

## RESPUESTA DEL CULTIVO DE PAPA A CUATRO TRATAMIENTOS EN RIEGO PRESURIZADO

**Julia Elizabeth Hernández-Luna<sup>1</sup>; Ernesto Sifuentes-Ibarra<sup>2</sup>; Vladimir Ruiz-Pérez<sup>1</sup>; Sergio Jiménez-Jiménez<sup>3</sup>; Celia Selene Romero-Felix<sup>1</sup>; Cipriano Fuentes-Verduzco<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa-Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, México, C.P. 81110.

<sup>2</sup>INIFAP-Campo Experimental Valle del Fuerte. Carretera México-Nogales km 1609, C.P. 81110, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, México.

<sup>3</sup>INIFAP-Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, Margen derecha canal Sacramento km 6.5, Zona industrial, C.P. 35140, Gómez Palacio, Durango, México.

j.elizabethluna@outlook (\*Autor de correspondencia)

---

### Resumen

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es considerada como alimento básico a nivel mundial, sus altos contenidos nutricionales como carbohidratos, vitaminas y minerales lo vuelven esencial en la dieta de miles de personas. Es un cultivo que para asegurar el rendimiento y la calidad de los tubérculos es necesario un manejo del riego eficiente (cantidad y disponibilidad). Los rendimientos de este cultivo se ven afectados por falta de agua en tres momentos críticos: emergencia, inicio de tuberización y tuberización, pudiendo causar también tubérculos deformes y el ataque de enfermedades provocadas por bacterias y hongos principalmente demeritando la calidad de la producción y el precio de cosechas. Los sistemas de riego presurizados han demostrado ser una herramienta que permite manejar el riego de manera eficiente en este cultivo, sin embargo, la precisión y eficiencia de estos sistemas requiere contar con información sobre su operatividad en campo y la calendarización del riego. En el presente estudio se evaluó la respuesta del cultivo de papa a cuatro tratamientos (T) de riego; T1-100% (aspersión fija) se aplicó el 100% del requerimiento de riego (RR), T2-80% (aspersión fija) del RR, T3 efecto traslape de los T1 y T2 y T4 (goteo) aplicando el 100% del RR. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones, para la programación del riego se usó la plataforma IRRIMODEL. Se evaluaron las variables, biomasa y rendimiento. Se estimó un requerimiento de riego de 60.39 cm, la eficiencia de aplicación del riego por aspersión fija fue del 87% y 95% del sistema de riego por goteo. Los rendimientos más altos se obtuvieron en el T1, así como los tubérculos de mayor calidad (primeras), la diferencias en rendimiento entre los T1 (aspersión fija) y T4 (goteo) fue de 3,428 kg/ha, el T3 obtuvo los rendimientos más bajos y valores medios en calidad del tubérculo, el T4 obtuvo el mayor porcentaje de tubérculos clasificados como rezaga o no aptos para comercialización.

**Palabras claves:** Aspersión, rendimiento, calidad.

## Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es considerada como alimento básico a nivel mundial, sus altos contenidos nutricionales como carbohidratos, vitaminas y minerales lo vuelven esencial en la dieta de miles de personas a nivel mundial (Camire, 2016); los principales productores son China, India, Rusia, Ucrania y Estados Unidos y es el tercer cultivo más importante después del trigo y el maíz con más de 20 millones de hectáreas establecidas. (FAOSTAT 2017).

En México el cultivo de papa es uno de los más importantes, forma parte de la dieta de las familias y juega un papel determinante en la economía del país. Se produce en toda la República Mexicana siendo el estado de Sinaloa el mayor productor con una superficie de 13,250 ha y un rendimiento promedio de 34.9 ton/ha (SIAP, 2021), su producción se destina principalmente a la industria por lo que los predios establecidos utilizan principalmente semilla con características requeridas por este mercado.

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo intensivo de alta sensibilidad al estrés hídrico y térmico (Dalla & Mackerron, 2006; Kafkafi & Trchitzky, 2012; Quiroz, 2012) con altos costos de producción, por lo que es indispensable un buen manejo agronómico principalmente del riego para obtener altos rendimientos (Ojeda *et al.*, 2004).). Los rendimientos de este cultivo se ven afectados por la escasez de agua provocando una reducción en la producción de tubérculos (Rodríguez-Pérez, 2010; Quiroz, 2012). Son muchos estudios los que se han desarrollado a nivel mundial sobre este cultivo coincidiendo en que son tres momentos críticos en los que se debe evitar el estrés hídrico: emergencia, inicio de tuberización y tuberización.

Para lograr rendimientos potenciales el cultivo de papa requiere entre 400 y 700 mm, si la disponibilidad de agua se reduce a más del 30% la productividad se ve afectada (Manickam *et al.*, 2018; Quiroz, 2012). La calidad y cantidad de tubérculos están relacionados con una buena programación la cual se considera de gran importancia si se quiere obtener el potencial productivo del cultivo.

Bajo el sistema por gravedad se le aplican de 5 a 7 riegos de auxilio con una lámina total de 600 mm y un intervalo de 10 a 27 días, una eficiencia media en el uso de agua de 5 kg m<sup>-3</sup> y una duración de ciclo de 110 a 120 días (Ojeda *et al.*, 2004). El sistema de riego por goteo considerado como el más eficiente (90%) ha sido implementado en la mayoría de los cultivos ya que permite proporcionar en tiempo y cantidad el agua requerida manteniendo así los niveles de humedad del suelo cercanos a lo óptimo (Kafkafi & Tarchitzky, 2012). Según FAO (2002), el cambio de sistema de riego ya sea aspersión o gravedad a goteo reduce considerablemente las láminas de riego aplicadas entre un 30% y 60%. Para zonas con problemas de disponibilidad de agua los sistemas presurizados son una alternativa viable ya que según Chawla y Singh (2016) afirman que sistemas como el goteo ahorran hasta un 46 % de agua con respecto al riego por gravedad lo que hace que representen un avance tecnológico con amplio rango de aplicación. El objetivo

de este trabajo fue conocer la respuesta del cultivo de papa a cuatro tratamientos en riego presurizado.

## Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en el campo experimental (INIFAP) en la región norte del estado de Sinaloa, México, la cual cuenta con la mayor superficie de riego de la entidad. Este estado presenta una amplia planicie costera con pendiente menor al 2% y suelos predominantemente de textura fina, que se eleva rápidamente hasta alcanzar casi 3 000 m a medida que avanza hacia el oriente en los límites con los estados de Durango y Chihuahua. La temperatura media anual del estado varía de 24 a 26 °C, siendo la parte central la zona más caliente, mientras que en las partes altas se presenta la temperatura media anual más baja (13 a 14 °C). El mes más caliente es el mes de junio y el más frío es enero, en los meses de mayo a septiembre se tienen temperaturas medias máximas muy cercanas a 35 °C. La precipitación anual acumulada de Sinaloa de 750 mm, concentrándose en los meses de julio a septiembre, con el 70% de la precipitación acumulada en el año, siendo insignificante la precipitación de febrero a mayo, sin embargo, la distribución espacial de esta variable es muy heterogénea existiendo zonas con valores desde poco menos de 200 mm al año en el extremo NW, hasta casi 1100 zonas altas (IMTA-INIFAP, 2010).

El lote se estableció en el Campo Experimental Valle del Fuerte del INIFAP, ubicado en los 25° 45'49" latitud Norte y -108° 51'41" longitud oeste, en la parte central del distrito de riego 075 Río Fuerte con altitud de entre 18-126 msnm El estudio se realizó durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2022-2023. Los suelos del Valle del Fuerte son planos con una textura franco-arcillosa (50% arcilla, 30% limo y 20% arena), bajos en materia orgánica (menor al 1%), densidad aparente de 1.2 g cm<sup>-3</sup>, y humedad aprovechable volumétrica del 15%. La precipitación es de origen ciclónico y estacional insuficiente para suplir las necesidades hídricas de los cultivos establecidos en el principal ciclo agrícola, otoño-invierno. La evapotranspiración de referencia (1600 - 1700 mm) excede a la precipitación de manera que se requiere del riego para asegurar rendimientos.

## Tratamiento y diseño experimental

La superficie utilizada fue de 3.2 m<sup>2</sup> (dos sucos por un m). Se establecieron cuatro tratamientos (T) de riego; T1-100% (aspersión fija) se aplicó el 100% del requerimiento de riego (RR), T2-80% (aspersión fija) del RR, T3 efecto traslape de los T1 y T2 y T4 (goteo) aplicando el 100% del RR. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones, para la programación del riego se usó la plataforma IRRIMODEL con los datos de suelos, clima y cultivos actualizados para la programación del riego en papa. Las variables medidas fueron las siguiente: Biomasa cada quince días y Rendimiento. En el suelo; la humedad volumétrica con TDR portátil; de tubérculos cada quince días durante el desarrollo del cultivo. Se evaluaron cuatro tratamientos.

## Establecimiento y manejo del cultivo

La preparación del terreno fue de manera convencional (barbecho, rastreo y marca de surcos). Antes de la siembra se hizo un análisis de suelo químico-físico y se dio un riego de pre-siembra por gravedad. En el lote experimental el cultivo se estableció el 08/12/22 con una densidad de siembra de 4 tubérculos-semilla por metro lineal para tener una densidad de siembra de 50 000 semillas ha<sup>-1</sup>, la fertilización y el control fitosanitario se realizó de acuerdo con el paquete tecnológico de la zona.

El control del Manejo integrado de plagas y la programación de los riegos en cada tratamiento se realizó a través del programa IRRIMODEL© del INIFAP (Sifuentes *et al.*, 2015) que utiliza el modelo integral. El programa es operado a través de internet y requiere además la siguiente información: 1) constantes hídricas de suelo (capacidad de campo, punto de marchitez permanente y humedad aprovechable) estimadas con los modelos de Rawls & Brakensiek (1983), 2) fenología de cultivos, 3) clima (temperatura media, evapotranspiración de referencia y lluvia) adquirido en tiempo casi real de una estación agroclimática automatizada y 4) manejo del cultivo.

Los riegos se evaluaron en términos de eficiencia de aplicación (EA) expresada en % y productividad del agua (PA) expresada en kg de tubérculos producidos por metro cúbico de agua aplicado (kg m<sup>-3</sup>). La EA se estimó utilizando la ecuación:  $EA = L_n / L_b$ , donde  $L_n$  representa la lámina neta o requerimiento de riego (cm) determinado con el modelo y  $L_b$  la lámina aplicada (cm) medida con el sistema de riego. PA se estimó con la ecuación  $PA = \text{kg de tubérculo} / \text{m}^3 \text{ de agua}$ .

La fenología del cultivo se monitoreó en periodos de 15-20 días utilizando la metodología reportada por Jefferies & Lawson (1991) y adaptada por Sifuentes *et al.* (2013), donde se consideran las siguientes fases de desarrollo: 1) Brotación, 2) emergencia, 3) inicio de estolonización, 4) elongación de estolones, 5) inicio de tuberización (diámetro >1 cm), 6) desarrollo de tubérculos (diámetro de 3 a 5 cm), 7) tubérculos desarrollados (diámetro > 5 cm), 8) desvare (cáscara completa con diámetro de 7 cm) y 9) Cosecha. Los GDD se calcularon para cada etapa de desarrollo con el programa IRRIMODEL © a partir de la temperatura media diaria del aire ( $T_a$ ), utilizando las siguientes ecuaciones (Ojeda *et al.*, 2006).

$$\begin{aligned} GDD &= T_a - T_{c_{\min}}, \text{ si } T_a < T_{c_{\max}} \\ GDD &= T_{c_{\max}} - T_{c_{\min}}, \text{ si } T_a \geq T_{c_{\max}} \\ GDD &= 0, \text{ si } T_a \leq T_{c_{\min}} \end{aligned}$$

Donde  $T_{c_{\min}}$  y  $T_{c_{\max}}$  son las temperaturas umbrales de desarrollo del cultivo (mínima y máxima), para el cultivo de papa se utilizaron 2 y 29 °C respectivamente.

Con el fin de verificar el estrés provocado, se monitoreó la humedad del suelo en forma periódica en dos estratos (0-30 cm y 30-60 cm) con el método gravimétrico y con sensor de humedad portátil tipo TDR (Time Domain Reflectometry) Spectrum 300. La cosecha se realizó el 31/03/2023 a los 1870 GDD una vez que la cáscara del tubérculo tuvo la

consistencia adecuada. La extracción de tubérculos del suelo se realizó en forma mecánica con tractor, utilizando vertederas de 18 pulgadas montadas en una barra-soporte horizontal y se recolectaron manualmente.

## Resultados y discusión

Los sistemas de riego presurizados han demostrado ser una herramienta que permite manejar el riego de manera eficiente en este cultivo, sin embargo, la precisión y eficiencia de estos sistemas requiere contar con información sobre su operatividad en campo y la calendarización del riego.

Los rendimientos más altos se obtuvieron en el T1, así como los tubérculos de mayor calidad (primeras) pero con un mayor gasto de agua, el T4(goteo) fue el segundo en cuanto a rendimiento, pero obtuvo el mayor porcentaje de tubérculos clasificados como rezaga o no aptos para comercialización, la diferencias en rendimiento entre los T1 (aspersión fija) y T4 (goteo) fue de 3,428 kg/ha, el T3 (traslape) obtuvo buen resultado pero con un requerimiento de riego del 90%,el T2 obtuvo los rendimientos más bajos y valores medios en calidad del tubérculo.

En el siguiente cuadro se observan los porcentajes con respecto al uso del agua.

**Cuadro 1.** Estimación del requerimiento de riego.

TRATAMIENTOS	REQUERIMIENTO	LN (cm)	LB (cm)
1	60.39	60.39	69.41
2	60.39	54.36	62.47
3	60.39	42.32	55.53
4	60.39	60.39	69.4

A continuación, se muestran las calidades del rendimiento de papa en lo cuatro tratamientos.

**Cuadro 2.** Comparación de calidades.

Calidad de papa	T1 (kg)	T2 (kg)	T3 (kg)	T4(kg)
1	5.05	5.303	5.303	3.1666667
2	3.583	3.61	3.61	2.975
3	3.6	3.3	3.3	1.2166667
4	0.75	0.45	0.45	1.324
Canica	0.35	0.2	0.2	0.4
Rezaga	0.95	0.75	0.75	4.1

El T1, muestra un rendimiento mayor en comparación al T3, más bajos.

## Gráfica de rendimiento.

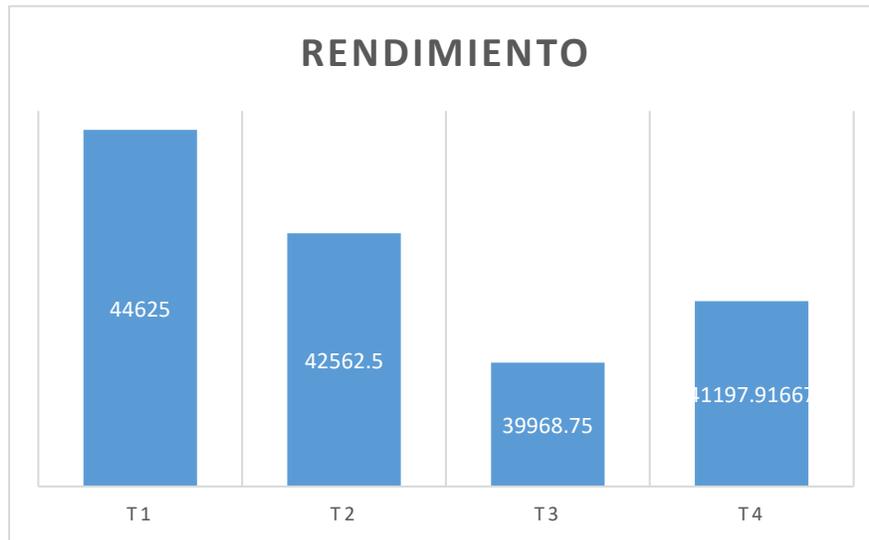


Figura1. Comportamiento del rendimiento en cada uno de los tratamientos.

## Conclusiones

En relación con lo antes expuesto, podemos concluir que los rendimientos sistemas de presurización han demostrado ser una herramienta que permite manejar el riego de manera eficiente en este cultivo. En lo que se refiere al T1 (100%), es el más eficiente si la disponibilidad de agua no tiene restricción y el goteo traslape son una buena opción cuando hay restricción de agua.

El riego tecnificado ya sea por goteo o aspersión disminuye el consumo de agua en las labores agrícolas, optimizando sus gastos, obteniendo mayor producción y calidad en cada cosecha.

## Referencias Bibliográficas

M Camire. 2016. Advances in Potato Chemistry and Technology. Advances in Potato Chemistry and Technology: 685-704.

FAO. 2002. Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030.

A. Chawla, K Singh. 2016. Best Management Practices for Drip Irrigation Crops: 299-332.

Rodríguez G. C., P. Paredes, J. M. Goncalves, I. Alves and L. S. Pereira. 2013. Comparing sprinkler and drip irrigation systems for full and deficit irrigated maize using multicriteria analysis and simulation modelling: ranking for water saving vs. farm economic returns. Agricultural Water Management 126:85-96, 2013.

- L. Rodríguez-Perez. 2010. Ecofisiología del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L). Rev. Colomb. Cienc. Hortic, 4: 97-108.
- Guerrero-Guio, J. C., Cabezas Gutiérrez, M., & Galvis Quintero, J. H. 2019. Efecto de dos sistemas de riego sobre la producción y uso eficiente del agua en el cultivo de papa variedad diacol capiro. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(1), 41-52.
- J. Manickam, S. Pillai, R Manickam. 2018. Engineering interventions in sustainable trickle irrigation: 3-34.
- L. Dalla, D MacKerron. 2006. Management of nitrogen and water in potato production: 111-173.
- R Quiroz. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua: 530-530.