

Correspondence:

Rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) con diferentes técnicas de riego**Potato crop yield (*Solanum tuberosum* L.) with different irrigation techniques**

Marlon Fernando Monge Freile Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito. Km 1 ½ vía a Santo Domingo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

 ID: 0000-0001-5397-910X,
mmongef@uteq.edu.ec

Ana Rut Álvarez Sánchez

Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito. Km 1 ½ vía a Santo Domingo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

 ID: 0000-0003-2780-8600

José Noel Condori Cahuapaza

Autoridad Nacional del Agua (ANA) Calle Diecisiete N° 355, Urb. El Palomar, San Isidro - Lima, Perú.

 ID: 0000-0001-6194-2091

Aimé Rosario Batista Casaco

Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito. Km 1 ½ vía a Santo Domingo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

 ID: 0000-0002-1039-7414

Wilver Humberto Santana Alvarado

Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito. Km 1 ½ vía a Santo Domingo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

 ID: 0000-0002-6735-1257

Resumen

Se estudiaron tres técnicas de riego para disminuir los aportes hídricos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), para ello, se evaluó el rendimiento total del cultivo obtenido de cada técnica de riego, el consumo de agua utilizado en todo el periodo vegetativo y la eficiencia de aplicación para el riego por superficie. Las técnicas de riego fueron: el riego parcial de la zona de raíces más riego intermitente, el riego intermitente y el riego continuo. El diseño experimental estuvo conformado por 6 bloques en un área total neta de 1080 m². El diseño estadístico del experimento estuvo determinado por bloques completamente al azar con arreglo de 3 por 6. Los rendimientos totales para la técnica de riego parcial de la zona de raíces más riego intermitente fue de 42.12 tn*ha⁻¹, para el riego intermitente 38.36 tn*ha⁻¹ y para el riego continuo se obtuvo 35.30 tn*ha⁻¹. El consumo de agua utilizado en todo el periodo vegetativo fue de 1446.97 m³*ha⁻¹, 2903.24 m³*ha⁻¹ y 5025.21 m³*ha⁻¹. La eficiencia de aplicación fue de 60.17 %, 59.97 % Y 34.63. Obteniendo que la técnica de riego parcial de la zona de raíces más riego intermitente fue el método más eficiente con el mayor rendimiento, obteniendo un ahorro de agua aproximado de un 71% comparado con el riego continuo.

Palabras clave Eficiencia, Sistema de irrigación, riego continuo, riego intermitente, riego parcial.

Abstract

Three irrigation techniques were studied to reduce the water supply in the potato crop (*Solanum tuberosum* L.), for this, the total yield of the crop obtained from each irrigation technique was evaluated, as well as the water consumption used throughout the vegetative period and application efficiency for surface irrigation. The irrigation techniques were: partial irrigation of the root zone plus intermittent irrigation, intermittent irrigation and continuous irrigation. The experimental design consisted of 6 blocks in a total net area of 1080 m². The statistical design of the experiment was determined by completely randomized blocks with a 3 by 6 arrangement. The total yields for the technique of partial irrigation of the root zone plus intermittent irrigation was 42.12 tn*ha⁻¹, for intermittent irrigation 38.36 tn*ha⁻¹ and for continuous irrigation 35.30 tn*ha⁻¹ was obtained. The water consumption used throughout the vegetative period was 1446.97 m³*ha⁻¹, 2903.24 m³*ha⁻¹ and 5025.21 m³*ha⁻¹. The application efficiency was 60.17%, 59.97% and 34.63. Obtaining that the technique of partial irrigation of the root zone plus intermittent irrigation was the most efficient method with the highest yield, obtaining an approximate water saving of 71% compared to continuous irrigation.

Keywords Efficiency, Irrigation system, continuous irrigation, intermittent irrigation, partial irrigation.

Introducción

La papa es uno de los tubérculos más importantes en la producción alimentaria a nivel mundial, por ser un producto de consumo masivo, el área de cultivo registrado tan solo en el año 2018 fue de 321,200 hectáreas. Los espacios asignados a este cultivo, está aumentando constantemente debido a que es un producto con alta demanda.

Existen diversas técnicas de riego en el cultivo de papa no obstante, la técnica de riego mas utilizada en muchos países sudamericanos como Perú, Colombia, Bolivia, Venezuela, y Ecuador es por superficie (gravedad); esta técnica se usa en extensiones de más de 1'590,545.73 hectáreas significando entre un 83,3% a 88.0% del total del área como en la sierra Peruana (Tapia et al., 2007).

Este sistema de riego tiene una baja eficiencia de aplicación que esta alrededor de 25 al 30%. Siendo la escasez del agua uno de problemas más significativos para la agricultura, por lo que bajo estas circunstancias de estrés hídrico que ocasiona una afectación severa a los cultivos, es necesario incrementar la eficiencia y la racionalización del recurso hídrico mejorando así la productividad del agua, la cual se mide mediante la cantidad de producción que se obtiene por unidad de agua utilizada en la producción (Gutiérrez & Espinoza, 2007).

La papa (*Solanum tuberosum* L.), es una variedad que tiene atributos de resistencia y precocidad que la hacen atractiva para los agricultores involucrados en el cultivo de papa. La adaptación de esta variedad a diferentes ambientes permite una amplia distribución geográfica, en regiones de la costa y sierra. Las buenas características para el consumo en fresco y para el procesamiento en tiras, representan una alternativa de mejores ingresos para los agricultores por la demanda que puede generar en el mercado (Belausteguis & Mustieles. 2014).

La planta de papa es muy sensible tanto a la falta (déficit) como al exceso de agua. El exceso puede ser contrarrestado por diferentes formas, pero las pérdidas que causa la deficiencia de agua son más comunes y notorias (Egusquiza & Catalán, 2011).

Ante esta situación, el presente trabajo se dio a la tarea de investigar la aplicación de técnicas de riego para disminuir los aportes hídricos con respecto a las necesidades del cultivo de la papa y se comparó la producción obtenida en la cosecha y el volumen de agua utilizada entre los tratamientos, por lo que se trazó el siguiente objetivo: Evaluar el uso eficiente del agua a través de diferentes técnicas de riego en el rendimiento del cultivo de papa variedad (*Solanum tuberosum* L.).

Correspondence:

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El presente estudio se desarrolló dentro de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicada en el distrito de la Molina, provincia de Lima, departamento de Lima, la ubicación geográfica es la siguiente: Latitud Sur 12°05'54" y Longitud Oeste 77°00' a 238 msnm. La parcela experimental fue instalada en un área neta de 1080 m² de cultivo de papa variedad ÚNICA (*Solanum tuberosum* L.), cada técnica de riego tuvo 6 bloques de 6 m x 10 m. El espaciamiento entre surco a surco para todos los bloques fue de 1 metro y el espaciamiento entre planta fue de 0.40 metros, en consecuencia, cada bloque tubo 150 plántulas de papa.

Diseño experimental

Cálculo y medición de caudal no erosivo ($Q_{m.n.e}$)

Se determinó teóricamente el caudal máximo no erosivo utilizando la relación matemática siguiente:

$$Q_{m.n.e}(l/s) = \frac{C}{S^a}$$

Donde:

C, a: Constantes (ver Tabla 1)

S: Pendiente del terreno (%)

Tabla 1. Valores de constantes según la textura del suelo

Tipo de suelo	C	a
Muy fina	0.892	0.937
Fina	0.998	0.55
Media	0.613	0.733
Gruesa	0.644	0.704
Muy gruesa	0.665	0.548

Fuente: Olarte (1987)

Lámina neta (L_n)

Para el cálculo de la lámina neta se utilizó la siguiente ecuación:

$$L_n = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) * Da * Z * Ur$$

Donde:

CC: Capacidad de Campo (% en masa)

PMP: Punto de Marchitez Permanente (% en masa)

Da: Densidad aparente (gr/cm³)

Z: Profundidad radicular (cm)

Ur: Umbral de riego o fracción de agotamiento permisible.

Evapotranspiración del Cultivo – Necesidad neta

Con la información meteorológica disponible se procedió al cálculo de la evapotranspiración diaria de referencia (ET_o) durante todo su ciclo vegetativo mediante el método del Tanque Evaporímetro. Una vez determinado la ET_o se procedió a calcular la evapotranspiración diaria del cultivo (ET_c) multiplicando la ET_o por el coeficiente del cultivo (K_c) determinando así la necesidad neta del cultivo (N_n) en cada riego. Para lo cual se empleó la siguiente ecuación

$$ET_o = K_p E_{tan}$$

$$ET_c = K_c ET_o$$

$$N_n = 10(ET_c)$$

Donde:

K_p: Coeficiente del tanque evaporímetro

E_{tan}: Evapotranspiración del tanque evaporímetro (mm)

Evaluación de riegos.

Para determinar las curvas de avance se realizaron pruebas de campo al momento de efectuar el riego para cada tratamiento. La prueba de campo consiste en medir el tiempo transcurrido hasta que el frente de agua alcance varios puntos de referencia equidistantes a lo largo del surco, estas fueron colocadas cada 10 metros. El caudal de entrada al surco se controlaba con la abertura de las multi compuertas instaladas en la tubería principal, conservando un caudal uniforme para los 3 tratamientos de riego.

Humedad del suelo

Utilizando un barreno se realizaron muestreos al suelo antes y después del riego a profundidades de 10, 20 y 40 cm de profundidad, con el objetivo de determinar el contenido de humedad del suelo mediante el método gravimétrico, las muestras tomadas en campo antes y después del riego fueron pesadas y secadas en la estufa a una temperatura de 105 °C, durante 24 horas.

Parámetros del cultivo

Rendimiento total: Todos los tubérculos cosechados dentro del área de muestreo fueron pesados.

Rendimiento comercial: todos los tubérculos comerciales fueron clasificados de acuerdo a los calibres (Extra, primera y segunda) y clasificados de acuerdo a sus categorías.

Rendimiento no comercial: todos los tubérculos fueron clasificados de acuerdo a los calibres (tercera y descarte) y clasificados de acuerdo a sus categorías. Para la determinación del calibre y clasificación de los tubérculos cosechados se empleó la tabla 2.

Tabla 2. Descripción de calibres o diámetros de tubérculos de papa

Categoría		Diámetro longitudinal (cm)
Extra		>9.0
Primera		7.5 – 9.0
Segunda		6.0 -7.5
Tercera		4.5 – 6.0
“chancho”	o	< 4.5
“descarte”		

Fuente: Sifuentes (2012)

Correspondence:

Resultados

El resultado del diseño agronómico sobre el caudal máximo no erosivo se encontraron valores de: $C = 0.613$ y $a = 0.733$ (textura franco arenoso) y la pendiente del suelo fue de 0.85% , reemplazando a la ecuación se tiene:

$$Q_{mne} = \frac{0.613}{0.85^{0.733}}$$

$$Q_{mne} = 0.69 \text{ l/s}$$

Lámina neta

Se realizó el análisis para tres profundidades radiculares diferentes (Z); las cuales fueron 10, 20 y 40 cm, esto se lo realizó debido a que la profundidad radicular de la papa no es homogénea o a lo largo de su ciclo fenológico por tanto se obtuvieron tres laminas netas diferentes para cada estadio del cultivo, las láminas trabajadas son las siguientes:

- Lámina neta a 10 cm de profundidad radicular

$$Ln_i = \left(\frac{16.34 - 10.38}{100} \right) * 1.57 \text{ g/cm}^3 * 10 \text{ cm}$$

$$Ln_i = 9.36 \text{ mm}$$

- Lámina neta a 20 cm profundidad radicular.

$$Ln_i = \left(\frac{16.34 - 10.38}{100} \right) * 1.57 \text{ g/cm}^3 * 20 \text{ cm}$$

$$Ln_i = 18.72 \text{ mm}$$

- Lámina neta a 40 cm de profundidad radicular.

$$Ln_i = \left(\frac{16.34 - 10.38}{100} \right) * 1.57 \text{ g/cm}^3 * 40 \text{ cm}$$

$$Ln_i = 37.43 \text{ mmz}$$

Determinación de la evapotranspiración de cultivo

Para determinar la evapotranspiración de cultivo (ET_c), se procedió previamente a determinar la evapotranspiración de referencia (ET_o), lo cual, se lo realizó con el tanque evaporímetro clase A. Para el coeficiente del cultivo (K_c), se utilizó la información del boletín FAO N°56, para el cultivo de papa de acuerdo al estado fenológico del cultivo se halló tres K_c para dicho cultivo; K_c : 0.4, este coeficiente se utilizó para los 20 primeros días; K_c : 1.15, desde los 20 días después de la siembra hasta los 100 días del cultivo y K_c : 0.65, a partir de los 100 días del cultivo hasta la cosecha.

Número de riegos

Los riegos se dividieron en dos etapas; la primera etapa fue la fase no experimental y la segunda etapa fue la etapa experimental, se utilizaron las tres laminas neta de riego antes calculadas, el criterio fue de reponer la humedad del suelo, a una profundidad arable de 10 cm (hasta los 20 días después de la siembra), 20 cm (hasta los 60 días después de la siembra) y 40 cm (de los 60 días de la siembra hasta la cosecha).

a.- Etapa no experimental: Los resultados del régimen hídrico de esta etapa se presentan en la Figura 1a, en las cuales los picos de curva indican los días en los que se realizaron los respectivos riegos.

b.- Etapa experimental: La fase experimental empezó, a los 62 días después de la siembra, cuando se hizo el primer riego experimental y se prolongó hasta el final de la campaña agrícola. En esta fase se hicieron 10 riegos experimentales, los resultados de esta etapa se muestran en la Figura 1b.

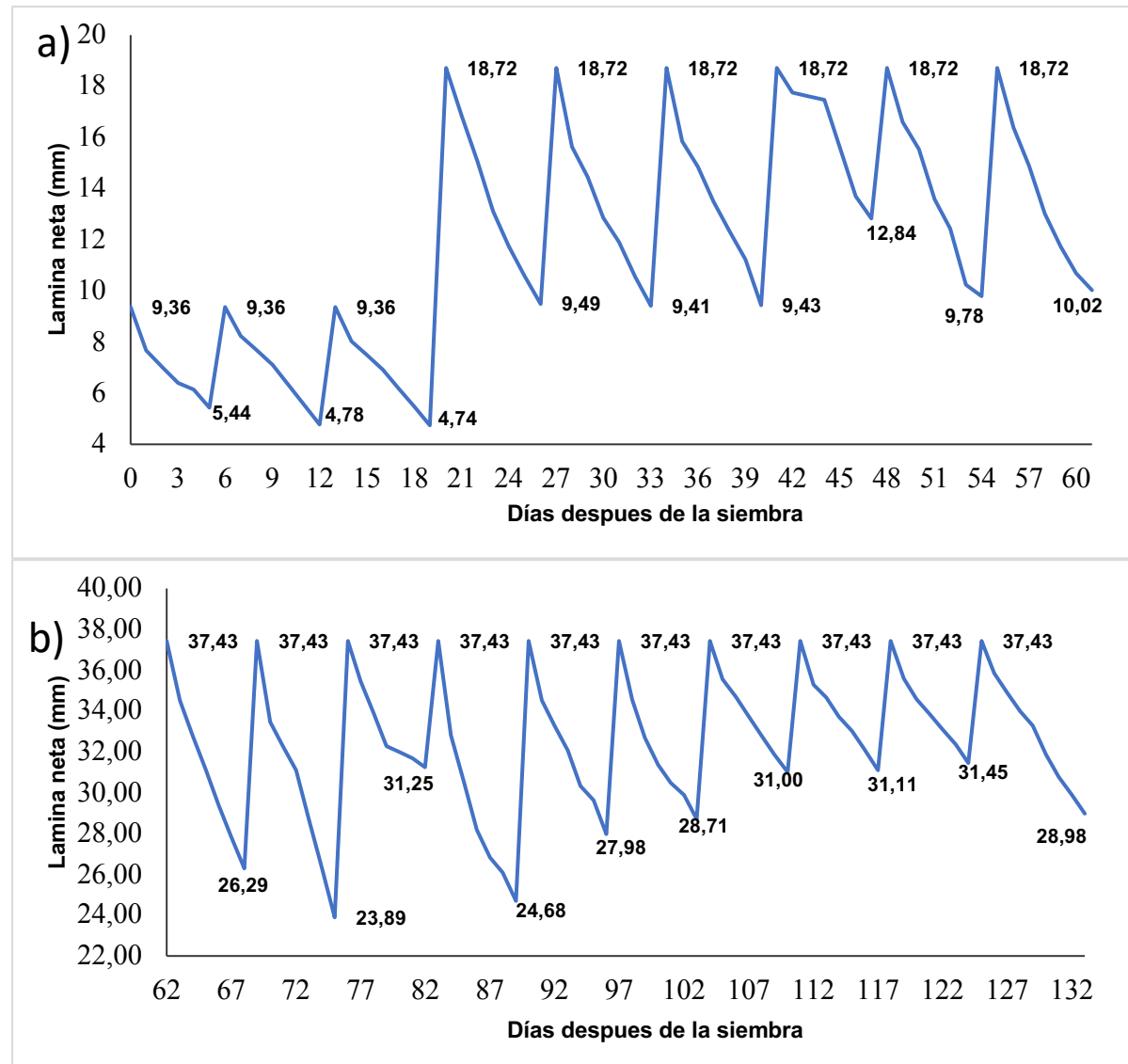


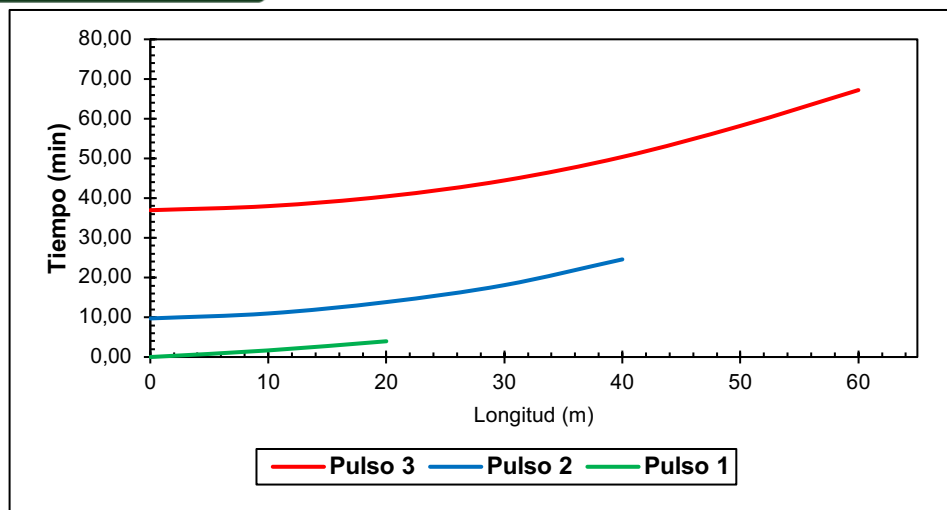
Figura 1. A) Régimen hídrico etapa no experimental, b) Régimen hídrico etapa experimental.

Curvas de avance.

Se obtuvo las curvas de avance para cada tratamiento, las figuras 3 y 4 muestran las curvas de avance típicos del riego intermitente y el riego parcial de la zona de raíces con intermitencia respectivamente.

Correspondence:

a)



b)

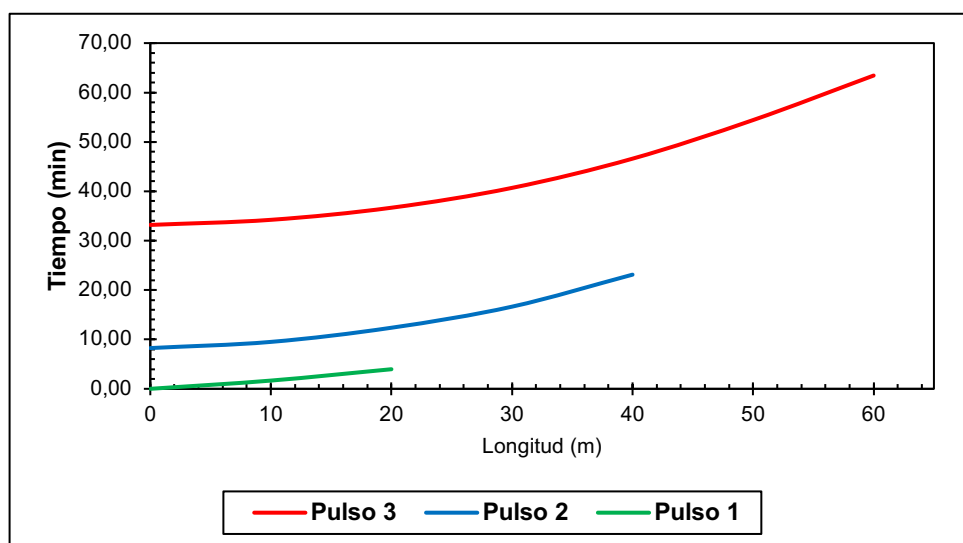


Figura 2. A) Curva de avance del riego intermitente – Primer Riego – Surco 1, B) Curva de avance del riego parcial de la zona de raíces con intermitencia – Primer Riego – Surco 1.

Contenido de humedad

En los siguientes gráficos se presentan los resultados promedios obtenidos del contenido de humedad a una profundidad 40 cm, dicha medición de contenido de humedad fueron medidos antes de cada riego (A.R) y después de cada riego (D.R), para cada tratamiento.

En las figuras 5 y 6, se puede observar que, con el riego continuo y el riego intermitente. Los valores de contenido de humedad fueron muy próximos e incluso mayores a la capacidad de campo luego de la aplicación del riego, disminuyendo en los periodos sin riego, sin llegar al punto de marchitez permanente y manteniéndose dentro del rango de agua fácilmente aprovechable, por la cual no se tuvo ninguna condición de déficit hídrico.

Mientras que, con el tratamiento de riego parcial de la zona de raíces con intermitente (Figura 7), la humedad gravimétrica se midió para cada lado (izquierda y derecha) de la zona de riego alternado, lo cual generó valores próximos al valor de capacidad de campo al día siguiente de la aplicación del riego, mientras que en lado del surco que no se regó en ese turno presentó los valores más bajos (aproximadamente entre 10% y 11% de humedad gravimétrica del suelo).

Correspondencia:

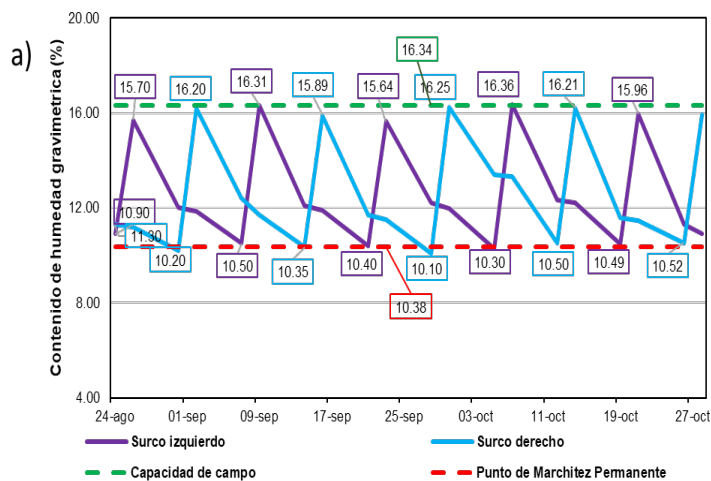
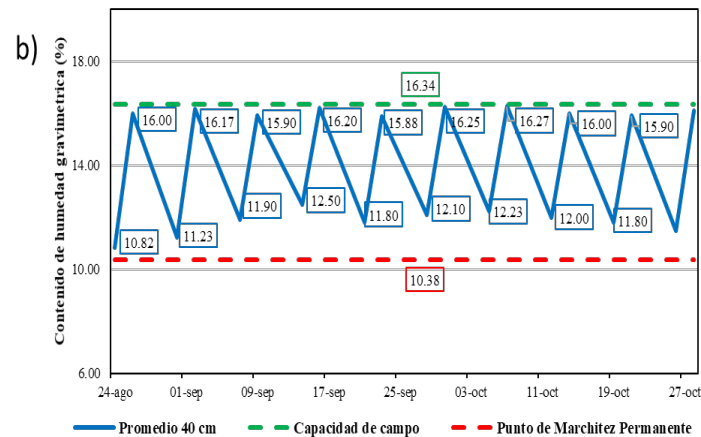
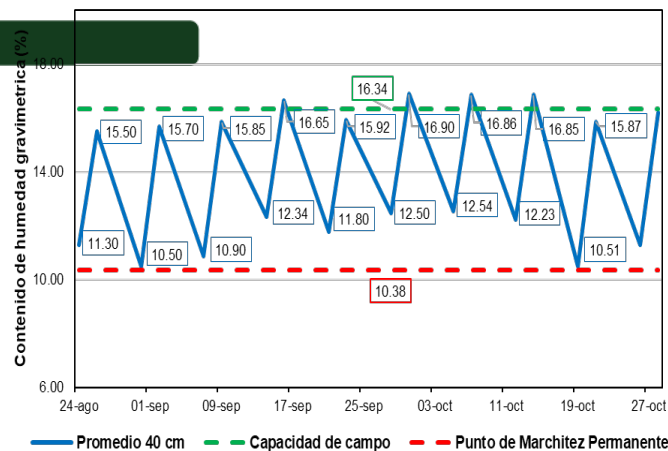


Figura 3. A) C
ontenido de humedad – Riego continuo; B) Contenido de humedad – Riego Intermitente; C) Contenido de humedad – RPZR mas riego intermitente

Correspondence:

Eficiencia de riego

La eficiencia de aplicación del agua en los tratamientos de riego se determinó aplicando la proporción de la Lámina de agua que se debe aplicar al cultivo y la lámina de agua aplicada. Donde se obtuvo valores promedios de eficiencia del riego parcial de la zona de raíces con intermitencia que fluctuaron entre 58.70 % a 62.75 %, con un promedio de eficiencia de 60.17 %, en el tratamiento de riego intermitente fue de 58.07 % a 62.37 % con un promedio de eficiencia de 60 %, en el tratamiento de riego continuo se obtuvo una eficiencia de riego de 34.63 %.

Volumen de agua aplicada por tratamiento

Se determinó los volúmenes de agua aplicados a cada surco en cada variante durante los 10 riegos experimentales, los cuales se muestra en el Tabla 1. Donde se puede observar que el volumen de agua en el tratamiento de riego parcial de la zona de raíces más riego intermitente fue de 1446.97 m³/ha, en comparación con el riego continuo que necesitó un volumen de 5025.21 m³/ha.

Tabla 3. Volumen total de aplicación de agua por campaña

Tratamiento	Tiempo riego Promedio (min)	Caudal (l/s)	Volumen de agua aplicado (m ³ /ha).
RPZR más riego intermitente	68.49	0.50	1446.97
Riego intermitente	68.71	0.50	2903.24
Riego continuo	118.93	0.50	5025.21

Rendimiento del cultivo de papa

Se hizo el análisis de varianza para el rendimiento total en donde según la Tabla 4, el análisis de varianza para el rendimiento total de tubérculos por planta, muestra que existe diferencias altamente significativas entre los tratamientos (tipos de riego) con un coeficiente de variabilidad de 8.52%.

Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey a un $\alpha = 0.05$ (Tabla.5), se observó que el tratamiento de riego parcial de la zona de raíces con intermitencia, alcanzó el mejor rendimiento total de tubérculos por planta de 1684.79 g/planta, seguido por el tratamiento de riego intermitente con un rendimiento de 1534.50 g/planta. El tratamiento de riego continuo obtuvo un rendimiento total promedio de 1411.91 g/planta, estadísticamente menor a los otros tratamientos y con una reducción del 17% con respecto al valor más alto.

Tabla 4. Cuadrados medios y análisis de varianza del rendimiento total de tubérculos por planta, para los tres tipos de riego

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
Tratamiento	2	224157.03	112078.52	6.47	0.0156 *
Bloque	5	133314.19	26662.84	1.54	0.262 NS
Error	10	173120.53	17312.05		
Total	17	530591.75			

Tabla 5. Prueba de comparación de medias de Tukey para el rendimiento total del cultivo de papa, para los tres tipos de riego

Tratamiento	N	Media (g/planta)	Agrupación	Coefficiente de variación
RPZR	6	1684.79	A	8.52%
Riego intermitente	6	1534.50	AB	
Riego continuo	6	1411.91	B	

Conclusiones

La situación del enfoque de la indagación científica en la educación secundaria del Perú sigue centrada en un modelo tradicional y constructivista a pesar de que se trabaja en un enfoque por competencias, se continúa con un énfasis en el contenido disciplinar, indagación científica dirigida en prácticas de laboratorio disciplinares, por ello los logros en las competencias del área de ciencia y tecnología son bajas lo que limita el desarrollo de las capacidades investigativas generando un bajo interés del estudiante por la indagación científica

El tratamiento de la indagación científica requiere de un enfoque transdisciplinar, un aprendizaje basado en un modelo Steam, estrategias basada en proyectos, problemas y la integración de las Tics, que promueve aprendizajes entrelazando las epistemes de cada disciplina, que de manera integrada para responder a las situaciones del mundo complejo, y lograr en los estudiantes procesos cognitivos de alta demanda de estudiantes con un pensamiento complejo, científico y tecnológico.

La evaluar la perspectiva de la indagación científica, desde una mirada transdisciplinar en base a los fundamentos teóricos, conllevó a tener en cuenta cambios paradigmáticos con nuevas miradas de organización curricular, didáctica, educativa y pedagógica que asuman que la indagación científica es un enfoque transversal que se consolida con el modelo Steam para atender a la sociedad actual y compleja.

Referencias

- Al-Omran, A., Louki, I., Alkhasha, A., El-Wahed, A., Hassan, M., & Obadi, A. 2020. Water Saving and Yield of Potatoes under Partial Root-Zone Drying Drip Irrigation Technique: Field and Modelling Study Using SALTMED Model in Saudi Arabia. *Agronomy*, 10(12), 1997.
- Barideh, R., Besharat, S., Morteza, M., & Rezaverdinejad, V. 2018. Effects of Partial Root-Zone Irrigation on the Water Use Efficiency and Root Water and Nitrate Uptake of Corn. *Water*, 10(4), 526.
- Belausteguis, S. & Mustieles, A. 2014. Sistema de riego intermitente para el uso eficiente del agua. Disponible en: <https://www.agrosintesis.com/component/content/article/49-front-page/223-metodos-de-riego-en-trigo?fontstyle=f-larger>
- Egúskuiza, R. & Catalán, W. 2011. Guía técnica. Curso – Taller Manejo integrado de papa. UNALM-Agrobanco. Cuzco, Perú. Disponible en: https://www.agrobanco.com.pe/pdfs/CapacitacionesProductores/Papa/MANEJO_INT EGRADO_DE_PAPA.pdf
- El-Abedin, T., Mattar, M., Alazba, A., & Al-Ghobari, H. 2017. Comparative effects of two water-saving irrigation techniques on soil water status, yield, and water use efficiency in potato. *Scientia Horticulturae*, 225: 525-532.
- Elhani, S., Haddadi, M., Csákvári, E., Zantar, S., Hamim, A., Villányi, V. & Bánfalvi, Z. 2019. Effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on yield, irrigation water-use efficiency and some potato (*Solanum tuberosum* L.) quality traits under glasshouse conditions. *Agricultural Water Management*, 224: 105745.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje N° 56. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- Génova, L., Andreau, R. & Etchevers, P. (2015). Desempeño de tres métodos de riego de maíz por surcos: caudal único, dos caudales y caudal discontinuo. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 113(2): 174-191.
- Gutiérrez, J y Espinoza, M. 2007. ÚNICA: Variedad Peruana para mercado fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas. *Revista Latinoamérica de la papa*. 14(1): 41-51.
- Quispe, V., & Alejandro, B. 2016. Evaluación del riego por pulsos con modelación Sirmod II en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Waych'a en el Centro

Experimental de Cota Cota (No. CIDAB-T-SB211. P8-V31e). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz (Bolivia). Facultad de Agronomía.

Sánchez-Delgado, M., Mejía-Marcacuzco, J. A., Guevara-Pérez, E., Natividad-Toribio, P., & Razuri-Ramírez, L. 2020. Effect of the arrangement of drip irrigation laterals and partial soil drying on potato yield. *Revista Ingeniería UC*, 27(2): 136 – 149

Sarker, K. K., Hossain, A., Timsina, J., Biswas, S. K., Kundu, B. C., Barman, A., & Akter, F. 2019. Yield and quality of potato tuber and its water productivity are influenced by alternate furrow irrigation in a raised bed system. *Agricultural Water Management*, 224: 105750.

Tapia, M., Fries, A.M., Mazar, I., Rosell, C. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. FAO-Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú. Lima, PE. p. 209.