

RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO MEDIANTE SENSORES EN TRES VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL CHOQUENAIRA

Deficit irrigation controlled by sensors in three potato varieties (*Solanum tuberosum*) at the Choquenaira Experimental Station

Fabiola Figueredo Fernandez¹; René Chipana Rivera²; Gladys J. Chipana Mendoza²

RESUMEN

La papa es relativamente sensible al déficit de agua, no debe agotarse más de 30 a 35% del total del agua disponible, especialmente durante la formación y crecimiento de los tubérculos. La programación del riego establece láminas y fechas apropiadas a lo largo del ciclo fenológico de un cultivo, es por estas razones que el objetivo de la investigación es evaluar el efecto de riego deficitario controlado mediante sensores en tres variedades de papa. El trabajo se realizó en la Estación Experimental Choquenaira, los factores evaluados fueron las variedades de papa (Luk'i, Phiñu y Waycha) y el riego deficitario (100, 75 y 50% de reposición de lámina de agua) resultando en 9 tratamientos, que fueron distribuidos en un diseño de bloques al azar con parcelas divididas, con tres repeticiones y 29 unidades experimentales, las variables de respuesta fueron la altura de planta, número de tubérculos por planta y el rendimiento, asimismo, se evaluó el potencial hídrico de la hoja con la cámara de Scholander, humedad del suelo con el FDR portátil Diviner, evaluación de la productividad del agua y eficiencia del uso del agua. Los resultados muestran que la mayor altura de planta fue para la variedad Waycha con 39.78 cm, mayor número de tubérculos por planta para la variedad Luk'i y mayor rendimiento para la variedad Waycha con 53.333 t ha⁻¹. El tratamiento 3 presentó un mejor aprovechamiento del agua con la producción de 11.71 kg m⁻³, el tratamiento 5 produjo 7.34 kg m⁻³ y el tratamiento 8 que produjo 13.82 kg m⁻³. El tratamiento 3, 5 y 8 presentaron mejor índice de eficiencia del uso de agua. Estos resultados muestran la cantidad de agua que es necesaria para la producción de papa, que mediante los niveles de reposición de lámina de agua se puede alcanzar la eficiencia en el uso del agua que es un recurso cada vez más limitado y escaso.

Palabras clave: eficiencia del uso del agua, productividad del agua, variedades de papa, reposición de lámina de agua.

ABSTRACT

The potato is relatively sensitive to water deficit, it should not exceed 30 to 35% of the total water available, especially during the formation and growth of the tubers. Irrigation programming establishes that the dates and dates are the best in the cycle of growth of the virus, is why the reasons that the objective of the research is the effect of poor irrigation controlled by sensors in three varieties of potato. The work was carried out in the Choquenaira Experimental Station, the factors evaluated were the varieties of potato (Luk'i, Phiñu and Waycha) and the deficit irrigation (100, 75 and 50% of replacement of the sheet of water) resulting in 9 treatments, which were distributed in a random block design with divided plots, with three repetitions and 29 experimental units, the answer variable were the plant height, the number of tubes per plant and yield, as well as the water potential of the blade with the Scholander chamber, soil moisture with the portable FDR Diviner, water productivity evaluation and water use efficiency. The results showed that the highest plant height was for the Waycha variety with 39.78 cm, greater number of tubers per plant for the Luk'i variety and higher yield for the variety Waycha with 53,333 t ha⁻¹. Treatment 3 showed a better use of water with the production of 11.71 kg m⁻³, treatment 5 produced 7.34 kg m⁻³ and treatment 8 that produced 13.82 kg m⁻³. Treatment 3, 5 and 8 presentation better efficiency index of water use. These results show the amount of water that is necessary for the production of potatoes, which through water retention levels can reach the efficiency in the use of water, which is an increasingly limited and scarce resource.

Keywords: efficiency of water use, water productivity, potato varieties, replenishment of water sheet.

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. fabiola_figueredofernande@hotmail.com

² Docente Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

INTRODUCCIÓN

El Altiplano boliviano al ser una región fría, seca y de mucho viento, presenta bajas precipitaciones irregulares, posiblemente ligada al efecto del cambio climático que atraviesa todo el planeta, provocando la escasez del agua para el riego de los cultivos, con la consecuente reducción en el rendimiento.

La papa (*Solanum tuberosum*) es relativamente sensible al déficit de agua, no debe agotarse más de 30 a 35% del total del agua disponible, especialmente durante la formación y crecimiento de los tubérculos (Vázquez, 2001 citado por Pacheco y Pérez, 2010). El cultivo de 120 a 150 días consume entre 500 a 700 mm de agua y la producción se reduce si se agota más del 50% del total de agua disponible en el suelo durante la estolonización, inicio de la formación de los tubérculos y su crecimiento (FAO, 2008).

Los rendimientos de papa en Bolivia son bajos y se encuentran entre 5 a 7 t ha⁻¹, aparte de los factores agronómicos y económicos, la producción está limitada por diversos factores como la helada, sequía, baja fertilidad en el suelo, plagas y enfermedades (Gabriel et al. 2011). La superficie cultivada en la gestión agrícola de 2012-2013 alcanzó a 173.168 ha, con rendimientos de 3.53 t ha⁻¹ llegando a obtener una producción anual de 612768 t (INE, 2015).

La programación del riego tiene como objetivo establecer láminas y fechas apropiadas a lo largo del ciclo fenológico de un cultivo. El riego debe considerar los factores, requerimientos hídricos y características de crecimiento de la especie y variedad, la demanda evaporante de la atmósfera y las condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo que determinan su capacidad de retención de agua ya que, junto con la profundidad radicular, determinan la cantidad de agua posible de ser utilizada en el proceso de evapotranspiración del cultivo (Serrano, 2000).

Según Tarjuelo (2005) el método de requerimiento hídrico en base a la humedad del suelo se basa en el conocimiento del potencial hídrico (tensiómetros, resistencias) y en el contenido de agua mediante sonda de neutrones, muestreos gravimétricos o mediciones de la constante dieléctrica (TDR, FDR).

La presente investigación tiene el objetivo de evaluar el efecto de riego deficitario controlado mediante

sensores en tres variedades de papa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

El trabajo se realizó en la Estación Experimental Choquenaira, Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, ubicada en el municipio de Viacha, provincia Ingavi del departamento de La Paz a 38 km de la ciudad de La Paz; a una altitud de 3870 m s.n.m., geográficamente se halla a 16° 41' 39.25" de latitud sur y 68° 17' 14.31" de longitud oeste (Mamani y Céspedes, 2012).

Metodología

La preparación del terreno, de textura franco arcillosa, se realizó con la incorporación de 0.5 kg m⁻² de estiércol de bovino a cada tratamiento que tuvo una superficie de 200 m². La siembra fue manual, colocando la semilla a una profundidad de 25 cm, con una distancia entre plantas de 50 cm y 60 cm entre surcos. Se instalaron tubos PVC a una profundidad de 50 cm para medir la humedad en el suelo, las labores culturales fueron realizadas de forma manual.

Para efectuar la programación del riego se consideró el método en base a parámetros climáticos de la Estación Experimental Choquenaira. La demanda de agua del cultivo fue calculada a partir de la Ecuación 1.

$$R = ETo - Pe \quad (1)$$

Dónde: R = requerimiento de lámina de riego (mm); ETo = evapotranspiración de referencia (mm); Pe = precipitación efectiva al 75% (mm).

El diseño de la investigación fue de bloques al azar con parcelas divididas, tres repeticiones y 27 unidades experimentales, el modelo lineal aditivo se muestra en la Ecuación 2 (Ochoa, 2007).

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \varepsilon_{ij} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + \varepsilon_{ijk} \quad (2)$$

Dónde: Y_{ijk} = observación cualquiera; μ = media de la población; B_j = efecto del j-ésimo bloque; α_i = efecto de la i-ésimo variedad; ε_{ij} = error de parcela grande; γ_k = efecto del k-ésimo nivel de riego; (αγ)_{ik} = interacción entre la i-ésimo variedad y el k-ésimo riego; ε_{ijk} = error experimental.

El factor A fueron las variedades, a1 = variedad Luk'i; a2 = variedad Phiñu y a3 = variedad Waycha. El factor B fue compuesto por el riego deficitario que son b1 = 100% de reposición de lámina de agua; b2 = 75%

de reposición de lámina de agua y b3 = 50% de reposición de lámina de agua, la frecuencia de riego fue de cinco días durante todo el ciclo del cultivo. Los tratamientos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos evaluados.

Tratamientos	Factor A	Factor B	Combinación
1	a1 = Luk'i	b1 = 100% de reposición de lámina de agua	a1·b1
2	a1 = Luk'i	b2 = 75% de reposición de lámina de agua	a1·b2
3	a1 = Luk'i	b3 = 50% de reposición de lámina de agua	a1·b3
4	a2 = Phiñu	b1 = 100% de reposición de lámina de agua	a2·b1
5	a2 = Phiñu	b2 = 75% de reposición de lámina de agua	a2·b2
6	a2 = Phiñu	b3 = 50% de reposición de lámina de agua	a2·b3
7	a3 = Waycha	b1 = 100% de reposición de lámina de agua	a3·b1
8	a3 = Waycha	b2 = 75% de reposición de lámina de agua	a3·b2
9	a3 = Waycha	b3 = 50% de reposición de lámina de agua	a3·b3

La evaluación de la humedad del suelo fue con el FDR portátil Diviner en las profundidades de 10, 20, 30, 40 y 50 cm, con ello se determinó el comportamiento de la humedad por la aplicación de riego deficitario, la toma de datos fue dos veces por semana.

El estrés hídrico de la hoja fue obtenido mediante la cámara de Scholander con una frecuencia de dos veces por semana, uno en la mañana y otra en la tarde. La productividad del agua en los cultivos es definida como la cosecha producida por unidad de agua consumida en la producción ($t\ m^{-3}$ o $kg\ m^{-3}$), su evaluación fue después de la cosecha, la Ecuación 3 muestra la relación.

$$WP = \frac{\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Volumen total de agua aplicada (m}^3\text{)}} \quad (3)$$

La eficiencia de uso del agua fue determinada sobre la base del rendimiento por unidad de superficie, en relación a la lámina de agua aplicada durante el ciclo del cultivo, de acuerdo a la Ecuación 4 (Micucci y Álvarez, 2003).

$$EUA = \frac{Rd}{VAU} \quad (4)$$

Dónde: EUA = eficiencia de uso del agua ($g\ cm^{-3}$); Rd = rendimiento del cultivo ($kg\ ha^{-1}$); VAU = volumen de agua aplicado ($cm^3\ ha^{-1}$).

Variabes de respuesta:

Altura de planta: la evaluación fue hasta que la planta alcanzó 5 cm de altura, la medición se realizó desde la base del tallo hasta el comienzo de la hoja.

Número de tubérculos por planta: se contó el número de tubérculos cosechados en un metro cuadrado.

Rendimiento: el peso fue del número de tubérculos que se cosecharon en un metro cuadrado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características climáticas en la Estación Experimental Choquenaira

En la Figura 1 se observa que la temperatura máxima fue en el mes de febrero con $18.80^{\circ}C$, la temperatura mínima fue en abril y mayo con 2.3 y $-1^{\circ}C$.

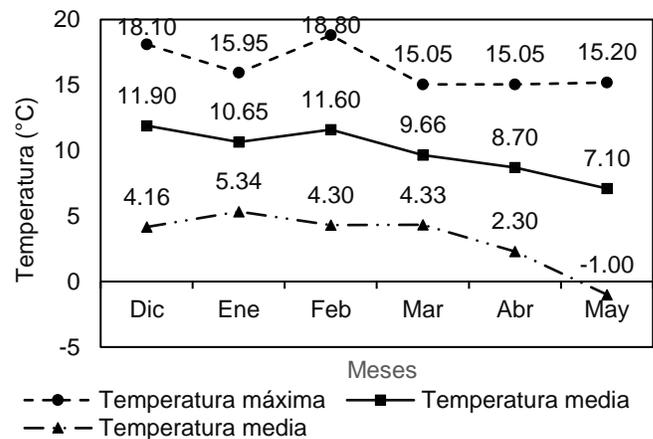


Figura 1. Promedios mensuales de temperaturas máximas y mínimas.

Canqui y Morales (2009) señalan que para el cultivo de papa la temperatura ideal para el crecimiento de las plantas es entre 15 a $20^{\circ}C$ y de 14 a $18^{\circ}C$ para la tuberización. La variedad Waycha presenta resistencia

a temperaturas bajas de 5 a 6°C bajo cero, cuando el descenso de la temperatura es lento; si este descenso es rápido provoca la muerte de las plantas a los 2°C bajo cero.

La precipitación, evapotranspiración de referencia y su relación en la Estación Experimental Choquenaira para el ciclo productivo 2016-2017 (Tabla 2) muestra que solo en enero hubo una precipitación cernada a la ETo, siendo el mes con mayor incidencia de lluvias lo cual favoreció al cultivo.

Tabla 2. Precipitación, evapotranspiración de referencia y su relación en la Estación Experimental Choquenaira.

Meses	Precipitación (mm)	Eto (mm)	Precipitación ETo ⁻¹
Noviembre	8.8	21.33	0.41
Diciembre	36.2	132.56	0.27
Enero	83.0	104.00	0.79
Febrero	84.5	134.07	0.63
Marzo	68.0	92.02	0.74
Abril	48.8	82.21	0.54
Total	329.3	566.19	0.56

Características químicas del suelo

El pH del suelo es ligeramente neutro con 6.65, el contenido de nitrógeno total es alto con 1500 ppm, asimismo, el contenido de fósforo asimilable es 35.95, considerado alto (Tabla 3). Según Pardave (2004) citado por Guerra (2012), la papa requiere un suelo profundo, orgánico, mullido, con buena retención de humedad, los mejores rendimientos se logran en suelos franco con un pH de 5.5 a 8.0.

Tabla 3. Características químicas del suelo.

Parámetros	Resultado	Unidad
pH	6.65	
Conductividad eléctrica	0.183	uS cm ⁻¹
Calcio	9.45	meq 100g ⁻¹
Magnesio	2.04	meq 100g ⁻¹
Sodio	0.27	meq 100g ⁻¹
Potasio	647.40	ppm
Materia orgánica	2.38	%
Nitrógeno total	1500.00	ppm
Fósforo asimilable	35.95	ppm

Fuente: laboratorio IBTEN (2017).

Características del agua

La conductividad eléctrica fue 277.00 uS cm⁻¹, perteneciente a la clase C1 clasificado como agua de baja salinidad, tuvo un adecuado contenido de los demás parámetros (Tabla 4), señalando que el agua

fue de buena calidad y apta para el riego. Según Sánchez (2005) la papa es tolerante a la salinidad con una conductividad eléctrica de 277 µS cm⁻¹.

Tabla 4. Características del agua.

Parámetros	Resultado	Unidad
pH	8.80	
Conductividad eléctrica	277.00	uS cm ⁻¹
Sodio	29.56	mg L ⁻¹
Potasio	8.53	mg L ⁻¹
Calcio	16.13	mg L ⁻¹
Magnesio	4.71	mg L ⁻¹
Cloruros	9.50	mg L ⁻¹
Carbonatos	38.25	mg L ⁻¹
Bicarbonatos	0.00	mg L ⁻¹
Sulfatos	51.45	mg L ⁻¹
Sólidos suspendidos	6.00	mg L ⁻¹
Sólidos totales	70.36	mg L ⁻¹
Sólidos disueltos	62.55	mg L ⁻¹
Boro	0.70	mg L ⁻¹

Fuente: laboratorio IBTEN (2017).

Láminas de riego aplicadas al cultivo de papa

La Tabla 5 muestra que el volumen total de agua aplicada para el factor b1 fue de 5078.0 m³ ha⁻¹, el b2 alcanzó a 4630.6 m³ ha⁻¹ y el b3 de 4184.0 m³ ha⁻¹. El volumen de aporte de agua por la Pe fue igual para todos los tratamientos con 3292 m³ ha⁻¹. La frecuencia de riego fue cada 5 días, en total se aplicaron 13 riegos.

Tabla 5. Volumen total de agua aplicada al cultivo.

Niveles de riego	Volumen de agua aplicado con riego		Volumen de agua total (riego + precipitación)	
	L m ⁻²	m ³ ha ⁻¹	L m ⁻²	m ³ ha ⁻¹
b1	178.60	1786.0	507.80	5078.0
b2	133.90	1339.0	463.06	4630.6
b3	89.20	892.0	418.40	4184.0

De acuerdo con Sánchez (2003), el cultivo de papa requiere de 500 a 700 mm de agua durante su periodo vegetativo. Vásquez, citado por Pacheco y Pérez (2010) menciona un rango de 400 a 800 mm.

Contenido de humedad en el suelo

En los últimos riegos con 100% de reposición de lámina de agua se muestra un elevado contenido de humedad en el suelo (Figura 2). Cuenca (1989) citado por Serrano (2000) expone 35% de humedad del suelo a capacidad de campo (C.C.) con un valor de 35% y el punto de marchitez permanente (P.M.P.) de 20%, en complementación, se traza la línea del 50% del agua disponible total, que presenta el 22%, por lo tanto, la humedad está en el rango permitido.

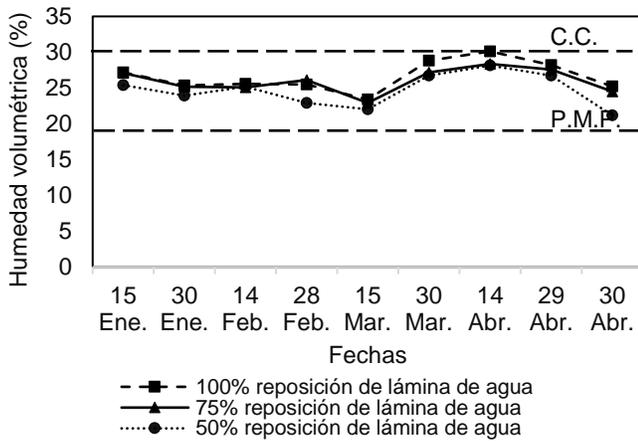


Figura 2. Humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo.

Altura de planta

El análisis de varianza (Tabla 6) muestra que no se tuvieron diferencias significativas entre bloques, láminas y la interacción de variedad con la lámina, asimismo, hubo diferencias altamente significativas para la variedad y diferencias significativas para la interacción de bloque con la variedad.

Tabla 6. El análisis de varianza para la altura de planta.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr>F	Sig.
Bloque	2	95.70	47.85	2.64	0.112	ns
Variedad	2	822.51	411.25	22.68	<.0001	**
Bloque x variedad	4	298.07	74.52	4.11	0.025	*
Lámina	2	113.22	56.61	3.12	0.08	ns
Variedad x lámina	4	68.71	17.18	0.95	0.47	ns
Error	12	217.57	18.13			
Total	26	1615.81				

CV = coeficiente de variación = 13.05%; FV = fuentes de variación; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrados medios; Fc = F calculado; Pr>F = probabilidad; Sig. = significancia; ns = no significativo; ** = altamente significativo; * = significativo.

La variedad Waycha tuvo mayor altura de planta con un promedio de 39.78 cm, seguido de la variedad Phiñu con un promedio de 31.74 cm y la variedad Luk'i la que tuvo menor crecimiento con 26.35 cm (Tabla 7).

Tabla 7. Comparación de medias de Duncan para la altura de la planta.

Duncan	Media (cm)	Variedades
A	39.78	Waycha
A B	31.74	Phiñu
B	26.35	Luk'i

Chipana (2010) indica que el incremento en la cantidad de agua de riego hace que la altura de la planta de

papa aumente. Lo cual hace constar que un buen contenido de agua en el suelo favorece una absorción regular de nutrientes, que repercutirá en el crecimiento y desarrollo de la planta.

Número de tubérculos por planta

El análisis de varianza señala que no existieron diferencias significativas entre los bloques y láminas aplicadas, asimismo, se tuvo diferencias altamente significativas para la variedad y la interacción del bloque por la variedad, como también, diferencias significativas en la interacción de la variedad con las láminas aplicadas (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis de varianza para el número de tubérculos por planta.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr>F	Sig.
Bloque	2	5.62	2.81	0.43	0.66	ns
Variedad	2	338.07	169.03	25.64	<.0001	**
Bloque x variedad	4	158.59	39.64	6.01	0.0068	**
Lámina	2	2.07	1.03	0.16	0.856	ns
Variedad x lámina	4	110.81	27.70	4.20	0.023	*
Error	12	79.11	6.59			
Total	26	694.29				

CV = 14.78%

La prueba de medias de Duncan (Tabla 9) establece que la variedad Luk'i presentó mayor número de tubérculos con 22.33 a diferencia de la variedad Waycha que tuvo el menor número de tubérculos de 14.33. Mamani (2015), en la variedad Waycha bajo tratamientos de riego deficitario controlado, obtuvo promedios entre 10.6 y 13.3 tubérculos por planta.

Tabla 9. Comparación de medias de Duncan para el número de tubérculos por planta.

Duncan	Media	Variedades
A	22.33	Luk'i
B	15.44	Phiñu
B	14.33	Waycha

Tabla 10. El análisis de varianza para el rendimiento de las variedades de papa.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr>F	Sig.
Bloque	2	823.18	411.59	6.85	0.0104	*
Variedad	2	2455.62	1227.81	20.43	0.0001	**
Bloque x variedad	4	1203.70	300.92	5.01	0.0131	*
Láminas	2	344.96	172.48	2.87	0.0958	ns
Variedad x lámina	4	340.59	85.14	1.42	0.2871	ns
Error	12	721.11	60.09			
Total	26	5889.18				

CV = 16.76%

Según la prueba de Duncan (Tabla 11) las variedades Waycha y Luk'i tuvieron rendimientos similares elevados, con bajos rendimientos para la variedad Phiñu.

Tabla 11. Comparación de medias de Duncan para el rendimiento de las variedades de papa.

Duncan	Media (t ha ⁻¹)	Variedades
A	53.333	Waycha
A	52.667	Luk'i
B	32.778	Phiñu

Potencial hídrico de la hoja

Variedad Luk'i

En la Figura 3 se puede apreciar que el potencial hídrico xilemático varió entre -0.53 a -0.80 Mpa para el tratamiento 1, entre -0.43 y 0.98 Mpa para el tratamiento 2 y entre -0.51 y -0.94 Mpa para el tratamiento 3, en todos los casos el potencial xilemático fue inferior a -1.00 Mpa, esto indica que la planta asimila la misma cantidad de agua en los tratamientos.

Rendimiento

La Tabla 10 del análisis de varianza, indica que no existieron diferencias entre láminas y la interacción de la variedad por la lámina, con diferencias significativas entre bloques y la combinación de bloques por la variedad, asimismo, se tuvo diferencias altamente significativas entre variedades.

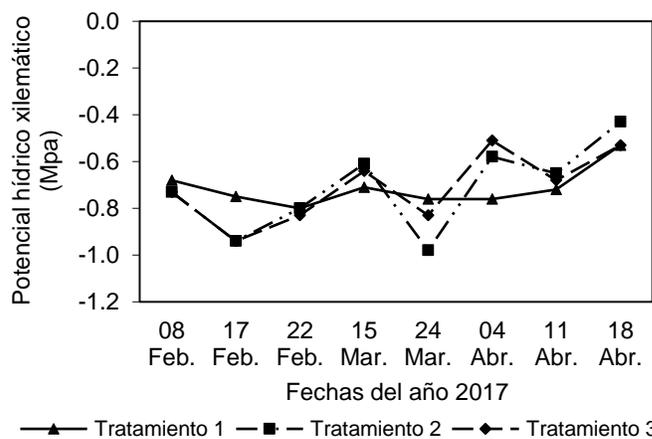
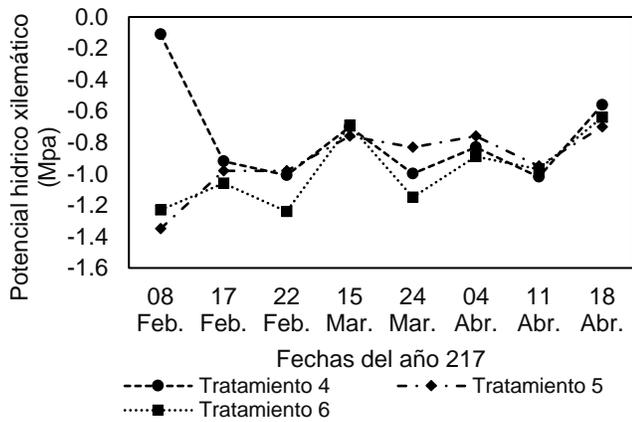


Figura 3. Potencial hídrico xilemático de la hoja de la variedad Luk'i.

Variedad Phiñu

En la Figura 4 el comportamiento del potencial hídrico xilemático muestra una variación comprendida entre -0.11 y -1.01 Mpa para el tratamiento 4, de -0.70 a -1.35 Mpa para el tratamiento 5 y una variación de -0.64 a 1.24 Mpa para el tratamiento 6, el potencial tuvo valores inferiores a -1.4 Mpa.



Variedad Waycha

En la Figura 5 el potencial hídrico xilemático tuvo una fluctuación entre -0.58 y -0.96 Mpa para el tratamiento 7, de -0.61 a -1.05 Mpa para el tratamiento 8 y variación comprendida entre -0.63 y -1.23 Mpa para el tratamiento 9, el potencial fue inferior a -1.40 Mpa.

Figura 4. Estrés hídrico de la hoja de la variedad Piñu.

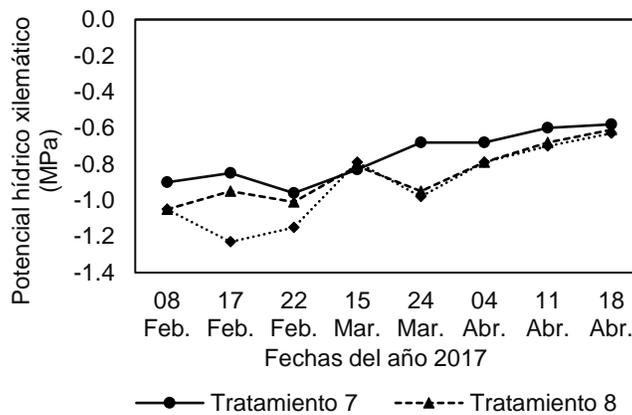


Figura 5. Estrés hídrico de la hoja de la variedad Waycha.

Martinez y Moreno (1992) indican que valores constantes diarios del potencial de agua del suelo de las plantas permite que se mantenga el potencial del agua en las hojas casi constante entre -0.5 y -0.6 MPa. La reducción del potencial de agua de las hojas fue más evidente a partir del segundo día de estrés con tasas de disminución de 0.14 MPa día⁻¹ en la variedad de papa Revolución y 0.16 MPa día⁻¹ en la variedad de papa Yungay, se determinó que al finalizar el período de estrés, el potencial de agua foliar llega a valores de -1.8 MPa en Revolución y -2.0 MPa en Yungay.

Evaluación de la productividad del agua

En la Tabla 12 se observa que el tratamiento 3 presentó un mejor aprovechamiento del agua aplicada a la variedad Luk'i logrando producir 11.71 kg m⁻³, el tratamiento 5 tuvo mejor aprovechamiento del agua aplicada a la variedad Piñu logrando producir 7.34 kg m⁻³ y el tratamiento 8 tuvo mejor aprovechamiento para la variedad Waycha con 13.82 kg m⁻³, estos tres tratamientos fueron los que mejor aprovecharon el agua para generar un mayor peso del producto cosechado.

Tabla 12. Productividad del agua en los tratamientos evaluados.

Tratamientos	Reposición de lámina de agua	Volumen de agua L m ⁻²	Volumen de agua m ³ ha ⁻¹	Rendimiento kg ha ⁻¹	Producción kg m ⁻³
1	100%	507.80	5078.0	57000	11.22
2	75%	463.06	4630.6	52000	11.23
3	50%	418.40	4184.0	49000	11.71
4	100%	507.80	5078.0	35000	6.89
5	75%	463.06	4630.6	34000	7.34
6	50%	418.40	4184.0	29000	6.93
7	100%	507.80	5078.0	50000	9.85
8	75%	463.06	4630.6	64000	13.82
9	50%	418.40	4184.0	46000	10.99

Mamani (2015) aplicando láminas de riego obtuvo para la variedad Waycha una productividad del agua que oscila entre 10.9 a 13.7 kg m⁻³. Oweis (2012), menciona que la productividad del agua para el cultivo de papa es superior a 7 kg m⁻³, representando una buena productividad. Se puede afirmar que la productividad del agua alcanzada es óptima y es atribuible al agua aplicada en las fases críticas del cultivo.

Eficiencia del uso del agua

El tratamiento 3 presentó mejor índice de eficiencia del uso de agua, indicando que para la producción de 1 kg de papa es necesario utilizar 85.40 L de agua, el tratamiento 5 tuvo mejor índice de eficiencia de uso del

agua, ya que para la producción de 1 kg de papa es necesario utilizar 136.24 L de agua y el tratamiento 8 presentó un mejor índice de eficiencia de uso del agua, que para la producción de 1 kg de papa es necesario utilizar 72.36 L de agua (Tabla 13).

En consecuencia, estos tres tratamientos presentaron mayor índice de eficiencia de uso del agua, provenientes del riego más la precipitación efectiva, de modo que representa un ahorro del agua mayor por unidad de papa producida en peso, en comparación con el resto de los tratamientos.

Mamani (2015), obtuvo eficiencia de uso del agua de 73.0 L kg⁻¹, 91 L kg⁻¹ y 92.6 L kg⁻¹ para la variedad Waycha.

Tabla 13. Eficiencia del uso del agua en los tratamientos evaluados.

Tratamientos	Reposición de lámina de agua	Volumen de agua m ³ ha ⁻¹	Rendimiento kg ha ⁻¹	Eficiencia del uso del agua	
				kg m ⁻³	L kg ⁻¹
1	100%	5078.0	57000	11.22	89.13
2	75%	4630.6	52000	11.23	89.05
3	50%	4184.0	49000	11.71	85.40
4	100%	5078.0	35000	6.89	145.14
5	75%	4630.6	34000	7.34	136.24
6	50%	4184.0	29000	6.93	144.30
7	100%	5078.0	50000	9.85	101.52
8	75%	4630.6	64000	13.82	72.36
9	50%	4184.0	46000	10.99	90.99

CONCLUSIONES

Las variedades Waycha y Luk'i tuvieron rendimientos similares elevados de 53.333 y 52.667 t ha⁻¹ respectivamente con bajo rendimiento en la variedad Phiñu de 32.778 t ha⁻¹. El tratamiento 3 (variedad Luk'i con 50% de reposición de lámina de agua) presentó un mejor aprovechamiento del agua aplicada logrando producir 11.71 kg m⁻³, el tratamiento 5 (Variedad Phiñu con 75% de reposición de lámina de agua) tuvo mejor aprovechamiento del agua aplicada alcanzando producir 7.34 kg m⁻³ y el tratamiento 8 (variedad Waycha con 75% de reposición de lámina de agua) tuvo mejor aprovechamiento con 13.82 kg m⁻³, estos tres tratamientos fueron los que mejor aprovecharon el agua total para generar un mayor peso del producto cosechado por unidad de agua.

El tratamiento 3 presentó mejor índice de eficiencia del uso de agua, indicando que para la producción de 1 kg de papa es necesario utilizar 85.40 litros de agua, asimismo, el tratamiento 5 obtuvo que para la producción de 1 kg de papa es necesario utilizar

136.24 litros de agua y el tratamiento 8 indica que para la producción de 1 kg de papa es necesario utilizar 72.36 litros de agua.

Estos resultados muestran la cantidad de agua que es necesaria para la producción de los alimentos que consumimos a diario que en este caso es la papa, que mediante los niveles de reposición de lámina de agua se puede alcanzar la eficiencia en el uso del agua que es un recurso cada vez más limitado y escaso.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento al proyecto "Programación de riego deficitario controlado en cultivos andinos de papa (*Solanum tuberosum*), papalisa (*Ullucus tuberosus*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*) mediante sensores, para un uso racional del agua como medida frente al cambio climático, en el municipio de Viacha" por brindar su apoyo para la ejecución del presente trabajo de investigación orientado a la tesis de licenciatura.

BIBLIOGRAFÍA

- Canqui, F., Morales, E. 2009. Conocimiento local en el cultivo de papa. Fundación PROINPA. Cochabamba, Bolivia. 229 p.
- Chipana, R. 2010. Riego de hortalizas. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. pp. 26-30.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2008. La papa y los recursos hídricos. Roma, Italia.
- Gabriel, J., Porco, A., Angulo, A., Magne, J., La Torre, J., Mamani, P. 2011. Resistencia genética a estrés hídrico por sequía en variedades de campo (*Solanum tuberosum* L.) bajo invernadero. Revista Latinoamericana de la Papa. v. 16, n. 2, 173-208.
- Guerra, R. 2012. Acumulación de nitrógeno en el cultivo de papa (*Solanum Tuberosum*) en asociación con tarwi (*Lupinus Mutabilis*) en la comunidad de Patarani provincia Aroma. Tesis de licenciatura. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 122 p.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). 2015. Encuesta Agropecuaria. La Paz, Bolivia. 716 p.
- Mamani, I. 2015. Evaluación del comportamiento del cultivo de papa bajo condiciones de riego deficitario con tres láminas de agua en la comunidad de "Barco Belén" municipio de Achacachi. Tesis de licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 169 p.
- Mamani, R., Céspedes, R. 2012. Revista en imágenes Estación Experimental Choquenaira. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. pp. 11-12.
- Martinez, C., Moreno, U. 1992. Expresiones fisiológicas de resistencia a la sequía en dos variedades de papa sometidas a estrés hídrico en condiciones de campo. R. Bras. Fisiol. Veg. v. 4, n.1, 33-38.
- Micucci, F., Álvarez, C. 2003. El agua en los cultivos extensivos III: Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua. Archivo agronómico. INPOFOS Cono Sur, Argentina.
- Ochoa, T. 2007. Diseños experimentales. La Paz, Bolivia. 298 p.
- Oweis, T. 2012. Improving agricultural water management: from efficiency to productivity. Presentación. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia.
- Pacheco, J., Pérez A. 2010. Evaluación del manejo del riego de la papa en la empresa de cultivos varios "Valle del Yabú". Santa Clara, Cuba. Ciencias técnicas agropecuarias. v. 19, n. 3, 47-52.
- Sánchez, C. 2003. Cultivo y comercialización de la papa. Colección granja y negocios. Ripalme. Lima, Perú. pp. 75-76.
- Sánchez, C. 2005. Sistemas de riego: uso, manejo e instalación. Colección granja y negocios. Ripalme. Lima, Perú. 134 p.
- Serrano, G. 2000. Programación de riego de Ingeniería del Riego y Drenaje. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 138 p.
- Tarjuelo, J. 2005. El riego por aspersión y su tecnología. Ed. Mundi Prensa. 581 p.

Artículo recibido en: 27 de mayo 2018

Aceptado en: 17 de septiembre 2018