

Estrés hídrico en el crecimiento y rendimiento de cultivares comerciales de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la región centro del Perú

Water stress in commercial potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in the central region of Peru

Emmanuel Perez¹, Robert Rafael-Rutte^{2,*} y Gustavo Osorio³

Resumen

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo de gran importancia a nivel mundial debido a su alto valor nutricional y a su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas. En Perú es uno de los principales cultivos en términos de producción y consumo, siendo Junín uno de los departamentos de mayor producción. El objetivo del trabajo de investigación fue evaluar el efecto del estrés hídrico en el crecimiento y rendimiento de cultivares comerciales de papa. Se evaluaron cuatro frecuencias de riego (capacidad de campo, cada 7, 14 y 21 días) y cinco cultivares comerciales de papa (Canchán, Yungay, Wankita, Serranita y Shulay), distribuidos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 5x4, con cinco repeticiones. Se instaló bajo condiciones de invernadero y se evaluaron siete variables (emergencia de plantas, altura de plantas, número de tallos, número y peso de tubérculos, tasa de transpiración y materia seca). Los resultados mostraron diferencias estadísticas en todas las variables evaluadas. Se encontró que el cultivar Canchán con frecuencia de riego cada 21 días fue más tolerante a la sequía con una tasa promedio de 0.69 ml, el límite permisible de riego como máximo en invernadero es cada 14 días. Se observó mayor número de tubérculos en el cultivar Wankita con 29.8 ante un estrés de sequía de 14 días. El mayor peso de tubérculos se obtuvo con el cultivar Yungay a capacidad de campo con 0.438 Kg por planta. Se concluye que el estrés hídrico influye en el crecimiento y producción de papa.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, sequía, cultivar, riego, frecuencia, papa.

Abstract

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is a crop of great importance worldwide due to its high nutritional value and its adaptability to different climatic conditions. In Peru, it is one of the main crops in terms of production and consumption, with Junín being one of the departments with the highest production. The aim of this research was to evaluate the effect of water stress on the growth and yield of commercial potato cultivars. Four irrigation frequencies (field capacity, every 7, 14 and 21 days) and five commercial potato cultivars (Canchán, Yungay, Wankita, Serranita and Shulay) were evaluated, distributed in a completely randomized design with a 5x4 factorial arrangement, with five replications. It was installed under greenhouse conditions and seven variables (plant emergence, plant height, number of stems, number and weight of tubers, transpiration rate and dry matter) were evaluated. The results showed statistical differences in all the variables evaluated. It was found that the Canchán cultivar with irrigation frequency every 21 days was more tolerant to drought with an average rate of 0.69 ml, the maximum permissible irrigation limit in greenhouse is every 14 days. The highest number of tubers was observed in the Wankita cultivar with 29.8 tubers under a drought stress of 14 days.

The highest tuber weight was obtained with the Yungay cultivar at field capacity with 0.438 kg per plant. It is concluded that water stress influences potato growth and production.

Key words: *Solanum tuberosum*, drought, cultivar, irrigation, frequency, potato.

Recibido: 24/10/2023

Aceptado: 17/01/2024

Publicado: 31/01/2024

Sección: Artículo original

***Autor correspondiente:** [rrafaell@untels.edu.pe](mailto:rrafael@untels.edu.pe)

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo de gran importancia a nivel mundial por su alto valor nutricional, su contribución a la seguridad alimentaria, a la economía y al bienestar social en contextos futuros de cambio climático (Aksoy et al., 2021). Se trata del cuarto cultivo alimenticio más relevante, después del trigo, arroz y maíz. Más de mil millones de personas dependen de ella como fuente principal de calorías y nutrientes, especialmente en los países en desarrollo (FAOSTAT, 2020).

En Perú es uno de los principales cultivos transitorios en términos de producción y consumo, siendo Puno, Huánuco, Cusco, Cajamarca, Huancavelica

y Junín los departamentos de mayor producción. La superficie cosechada alcanza las 330,790 hectáreas de cultivos y la producción del tubérculo se concentra en un 90% en sierra y aproximadamente el 60% de estas

¹ Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Agronomía, Av. Mariscal Castilla N° 390. El Tambo, Huancayo, Perú. ORCID <https://orcid.org/0009-0007-3806-2791>

² Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Facultad de Ingeniería y Gestión, Sector 3 Grupo 1A 03 (Av. Central y Av. Bolívar) Villa El Salvador C.P. 15834, Lima, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2411-0223>

³ Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Agronomía, Av. Mariscal Castilla N° 390. El Tambo, Huancayo, Perú. ORCID <https://orcid.org/0009-0004-3520-393X>

Como citar: Perez, E., Rafael Rutte, R. R., & Osorio, G. (2024). Estrés hídrico en el crecimiento y rendimiento de cultivares comerciales de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la región centro del Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 26(1), 46-55. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.587>



áreas son secas (MIDAGRI, 2023). En la actualidad, uno de los grandes problemas que viene afectando al cultivo de papa es el cambio climático que ha generado cambios de temperatura, exceso o escasez de agua y la aparición de diversas plagas y enfermedades que afectan su producción en las diferentes regiones (Raymundo et al., 2018). Es así que el área sembrada de papa, entre julio de 2022 y febrero de 2023, alcanzó las 259,300 hectáreas, equivalente a una reducción de 11.5%, en relación al promedio de las últimas cinco campañas agrícolas (MIDAGRI, 2023). El riego en el cultivo de papa es fundamental porque participa en varios procesos fisiológicos y metabólicos, como la fotosíntesis, absorción y transporte de nutrientes y crecimiento de tejidos que son esenciales para la producción y calidad de tubérculos (Nasir & Toth, 2022). A pesar de su amplia distribución, la papa cultivada es sensible a la sequía y su rendimiento es afectado por el cambio climático y por la escasa variabilidad de su actual base genética (Raymundo et al., 2018). Entre los factores importantes, la escasez de agua dulce para riego ocasiona reducción de los rendimientos de papa (Handayani et al., 2019). Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar el

efecto de estrés hídrico en el crecimiento y rendimiento de cultivares comerciales de papa en la región centro del Perú.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el invernadero del Programa Nacional de Investigación en Raíces y Tuberosas (PNIRyT) de la Estación Experimental Agraria Santa Ana del Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, ubicado en el distrito El Tambo, provincia de Huancayo y departamento de Junín (Latitud Sur 12°00'50" del Ecuador y Longitud Oeste 75°13'11" del Meridiano de Greenwich) a una altitud de 3260 msnm.

Material genético

Se evaluaron cinco cultivares de papa Yungay, Shulay INIA 326, Serranita INIA 303, Wankita INIA 313 y Canchan INIA 303, todos provenientes de la Estación Experimental Agraria Santa Ana- Huancayo del INIA. Los tubérculos semilla fueron de tamaño uniforme y se usaron 25 tubérculos por cada cultivar (Figura 1).

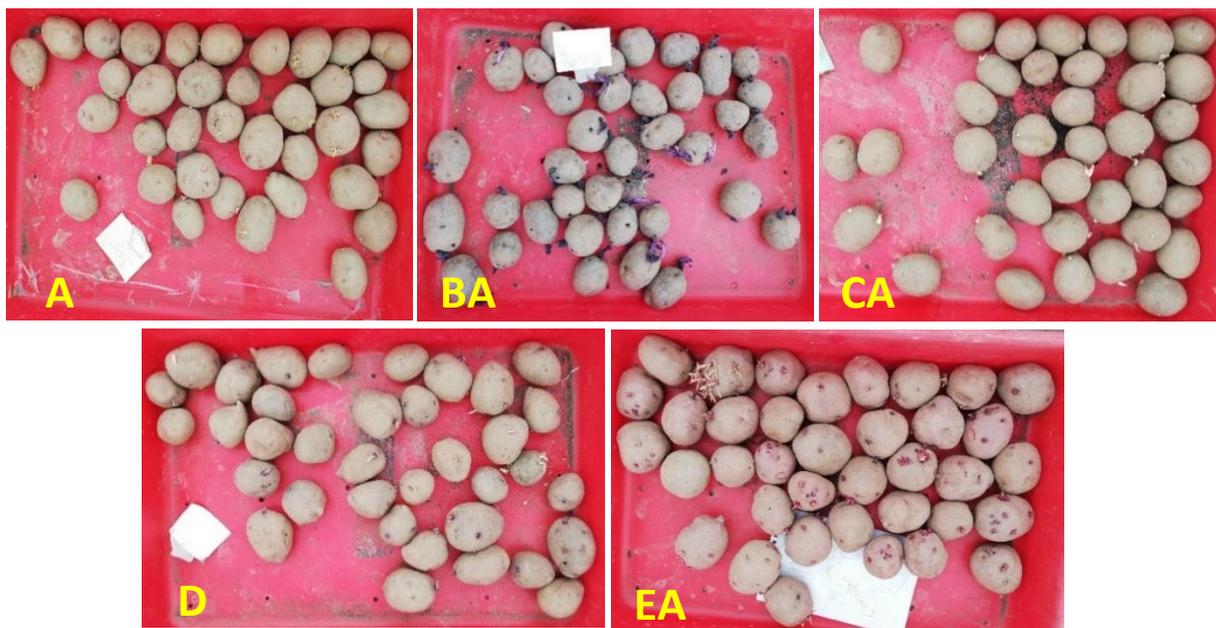


Figura 1. Cultivares de papa Yungay (A), Serranita (B), Shulay (C), Wankita (D) y Canchan (E).

Características químicas del sustrato y parámetros ambientales del invernadero

Antes de la instalación, los parámetros químicos del sustrato fueron analizados en el laboratorio del departamento de suelos de la Estación Experimental

Agraria Santa Ana- Huancayo del INIA. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1.

Dentro del invernadero, con la ayuda del instrumento "HOBO", se midió mensualmente la temperatura y la humedad relativa (Tabla 2).

Tabla 1. Análisis químico del sustrato usado en el experimento

pH	Disponibilidad de nutrientes					Textura			Tipo suelo
	MO (%)	P (ppm)	K (ppm)	Al (me/100 gr)	N (%)	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	
5,3	6,3	6,66	348,92	0,25	0,31	48	22,2	29,8	Franco

Fuente: Laboratorio del departamento de suelos de la EEA Santa Ana, Huancayo del INIA.

Tabla 2. Temperatura (°C) y humedad relativa (HR) mensual dentro del invernadero

	T (°C)								
	2021				2022				
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	
Min	3,62	5,00	5,21	5,72	4,92	8,07	6,03	4,79	
Max	33,78	39,26	39,09	41,74	39,15	36,44	33,37	34,20	
\bar{x}	14,63	16,76	16,32	17,12	16,12	15,75	15,92	15,75	
	HR (%)								
	Min	17,58	9,20	13,63	10,40	13,13	21,88	18,95	16,83
	Max	87,55	87,75	91,78	92,00	92,68	92,83	97,43	89,50
	\bar{x}	58,12	55,52	61,68	60,51	63,77	68,01	66,99	60,94

Fuente: Estación Meteorológica de la EEA Santa Ana, Huancayo del INIA.

Tratamientos en estudio

Se utilizó un diseño completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial de 5x4, con 20 tratamientos provenientes de la interacción cultivar (A) (Yungay, Canchan, Wankita, Serranita y Shulay) y frecuencia de riego (B) (capacidad de campo (Cc), cada 7 días (c7d), cada 14 días (c14d) y cada 21 días (c21d)) y cinco repeticiones por tratamiento. Por cada tratamiento se evaluó nueve muestras.

Variables evaluadas

Las variables agronómicas evaluadas fueron: emergencia en días del número de plantas, altura de planta (cm) a los 45 y 60 días después de la siembra (dds), número de tallos por planta a los 45 dds, número de tubérculos en la etapa de senescencia, peso de

tubérculos (g), materia seca (g) y tasa de transpiración (ml), medición que se realizó con el equipo TARGAS-1 Portable Photosynthesis System (Figura 2) de acuerdo a las frecuencias de riego un día antes de recibir el riego y la otra medición al día siguiente después realizar el riego.

Análisis estadístico

Se realizó el Análisis de Variancia (ANVA) para la comparación de medias y la prueba de Duncan para la comparación múltiple, mediante el programa estadístico SPSS ® V.28, con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0,05$). Previo al análisis de variancia, los datos originales de emergencia del número de plantas, número de tallos y número de tubérculos fueron transformados utilizando la transformación raíz cuadrada de X (\sqrt{x}).



Figura 2. Medición de la transpiración con el equipo TARGAS-1 Portable Photosynthesis System en papa antes (A) y después de riego (B).

Resultados y discusión

Días de emergencia de las plantas

Los resultados de días de emergencia muestran que hubo diferencias significativas entre cultivares e interacciones cultivar*frecuencia de riego. Para cultivares, Shulay emergió a los 19 días, superando estadísticamente a los demás, mientras que, en las frecuencias de riego, no existió significación estadística entre ellos (Tabla 3).

Para la interacción cultivar*frecuencia de riego, en la Tabla 3 se observa que la mejor respuesta correspondió a los tratamientos T18, T19 y T20 (cultivar Shulay con frecuencias de riego a los 7d, 14d y 21d) que emergieron a los 17 y 18 días en promedio, en comparación con los otros tratamientos. Este resultado se debe a las características genéticas del cultivar de papa Shulay, es un genotipo precoz y a la presencia de sus brotes vigorosos (MIDAGRI, 2017) y a la humedad del sustrato, que aceleraron el brotamiento y emergencia de la planta. El agua es esencial para las etapas de desarrollo de la papa, entre ellas para la elongación de brotes y el desarrollo de las raíces. A medida que los brotes crecen, buscan la superficie para emerger y desarrollar hojas. Las raíces se extienden para buscar agua y nutrientes en el suelo (Obidiegwu et al., 2015; Zwieniecki et al., 2002). Esta variación en los días de emergencia, también, se debe a que esta fase fenológica depende de la variedad, de las condiciones de almacenamiento, de la madurez del tubérculo-semilla y de las propiedades físicas del sustrato como retención de agua (Asnake et al., 2023; Ebraim et al., 2018). Los demás tratamientos igualmente emergieron entre los 21 y 26 días porque los tubérculos madre tienen reservas nutritivas y humedad (Ebraim et al., 2018).

Altura de planta

En relación a la altura de planta existió diferencias significativas entre cultivares, frecuencias de riego y las interacciones cultivar*frecuencia de riego (Tabla 3). Se observó altos promedios de altura en los cultivares Wankita y Shulay con altura de 0,97 m y 0,93 m, respectivamente. En frecuencia de riego la mayor altura fue a capacidad de campo con 1,05m.

En las interacciones cultivar*frecuencia de riego, la mejor respuesta correspondió al tratamiento T9 (Wankita + capacidad de campo) que alcanzó una altura promedio de 1,17 m, seguido de los tratamientos T17, T5 y T13 que alcanzaron alturas entre 1,02 m y

1,03 m, respectivamente (Tabla 3), valores que fueron estadísticamente diferentes al resto de los tratamientos. Los menores valores fueron para los tratamientos T4, T16 y T8 que alcanzaron una altura promedio de 0,58 m, 0,65 m y 0,70 m. La altura alcanzada por el cultivar Wankita, se debe a sus características genotípicas, como hábito de crecimiento erecto y de buen porte; además por presentar una tolerancia a la sequía (INIA, 2012), cualidades que le permitieron alcanzar una buena altura. Jama-Rodzenska et al. (2021) indicaron que las plantas sometidas a un riego frecuente mostraron un efecto significativo en la altura. La disponibilidad constante de agua promueve un crecimiento más rápido y una mayor elongación de los tallos en el cultivo de papa (Deblonde and Ledent, 2001). Estos resultados coinciden con Chang et al. (2018) quienes afirman que las plantas de papa sometidas a riego constante y riego variable muestran alturas y tasas de crecimiento diferentes. Esta inconsistencia en el suministro de agua tiene un impacto negativo en el crecimiento vertical de las plantas de papa (Luitel et al., 2015).

Número de tallos por planta

Los resultados muestran que hubo diferencias significativas para el número de tallos entre los cultivares, frecuencias de riego y las interacciones cultivar*frecuencia de riego (Tabla 3). En los cultivares Yungay, Wankita, Serranita y Shulay se obtuvieron el mayor promedio de número de tallos, 3,9, 3,8, 3,8 y 3,6, respectivamente. En frecuencias de riego se observó que a capacidad de campo logró el mayor número de tallos 5,4.

Para las interacciones cultivar*frecuencia de riego (Tabla 3) se registró mayor cantidad en los tratamientos T1 y T13 que corresponden a los cultivares Yungay y Serranita ambos con frecuencia de riego a capacidad de campo con 6,1 y 5,6 tallos por planta, respectivamente. Los resultados de este estudio confirman lo reportado para el cultivar Yungay, que presenta mayor número de yemas axilares, estolones largos y es favorecido por la frecuencia de riego a capacidad de campo (UNALM, 2021). Resultados anteriores (Chang, 2018) indican que las plantas de papa que reciben volúmenes adecuados de agua desarrollaron un mayor número de brote y tallos en comparación con aquellas plantas sometida a estrés hídrico. Además, la variación en el desarrollo del número de tallos, se debe al carácter genético de cada cultivar en estudio, que difieren en el número de yemas axilares por tubérculo, y a la humedad que es importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Jama-Rodzenska et al., 2021).

Tabla 3. Variables respuesta de *Solanum tuberosum* L. por variedad y frecuencias de riego

Variables	Variedades				
	Shulay (Sh)	Canchan (C)	Serranita (Se)	Wankita (W)	Yungay (Y)
Emergencia (días)	19,0 a	22,4 b	23,3 b	23,3 b	25,3 c
Altura planta (cm)	0,93 a	0,87 b	0,83 b c	0,97 a	0,81 c
N° de tallos	3,6 a	2,9 b	3,8 a	3,8 a	3,9 a
	Frecuencia de riego				
	Capacidad de campo	7 días	14 días	21 días	
Emergencia (días)	22,8	22,2 a	22,6 a	22,8 a	
Altura planta (cm)	1,05 a	0,91 b	0,85 c	0,72 d	
N° de tallos	5,4 a	4,3 b	3,3 c	1,5 d	
Variedad*Frecuencia	Variables				
	Emergencia en días	Altura de planta (cm)	N° de tallos		
T1 (Y + Cc)	23,8 b c d	0,98 b c	6,1 a		
T2 (Y + 7d)	25,1 c d	0,85 d e	4,6 d		
T3 (Y + 14d)	26,1 d	0,79 e	3,6 e		
T4 (Y + 21d)	26,1 d	0,58 g	1,4 g		
T5 (C + Cc)	22,2 b c	1,03 b	4,7 c d		
T6 (C + 7d)	21,1 b	0,97 b c	3,1 e		
T7 (C + 14d)	22,9 b c	0,84 d e	2,2 f		
T8 (C + 21d)	23,7 b c d	0,64 f g	1,6 f g		
T9 (W + Cc)	23,2 b c d	1,17 a	5,4 b		
T10 (W + 7d)	24,0 b c d	0,97 b c	4,5 d		
T11 (W + 14d)	22,6 b c	0,90 c d	3,5 e		
T12 (W + 21d)	23,4 b c d	0,83 d e	1,7 f g		
T13 (Se + Cc)	22,6 b c	1,02 b	5,5 a b		
T14 (Se + 7d)	23,8 b c d	0,83 d e	4,5 d		
T15 (Se + 14d)	23,6 b c d	0,79 e	3,5 e		
T16 (Se + 21d)	23,2 b c d	0,70 f	1,6 f g		
T17 (Sh + Cc)	22,6 b c	1,03 b	5,3 b c		
T18 (Sh + 7d)	17,2 a	0,95 b c	4,4 d		
T19 (Sh + 14d)	18,2 a	0,94 b c	3,5 e		
T20 (Sh + 21d)	17,9 a	0,82 e	1,3 g		

* Las medias seguidas por la misma letra en las filas y columnas no difieren significativamente entre sí. ($p \leq 0,05$)

Transpiración de plantas

Para esta variable los resultados muestran que existió diferencias altamente significativas entre los cultivares, frecuencias de riego y las interacciones cultivar*frecuencia de riego. Se observó que la menor tasa de transpiración fue en el cultivar Canchan con 0,94 ml y en la frecuencia de riego cada 21 días con 0,84 ml (Tabla 4).

En relación a las interacciones cultivar*frecuencia de riego, el cultivar Canchan con una frecuencia de riego c21d (T8) presentó una menor tasa promedio de transpiración de 0,69 ml (Tabla 4), en comparación a los otros tratamientos, debido a que este cultivar posee menor número de tallos y por ende menor cantidad de hojas y estomas (MIDAGRI, 2012). Estos resultados corroboran la afirmación que los cultivos como la papa, sensibles a la sequía, generalmente cierran sus estomas

para no perder agua cuando están sometidos a estrés hídrico (Ahmadi, 2010). También, se debe a las diversas frecuencias de riego que condicionan la humedad del suelo, el cual influye directamente en la absorción y transpiración de planta (Allen et al., 2006). Asimismo, los resultados obtenidos coinciden con Djaman et al. (2021) quienes manifiestan que a medida que las condiciones de sequía se intensifican, la tasa de transpiración disminuye y la apertura estomática se reduce. Lo que indica que las plantas regulan sus respuestas fisiológicas para conservar agua en condiciones de estrés hídrico. Otros autores (Hill et al., 2021) reportan que las plantas con riego regular mantienen sus tasas de transpiración más altas en comparación con las que son sometidas a riegos mínimos o deficitarios, lo cual es similar a los resultados del trabajo. En otros estudios (Li et al., 2017) se evaluaron tasas de transpiración en diferentes momentos y los resultados mostraron que las plantas sometidas a frecuencias de riego constante presentaron

tasas de transpiración más altas en comparación con los otros tratamientos. Lo que indica que el riego frecuente ocasiona una mayor apertura estomática y por ende una

mayor pérdida de agua a través de la transpiración (Allen et al., 2006; Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Tabla 4. Tasa de transpiración de *Solanum tuberosum* L. por variedad y frecuencia de riego

Variable	Variedades				
	Shulay (Sh)	Canchan (C)	Serranita (Se)	Wankita (W)	Yungay (Y)
Tasa transpiración (ml)	1,13 c	0,95 a	1,4 b	1,33 b	1,15 c
Variable	Frecuencia de riego				
	Capacidad de campo		7 días	14 días	21 días
Tasa transpiración (ml)	1,25 d		1,14 c	1,01 b	0,84 a
Interacción Variedad*Frecuencia	Variable Tasa de transpiración (ml)				
T1 (Y + Cc)	1,27 i				
T2 (Y + 7d)	1,25 i				
T3 (Y + 14d)	1,16 f g				
T4 (Y + 21d)	0,92 c d				
T5 (C + Cc)	1,24 h i				
T6 (C + 7d)	0,98 d				
T7 (C + 14d)	0,87 c				
T8 (C + 21d)	0,69 a				
T9 (W + Cc)	1,22 h				
T10 (W + 7d)	1,18 f g h				
T11 (W + 14d)	0,91 c				
T12 (W + 21 d)	0,80 b				
T13 (Se + Cc)	1,28 i				
T14 (Se + 7d)	1,08 e				
T15 (Se + 14d)	0,98 d				
T16 (Se + 21d)	0,80 b				
T17 (Sh + Cc)	1,26 i				
T18 (Sh + 7d)	1,17 f g h				
T19 (Sh + 14d)	1,13 e f				
T20 (Sh + 21d)	0,97 d				

* Las medias seguidas por la misma letra en la fila y columna no difieren significativamente entre sí. ($p \leq 0,05$)

Número y peso de tubérculos

En el número de tubérculos, se observó diferencias significativas entre cultivares, frecuencias de riego y en las interacciones cultivar*frecuencia de riego (Tabla 5). El mayor número de tubérculos con 29,8 fue para el cultivar Wankita y con 25,5 tubérculos fue para la frecuencia de riego cada 7 días. En las interacciones cultivar*frecuencia de riego (Tabla 5) el cultivar Wankita con una frecuencia de riego c7d y c14d (T10 y T11) tuvo una producción de 32,1 a 34,6 tubérculos, siendo este mayor en relación a los otros tratamientos.

En el peso de tubérculos, se observó diferencias altamente significativas entre cultivares, frecuencias de riego y en las interacciones cultivar*frecuencia de riego. El mayor peso correspondió al cultivar Wankita con 265,5 g, seguido de Shulay, Serranita y Yungay, y en la frecuencia de riego el mayor peso correspondió a capacidad de campo con 352,5 g.

En las interacciones cultivar*frecuencia de riego (Tabla 5) los cultivares Yungay a Cc (T1), Wankita a Cc y c7d (T9 y T10), Shulay a Cc y c7d (T17 y T18) y Serranita c14d (T15) tuvieron los mayores pesos de tubérculos 438,5g, 434,8g, 379,1g, 405,2g, 374,5g y 346,1g, respectivamente.

Son resultados esperados porque el cultivar Wankita tiene mayor número de tallos y mayor cantidad de estolones. Además, contiene una mayor cantidad de agua en sus tejidos vegetales que favorece la mayor producción y peso de tubérculos (INIA, 2012). Por lo tanto, la respuesta de la papa a la escasez de agua depende en gran medida del cultivar (Lahlou, 2003). Otro aspecto fundamental, es el contenido de agua en el suelo, el cual debe estar siempre en capacidad de campo al inicio de la tuberización para generar buena carga de tubérculos en la planta y evitar que el cultivo no sufra estrés hídrico (Aliche et al. 2018). El espaciamiento de riego afecta el llenado de tubérculos y por lo tanto

altera el peso. A mayor espaciamiento de riego, menor es el peso de tubérculos. El riego es fundamental al momento de la tuberización para asegurar un mayor tamaño y peso de los tubérculos, porque influye en la acumulación de fotosintatos y almidón (Obidiegwu et al., 2015). La producción de tubérculos depende del contenido de materia seca y del contenido de agua de los tubérculos, el cual contribuye hasta en un 80% a la masa de tubérculos frescos dependiendo de los cultivares (Navarre et al., 2009). El adecuado manejo de riego influye mucho en el rendimiento del cultivo, tanto en cantidad como en peso, ya que el tubérculo contiene alrededor de un 80 % de agua (Hajjar et al., 2022). Esto también, ha sido reportado por otros autores, como López-OLivari & Zuñiga (2019) quienes reportan que el riego frecuente y oportuno, disminuye la cantidad de tubérculos malformados, mantiene el peso adecuado y garantiza el óptimo tamaño de estos. Cabe resaltar que el cultivar Serranita con una frecuencia de riego de C/14 presenta una mayor tolerancia al estrés a sequía. Varios autores (Eiasu et al., 2007; Jefferies, 1995) afirman que la cantidad equilibrada y disponibilidad del agua influyen en la producción y calidad de tubérculos de *S. tuberosum*.

Materia seca

Los resultados muestran que hubo diferencias significativas entre cultivares, frecuencias de riego e interacciones cultivar*frecuencia de riego para la materia seca. Se observó que el cultivar Shulay obtuvo mayor cantidad de materia seca (26,0g) seguido de

Wankita con 24,3 g de materia seca. En la frecuencia de riego el mayor peso de materia seca se observó en el intervalo de riego cada 14 días con 25,3g.

En relación las interacciones cultivar*frecuencia de riego (Tabla 5), la mejor respuesta correspondió al tratamiento T18 (sh+c7d) que alcanzó 28,2 g de peso promedio de materia seca, comparado con lo demás tratamientos. Sin embargo, no hubo diferencias significativas con los tratamientos T5, T15, T19, T4 y T10 que alcanzaron pesos comprendidos entre 25,7 a 27,2 g de materia seca, respectivamente, pesos que fueron estadísticamente diferentes al resto de los tratamientos. Esta diferencia en pesos, se debe a las características intrínsecas de cada cultivar, al contenido de humedad e intervalo de riego, que a mayor contenido de agua se tiene menor peso de materia seca (Ierna and Mauromicale, 2018). El cultivar Shulay tiene mayor cantidad de almidón y menor contenido de humedad, esto se debe a la característica genética del cultivar, que hacen variar al porcentaje de materia seca (MIDAGRI, 2017). El riego es fundamental en la acumulación de materia seca en el cultivo de papa porque afecta varios procesos fisiológicos y metabólicos, como la fotosíntesis, absorción y transporte de nutrientes que son esenciales para la acumulación de materia seca (Nasir & Toth, 2022). Algunos autores como Aksoy et al. (2021) y Wishart et al., (2014) manifiestan que el déficit hídrico afecta negativamente la acumulación de materia seca en *S. tuberosum* y que esta susceptibilidad se debe a la estructura radicular pequeña y poco profundo que presenta (Joshi et al., 2016).

Tabla 5. Variables respuesta de *Solanum tuberosum* L. por variedad y frecuencias de riego

Variables	Variedades				
	Shulay (Sh)	Canchan (C)	Serranita (Se)	Wankita (W)	Yungay (Y)
N° de tubérculos	20,6 c	24,7 b	16,5 d	29,8 a	20,2 c
Peso de tubérculos (g)	240,1 a	170,5 b	220,1 a b	265,5 a	219,8 a b
Materia seca (g)	26,1 a	24,2 b	24,0 b	24,3 b	21,2 c

	Frecuencia de riego			
	Capacidad de campo	7 días	14 días	21 días
N° de tubérculos	24,6 b	25,6 a	21,6 c	17,9 d
Peso de tubérculos (g)	352,6 a	267,9 b	170,8 c	101,6 d
Materia seca (g)	22,7 c	24,2 b	25,3 a	23,7 b

Interacción Variedad*Frecuencia	Variables		
	N° de tubérculos	Peso de tubérculo (g)	Materia seca (g)
T1 (Y + Cc)	26,8 c	438,5 a	15,8 j
T2 (Y + 7d)	24,2 e f	208,9 c d e	19,0 i
T3 (Y + 14d)	15,8 h	91,9 e f	24,2 d e f g
T4 (Y + 21d)	14,0 i	139,9 c d e f	26,2 a b c d
T5 (C + Cc)	23,4 f	233,8 b c d	27,3 a b
T6 (C + 7d)	27,2 c	206,6 c d e f	23,4 e f g
T7 (C + 14d)	25,1 d e	140,6 c d e f	24,1 d e f g
T8 (C + 21d)	23,3 f	100,9 e f	22,3 g h
T9 (W + Cc)	27,2 c	434,8 a	23,8 d e f g
T10 (W + 7d)	32,1 b	379,1 a	25,7 a b c d e
T11 (W + 14d)	34,6 a	172,9 c d e f	25,0 b c d e f
T12 (W + 21d)	25,3 d	78,2 f	22,8 f g h
T13 (Se + Cc)	18,2 g	250,3 b c	21,0 h i
T14 (Se + 7d)	17,5 g	173,4 c d e f	24,5 c d e f g
T15 (Se + 14d)	16,4 h	346,1 a b	26,8 a b c
T16 (Se + 21d)	14,1 i	110,8 d e f	23,7 d e f g
T17 (Sh + Cc)	27,1 c	405,2 a	25,6 b c d e
T18 (Sh + 7d)	26,7 c	374,5 a b	28,2 a
T19 (Sh + 14d)	15,7 h	102,6 e f	26,7 a b c
T20 (Sh + 21d)	13,0 j	78,1 f	23,7 d e f g

* Las medias seguidas por la misma letra en las filas y columnas no difieren significativamente entre sí. ($p \leq 0,05$)

Conclusiones

Los cultivares evaluados mostraron respuestas diferentes a las frecuencias de riego en las variables evaluadas. El cultivar Canchan con frecuencia de riego cada 21 días fue el mejor cultivar que toleró la sequía, el cultivar Wankita con frecuencia de riego cada 14 días fue el cultivar con mayor producción de tubérculos y que la frecuencia de riego con un límite permisible es cada 14 días.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa Nacional de Investigación en Raíces y Tuberosas (PNIRyT) de la Estación Experimental Agraria Santa Ana de Huancayo del Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA.

Contribución de cada autor

Emmanuel Perez Carhuacho: Realización, diseño, adquisición e interpretación de datos.

Robert Rafael-Rutte: Desarrollo, redacción y aprobación de la versión final del manuscrito.

Gustavo Osorio Pagan: Diseño del trabajo de investigación, análisis estadístico e interpretación de los resultados.

Referencias

Ahmadi, S. H., Andersen, M. N., Plauborg, F., Poulsen, R. T., Jensen, C. R., Sepaskhah, A. R., and Hansen, S. (2010). Effects of irrigation strategies and soils on

- field-grown potatoes: Yield and water productivity. *Agricultural Water Management*, 97(11), 1923-1930. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.07.007>
- Aksoy, E., Demirel, U. Bakhsh, A., Bakar, M., Naeem, M., Saeed, F., Caliskan, S., & Caliskan, M. E. (2021). Recent Advances in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Breeding. In: Al-Khayri, J.M., Jain, S.M. Johnson, D.V. (eds) *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops*. Springer, Cham. http://doi.org/10.1007/978-3-030-66965-2_10
- Aliche, E. B., Oortwijn, M., Theeuwens, T. P., Bachem, C. W., Visser, R. G., & van der Linden, G. (2018). Drought response in field grown potatoes and the interactions between canopy growth and yield. *Agricultural Water Management*, 206, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.013>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio FAO Riego y Drenaje* N° 56. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Asnake, D., Alemayehu, M., and Asredie, S. (2023). Growth and tuber yield responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties to seed tuber size in northwest highlands of Ethiopia. *Heliyon*, 9(3), e14586. doi: [10.1016/j.heliyon.2023.e14586](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14586)
- Azcón-Bieto, J. y Talón M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* 2ªEd. McGraw
- Chang, D. C., Jin, Y. I., Nam, J. H., Cheon, C. G., Cho, J. H., Kim, S. J., & Yu, H. S. (2018). Early drought effect on canopy development and tuber growth of potato cultivars with different maturities. *Field Crops Research*. 215, 156-162. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.008>
- Deblonde, P. M., & Ledent, J. F. (2001). Effects of moderate drought conditions on green leaf number, stem height, leaf length and tuber yield of potato cultivars. *Eur. J. Agron.* 14, 31-41. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00081-2](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00081-2)
- Djaman, K., Irmak, S., Koudahe, K., & Allen, S. (2021). Irrigation management in potato (*Solanum tuberosum* L.) production: A Review. *Sustainability*, 13(3), 1504. <http://dx.doi.org/10.3390/su13031504>
- Ebrahim, S., Mohammed, H., & Ayalew, T. (2018). Effects of seed tuber size on growth and yield performance of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties under field conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 13(39), 2077-2086. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13405>
- Eiasu, B. K., Soundy, P., & Hammes, P. S. (2007). Response of potato (*Solanum tuberosum*) tuber yield components to gel-polymer soil amendments and irrigation regimes. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 35, 25-31. doi:[10.1080/01140670709510164](https://doi.org/10.1080/01140670709510164)
- FAOSTAT. (2020) Production and Trade Statistics. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> (accessed on 28 February 2020).
- Hajjar, G., Quellec, S., Challos, S., Bousset-Vaslin, L., Joly, G., Langrume, C., Deleu, C., Lepout, L., and Musse, M. (2022). Characterization of the water shortage effects on potato tuber tissues during growth using mri relaxometry and biochemical parameters. *Plants*, 11(15), 1918. <https://doi.org/10.3390/plants11151918>
- Handayani, T., Gilani, S. A., & Watanabe, K. N. (2019). Climatic changes and potatoes: How can we cope with the abiotic stresses?. *Breeding science*, 69(4), 545-563. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.19070>
- Hill, D., Nelson, D., Hammond, J., and Bell, L. (2021). Morphophysiology of potato (*Solanum tuberosum*) in response to drought stress: Paving the way forward. *Front. Plant Sci.* 11, 597554. doi: 10.3389/fpls.2020.597554
- Ierna, A., and Mauromicale, G. (2018). Potato growth, yield and water productivity response to different irrigation and fertilization regimes. *Agricultural Water Management*. 201, 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.008>
- Instituto Nacional de Innovación-INIA. (2012). Catálogo de nuevas variedades de papa: sabores y colores para el gusto peruano. Perú. doi: 10.4160/978-92-9060-41 9 – 8
- Jama-Rodzenska, A., Janik, G., Walczak, A., Adamczewska-Sowinska, K., and Sowinski, J. (2021). Tuber yield and water efficiency of early potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) cultivated under various irrigation levels. *Sci. Rep.* 11, 19121. doi:10.1038/s41598-021-97899-9
- Jefferies, R. A. (1995). Physiology of crop response to drought. In *Potato Ecology and Modelling of Crops under Conditions Limiting Growth*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany.

- Joshi, M., Fogelman, E., Belausov, E., and Ginzberg, I. (2016). Potato root system development and factors that determine its architecture. *J. Plant Physiol.* 205,113-123. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.08.014>
- Lahlou, O., Ouattar, S., and Ledent, J. F. (2003). The effect of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato. *Agronomie*, 23, 257-268. doi: 10.1051/agro:2002089
- Li, Y., Li, H., Li, Y. and Zhang, S. (2017). Improving water use efficiency by decreasing stomatal conductance and transpiration rate to maintain higher ear photosynthetic rate in drought resistant wheat. *Crop Journal*. 5, 231-239. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.01.001>
- López-Olivari, R., & Zúñiga, M. (2019). Manejo del agua de riego en el cultivo de papa. En Mendez, P. (2019). *Producción de Papa para el Convenio Tranapunte* (pp.202). Instituto de Investigaciones Agropecuarias Centro Regional de Investigación, INIA Carillanca. Luitel, B.
- P., Khatri, B. B., Choudhary, D., Paudel, B. P., Jung-Sook, S., Hur, O., Baek, H. J., Cheol, K. H. and Yul, R. K. (2015). Growth and yield characters of potato genotypes grown in drought and irrigated conditions of Nepal. *Int. J. Appl. Sci. Biotechnol.* 3(3), 513-519. doi:10.3126/ijasbt.v3i3.13347
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego-MIDAGRI. (2023). Observatorio de las siembras y perspectivas de la producción de papa. Dirección General de Políticas Agrarias-DGPA. Lima.
- Ministerio de Agricultura y Riego-MIDAGRI (2017). Papa INIA 326 - Shulay. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima, Perú.
- Ministerio de Agricultura y Riego-MIDAGRI (2012). Papa INIA 303 - Canchan. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima, Perú.
- Nasir, M. W., & Toth, Z. (2022). Effect of drought stress on potato production: A Review. *Agronomy*, 12(3), 635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>
- Navarre, D.A., Goyer, A., & Shakya, R. (2009). Nutritional value of potatoes: vitamin, phytonutrient, and mineral content. In *Advances in Potato Chemistry and Technology*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands. pp. 395-424.
- Obidiegwu, J. E., Bryan, G. J., Jones, H. G., Prashar, A. (2015). Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Front. Plant Sci.* 6, 542. doi:10.3389/fpls.2015.00542
- Raymundo, R., Asseng, S., Robertson, R., Petsakos, R., Hoogenboom, G., Quiroz, R., Hareau, G., and Wolf, J. (2018). Climate change impact on global potato production. *European Journal of Agronomy*, 100, 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.11.008>.
- Universidad Nacional Agraria La Molina- UNALM. (2021). La papa Yungay: 50 años de creación genética por la UNALM. Gaceta Molinera. UNALM. Lima. <http://www.lamolina.edu.pe/Gaceta/edicion2021/notas/nota048.htm>
- Wishart, J., George, T. S., Brown, L. K., White, P. J., Ramsay, G., Jones, H. and Gregory, P. J. (2014). Field phenotyping of potato to assess root and shoot characteristics associated with drought tolerance. *Plant Soil*, 378(1/2), 351-363. doi: [10.1007/s11104-014-2029-5](https://doi.org/10.1007/s11104-014-2029-5)
- Zwieniecki, M. A., Thompson, M. V. & Holbrook, N. M. (2002). Understanding the hydraulics of porous pipes: Tradeoffs between water uptake and root length utilization. *J. Plant Growth Regul.* 21, 315-323. doi: 10.1007/s00344-003-0008-9