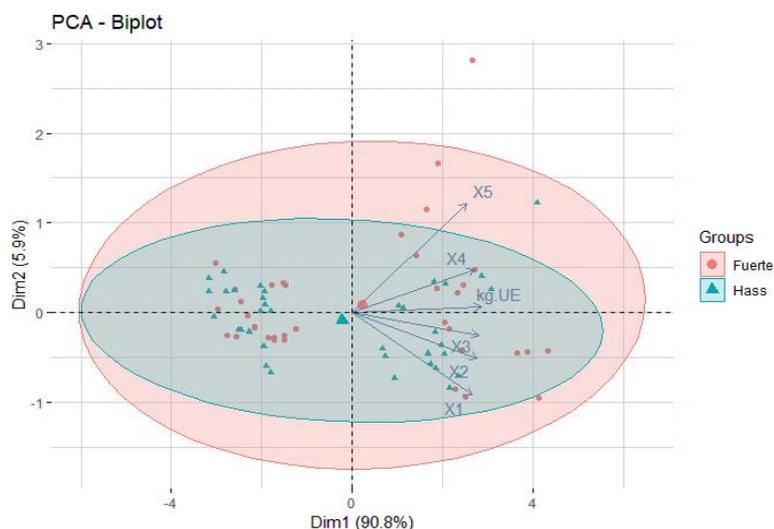


Figura 7. Análisis de componentes principales en Biplot para las cosechas realizadas de palto para las dos variedades.

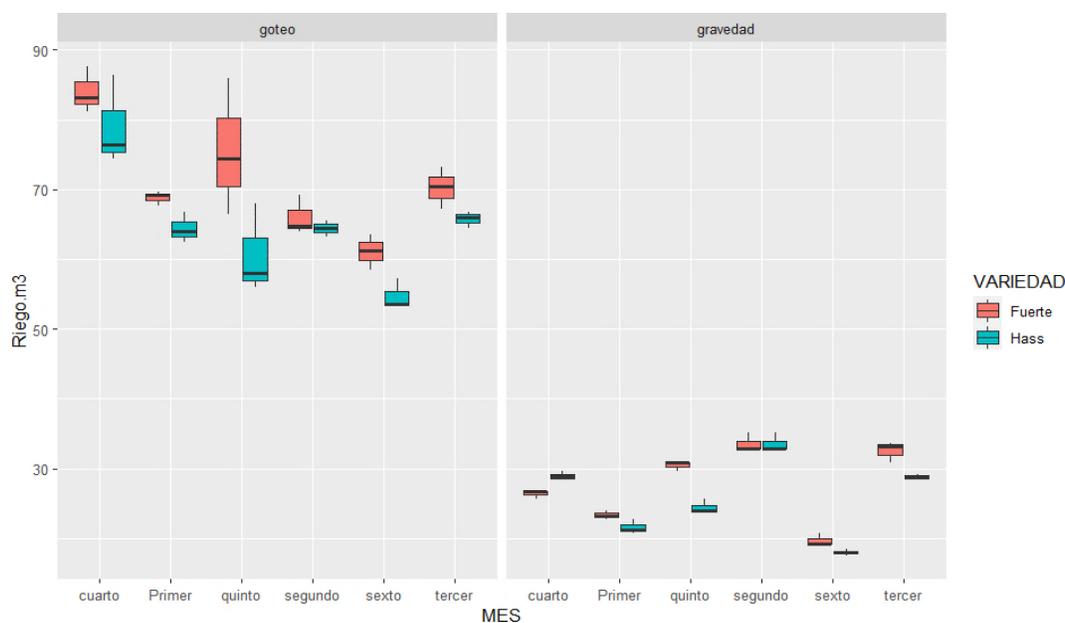


Figura 8. Totales de riego complementario aplicado (m<sup>3</sup>/mes/ha) en ambos sistemas durante la época seca en ausencia de lluvias.

Con respecto al experimento del rendimiento de palto con sistema de riego tecnificado, finalmente se ha podido deducir que bajo ciertas circunstancias, la aspersión y microaspersión podrían mejorar el almacenamiento y la calidad de la fruta para el mercado, sin embargo, con el riego por goteo nos permite obtener con seguridad mayores rendimientos y una mayor eficiencia en el uso del agua, en comparación con otros sistemas, las plantas regadas por microaspersión requieren un 130% más de agua que las regadas por goteo (Pannunzio et al., 2011). Los resultados hallados, contribuyen a mejorar el manejo del riego por goteo, con el objetivo

de mantener un alto nivel de productividad y producción, siendo importante considerar estos aspectos como requisitos básicos para el logro de un agroecosistema productivo orientado a obtener mejores ingresos económico para el productor.

#### 4. Conclusiones

Se encontró que es conveniente regar con sistema de riego localizado por goteo, siendo favorable para la producción, maximiza el uso del agua y alta eficiencia. Este sistema evita que la planta tenga estrés hídrico que afecte su rendimiento final. Se obtuvieron altos rendimientos (más del 200%) en

comparación con riego por superficie, lo que favorecería económicamente al productor de palto. Estudios futuros podrían buscar umbrales de riego y ajuste osmótico en función a la evapotranspiración del cultivo, que permita determinar un uso eficiente de agua para cada caso. También es importante determinar los límites permisibles para riegos deficitarios, que no mermen significativamente los rendimientos del cultivo.

#### Contribución de los autores

Conceptualización: I.N.A.B., J.Q.R., T.C.P.M. y D.S.N.; Curación de datos: D.S.N.; Análisis formal: D.S.N.; Adquisición de financiación: I.N.A.B., J.Q.R. y T.C.P.M.; Investigación: I.N.A.B., J.Q.R. y T.C.P.M.; Metodología: I.N.A.B., J.Q.R. y T.C.P.M.; Administración de proyecto: J.Q.R. y T.C.P.M. Recursos: J.Q.R. y T.C.P.M.; Software: D.S.N.; Supervisión: J.Q.R. y T.C.P.M.; Validación: I.N.A.B., J.Q.R. y T.C.P.M.; Visualización: D.S.N.; Escritura – borrador original: D.S.N.; Escritura – revisión y edición: D.S.N.

#### ORCID

J. Quispe-Rodriguez  <https://orcid.org/0000-0003-1767-686X>  
 T. C. Paytan-Montañez  <https://orcid.org/0000-0001-9199-2241>  
 I. N. Aliaga Barrera  <https://orcid.org/0000-0002-1478-1886>  
 D. Saravia-Navarro  <http://orcid.org/0000-0003-3136-220X>

#### Referencias bibliográficas

- Anjum, S. A., Xie, X., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African journal of agricultural research*, 6(9), 2026-2032. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.027>
- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 16, 64-77. doi:10.1016/j.plaphy.2020.08.042
- Bayu, T., Kim, H., & Oki, T. (2020). Water governance contribution to water and sanitation access equality in developing countries. *Water Resources Research*, 56(4), e2019WR025330. <https://doi.org/10.1029/2019WR025330>
- Bharath, P., Gahir, S., & Raghavendra, A. S. (2021). Abscisic acid-induced stomatal closure: An important component of plant defense against abiotic and biotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 12, 615114. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.615114>
- Bhattacharya, A. (2021). Mineral nutrition of plants under soil water deficit condition: A Review. In: Soil water deficit and physiological issues in plants. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-33-6276-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-33-6276-5_4)
- Campbell, B. M., Vermeulen, S. J., Aggarwal, P. K., Corner-Dolloff, C., Girvetz, E., et al. (2016). Reducing risks to food security from climate change. *Global Food Security*, 11, 34-43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.06.002>
- Cárceles Rodríguez, B., Durán Zuazo, V. H., Franco Tarifa, D., Cuadros Tavira, S., Sacristan, P. C., & García-Tejero, I. F. (2023). Irrigation alternatives for avocado (*Persea americana* Mill.) in the Mediterranean subtropical region in the context of climate change: A review. *Agriculture*, 13(5), 1049. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051049>
- Carr, M. K. V. (2012). The water relations and irrigation requirements of citrus (*Citrus* spp.): A review. *Experimental agriculture*, 48(3), 347-377. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479712000038>
- Chen, H., & Jiang, J.-G. (2010). Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. *Environmental Reviews*, 18, 309-319. doi:10.1139/a10-014
- Delatorre-Herrera, J., Arena, J., Delatorre-Castillo, J., & Carevic, F. (2021). Uso eficiente del agua de tres especies (Quinoa, Aloe y Prosopis) y estrategias de riego deficitario. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Montevideo 11200, Uruguay.
- D'Oodorico, P., Chiarelli, D. D., Rosa, L., Bini, A., Zilberman, D., & Rulli, M. C. (2020). The global value of water in agriculture. *Proceedings of the national academy of sciences*, 117(36), 21985-21993. <https://doi.org/10.1073/pnas.2005835117>
- Erazo-Mesa, E., Ramírez-Gil, J. G., & Sánchez, A. E. (2021). Avocado cv. Hass needs water irrigation in tropical precipitation regime: Evidence from Colombia. *Water*, 13(14), 1942. <https://doi.org/10.3390/w13141942>
- Fang, Y., & Xiong, L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and molecular life sciences*, 72, 673-689. <https://doi.org/10.1007/s00018-014-1767-0>
- Hailu, B., & Mehari, H. (2021). Impacts of soil salinity/sodicity on soil-water relations and plant growth in dry land areas: A review. *J. Nat. Sci. Res*, 12, 1-10. <https://doi.org/10.7176/JNSR/12-3-01>
- Hsu, P. K., Dubeaux, G., Takahashi, Y., & Schroeder, J. I. (2021). Signaling mechanisms in abscisic acid-mediated stomatal closure. *The Plant Journal*, 105(2), 307-321. <https://doi.org/10.1111/tpj.15067>
- Lee, M., Kim, H., Lee, J. Y., Yang, J. E., & Lim, C. (2022). A shift towards integrated and adaptive water management in South Korea: Building resilience against climate change. *Water Resources Management*, 36(5), 1611-1625. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03071-x>
- Mekonnen, M. M., Pahlow, M., Aldaya, M. M., Zarate, E., & Hoekstra, A. Y. (2015). Sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution in Latin America and the Caribbean. *Sustainability*, 7(2), 2086-2112. <https://doi.org/10.3390/su7022086>
- Minhas, P. S., & Bajwa, M. S. (2021). Use and management of poor quality waters for the rice-wheat based production system. In The Rice-Wheat Cropping System of South Asia (pp. 273-306). CRC Press.
- Morales, F., Ancín, M., Fakhret, D., González-Torralba, J., Gámez, A. L., et al. (2020). Photosynthetic metabolism under stressful growth conditions as a bases for crop breeding and yield improvement. *Plants*, 9(1), 88. <https://doi.org/10.3390/plants9010088>
- Munemasa, S., Hauser, F., Park, J., Waadt, R., Brandt, B., & Schroeder, J. I. (2015). Mechanisms of abscisic acid-mediated control of stomatal aperture. *Current opinion in plant biology*, 28, 154-162. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2015.10.010>
- Opazo, I., Pimentel, P., Salvatierra, A., Ortiz M., Toro, G., & Garrido-Salinas, M. (2024). Water stress tolerance is coordinated with water use capacity and growth under water deficit across six fruit tree species. *Irrigation Science*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s00271-024-00915-9>
- Ozturk, M., Turkyilmaz Unal, B., Garcia-Caparrós, P., Khursheed, A., Gul, A., & Hasanuzzaman, M. (2021). Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. *Physiologia plantarum*, 172(2), 1321-1335. <https://doi.org/10.1111/ppl.13297>
- Pannunzio, A., Vilella, F., Texeira, P., & Premuzik, Z. (2011). Impacto de los sistemas de riego por goteo en arándanos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 03-08. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000100001>
- Pantin, F., Monnet, F., Jannaud, D., Costa, J. M., Renaud, J., et al. (2013). The dual effect of abscisic acid on stomata. *New Phytologist*, 197(1), 65-72. <https://doi.org/10.1111/nph.12013>
- Patané, C., & Cosentino, S. L. (2010). Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. *Agricultural water management*, 97(1), 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.021>
- Pottosin, I., & Dobrovinskaya, O. (2014). Non-selective cation channels in plasma and vacuolar membranes and their

- contribution to K<sup>+</sup> transport. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 732-742. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.11.013>
- Prasad, P. V. V., Staggenborg, S. A., & Ristic, Z. (2008). Impacts of drought and/or heat stress on physiological, developmental, growth, and yield processes of crop plants. In: Response of crops to limited water: Understanding and modeling water stress effects on plant growth processes. Chapter 11: 301-355. <https://doi.org/10.2134/advagricsystmodel1.c11>
- Ringler, C., Bhaduri, A., & Lawford, R. (2013). The nexus across water, energy, land and food (WELF): potential for improved resource use efficiency? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(6), 617-624. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.002>
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
- Zarate, E., Aldaya, M., Chico, D., Pahlow, M., Flachsbarth, I., et al. (2014). Water and agriculture. Water for Food and Wellbeing in Latin America and the Caribbean. Social and Environmental Implications for a Globalized Economy, 177-212.
- Zhao, W., Liu, L., Shen, Q., Yang, J., Han, X., Tian, F., & Wu, J. (2020). Effects of water stress on photosynthesis, yield, and water use efficiency in winter wheat. *Water*, 12(8), 2127. <https://doi.org/10.3390/w12082127>
- Zhu, J., Xu, N., Siddique, K. H., Zhang, Z., & Niu, W. (2022). Aerated drip irrigation improves water and nitrogen uptake efficiencies of tomato roots with associated changes in the antioxidant system. *Scientia Horticulturae*, 306, 111471. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111471>