



*Diseño y aplicación del método de riego por gravedad en el cultivo de papa en la estación experimental tunshi*

*Design and application of the gravity irrigation method in potato cultivation at the tunshi experimental station*

*Projeto e aplicação do método de irrigação por gravidade no cultivo de batata na estação experimental de tunshi*

Juan Eduardo León-Ruiz<sup>I</sup>  
[juan.leon@esPOCH.edu.ec](mailto:juan.leon@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-5304-7959>

Juan Sebastián Silva-Orozco<sup>II</sup>  
[juan.silvaso@esPOCH.edu.ec](mailto:juan.silvaso@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-4271-8363>

Paul Marcelo Tacle-Humanante<sup>III</sup>  
[ptacle@esPOCH.edu.ec](mailto:ptacle@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-7850-6146>

Cristhiam Alfredo Lema-Asitimbay<sup>IV</sup>  
[cristhiam.lema@esPOCH.edu.ec](mailto:cristhiam.lema@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-9819-5456>

**Correspondencia:** [juan.leon@esPOCH.edu.ec](mailto:juan.leon@esPOCH.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 03 de junio de 2022 \* **Aceptado:** 27 de junio de 2022 \* **Publicado:** 14 de septiembre de 2022

- I. Doctoris Philosophiae en Recursos Hídricos, Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Centro Experimental del Riego, Grupo de Investigación y Transferencia de Tecnología en Recursos Hídricos (GITRH), Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniero Agrónomo, Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Centro Experimental del Riego, Grupo de Investigación y Transferencia de Tecnología en Recursos Hídricos (GITRH), Riobamba, Ecuador.
- III. Ingeniero, PhD en Ciencias, Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Centro Experimental del Riego, Grupo de Investigación y Transferencia de Tecnología en Recursos Hídricos (GITRH), Riobamba, Ecuador.
- IV. Ingeniero Agrónomo, Investigador independiente, Riobamba, Ecuador.

## Resumen

El objetivo de este trabajo de investigación es evaluar la eficiencia de la aplicación del método de riego por gravedad, huella hídrica, y rendimiento en el cultivo de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*. L). variedad fripapa. Se ha realizado un estudio en estas condiciones en 10 plantas por repetición cada 15 días en relación con el ciclo productivo del cultivo. Se emplearon cálculos mediante el diseño de un modelo de bloques completos al azar con 3 repeticiones. Se usó las fórmulas para calcular la uniformidad de distribución propuestas por los autores León y Christiansens. Se obtuvo la eficiencia del cultivo mediante el rendimiento por planta, por hectárea. Los resultados obtenidos en eficiencia fueron para gravedad 46% de eficiencia, además se calculó la huella hídrica de 228 L/kg y el rendimiento por parcela neta de 225,02 kg.

**Palabras clave:** riego; fluidos; riego por gravedad; eficiencia riego; huella hídrica.

## Abstract

The objective of this research work is to evaluate the efficiency of the application of the gravity irrigation method, water footprint, and yield in the cultivation of potato tubers (*Solanum tuberosum*. L). fripapa variety. A study has been carried out under these conditions on 10 plants per repetition every 15 days in relation to the productive cycle of the crop. Calculations were used by designing a randomized complete block model with 3 replications. The formulas to calculate the uniformity of distribution proposed by the authors León and Christiansens were used. Crop efficiency was obtained by yield per plant, per hectare. The results obtained in efficiency were for gravity 46% efficiency, in addition the water footprint of 228 L/kg and the yield per net plot of 225.02 kg were calculated.

**Keywords:** irrigation; fluids; gravity irrigation; irrigation efficiency; water footprint.

## Resumo

O objetivo deste trabalho de pesquisa é avaliar a eficiência da aplicação do método de irrigação por gravidade, pegada hídrica e produtividade no cultivo de tubérculos de batata (*Solanum tuberosum*. L). variedade de fripa. Foi realizado um estudo nessas condições em 10 plantas por repetição a cada 15 dias em relação ao ciclo produtivo da cultura. Os cálculos foram usados projetando um modelo de blocos completos casualizados com 3 repetições. Foram utilizadas as

fórmulas para calcular a uniformidade de distribuição propostas pelos autores León e Christiansens. A eficiência da cultura foi obtida pela produtividade por planta, por hectare. Os resultados obtidos em eficiência foram para gravidade de 46% de eficiência, além disso foi calculada a pegada hídrica de 228 L/kg e o rendimento por parcela líquida de 225,02 kg.

**Palavras-chave:** irrigação; fluidos; irrigação por gravidade; eficiência da irrigação; Pegada hídrica.

## Introducción

En la actualidad la agricultura necesita aplicar nuevas tecnologías para mejorar la producción agrícola, por ello es necesario desarrollar y aplicar métodos de riego. Lo más importante es lograr que el sistema de riego sea lo más eficiente posible para que quede la mayor cantidad de agua disponible para el cultivo.

Es así, que desde tiempos antiguos el ser humano a usado la ingeniería para llevar agua a lugares remotos donde iba a ser usada, por ese motivo se vio en la necesidad de construir sistemas de riego para cultivar plantas que eran primordiales para su subsistencia. La economía estaba basada primordialmente en la agricultura por lo que aprender las técnicas de distribución del agua en regiones donde la lluvia no regaba correctamente los cultivos era de vital importancia. (Ferreira, R., Sellés Van, G., & Sellés, I. 2019 citado en Rodríguez Ureña, 2020)

El riego se define como un sistema a partir del cual se logra un aporte de líquido vital en los cultivos, para suplir las necesidades hídricas de la planta, que no se ven cubiertas por las precipitaciones naturales, con el fin de utilizar el agua de manera eficiente, sostenible; además de aumentar la producción agrícola y la relación costo/beneficio para el agricultor.

En la actualidad existen algunos sistemas de riego, algunos de ellos son: riego por goteo, por aspersión, por gravedad, por bombeo. En el riego por aspersión el agua llega a los cultivos por medio de tuberías y se aplica una lámina de líquido vital por medio de pulverizadores llamados aspersores que humedecen el terreno de manera similar a la lluvia, el objetivo es que la lámina sea capaz de infiltrarse en el terreno sin producir escurrimientos. La uniformidad de riego debe cubrir el área en un 80% para que su uso sea eficiente.

“La demanda hídrica para la agricultura, se refiere a la suma del volumen de agua requerido para riego por cada uno de los cultivos en una unidad de área durante todo su período de crecimiento. La demanda de agua para riego para un cultivo en particular es estimada a partir de la demanda

de agua para cultivos de referencia, restada de la precipitación efectiva. En el año 2010 la demanda de agua para riego en el Ecuador fue de 13.045 hm<sup>3</sup>, y para el año 2025 esta demanda se estima en 16.796 hm<sup>3</sup>, es decir la demanda aumenta un 22.4% en 15 años". (Subsecretaria de Riego y Drenaje, 2019)

La conducción del agua para los sistemas de riego es de alta importancia. (Toapanta Ramos et al., 2018) da a comprender la conducta que presenta el flujo de conducción para riego a través de la contracción gradual de una tubería. Además, se menciona que mediante dinámica computacional se logra un enfoque útil para solucionar las ecuaciones que representan a la dinámica de los fluidos. (Tacle-Humanante & Tacle-Humanante, 2021b) Pudo calcular las pérdidas debido al cambio transversal del área en una tubería para conducción mediante el estudio del flujo del fluido, es así como mediante esta simulación determinó valores de velocidad, presión y turbulencia cinética en diferentes secciones de la tubería. (Tacle-Humanante & Tacle-Humanante, 2021a), este fluido puede ser conducido óptimamente sin pérdidas para ser utilizado para riego. El riego por gravedad consiste en la distribución del agua a través de canales o surcos que se coloca a lo largo del área del cultivo. Algunas ventajas son: simplicidad de instalaciones e infraestructura, fácil mantenimiento, el empleo de energía gravitatoria, conlleva necesidades energéticas escasas o nulas.

De esta manera, el presente trabajo tiene como finalidad analizar el diseño y aplicación del método de riego por gravedad, evaluando los parámetros de eficiencia de la aplicación del método de riego, huella hídrica, y rendimiento, (J. E. L. León Ruiz et al., 2022) (Tacle-Humanante et al., 2019)

## **Materiales y métodos**

Las evaluaciones se realizaron en la Estación Experimental Tunshi. Parroquia Licto. Cantón Riobamba. Provincia de Chimborazo perteneciente a la ESPOCH, a una altitud de 2750 m.s.n.m. Se utilizaron Tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*. L). variedad fripapa, con una estructura de suelo suelta, permeabilidad buena, temperatura 13, 10 °C.

Diseño Experimental:

Para el estudio se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones, como se muestra en la tabla 1.

**Figura 1:** Estructura experimental del ensayo.

MÉTODO DE RIEGO (TRATAMIENTO)	CÓDIGO	REPETICIONES
Gravedad	T1	3

Para el análisis funcional se emplea Prueba de TUKEY al 5% cuando exista diferencia significativa entre los tratamientos.

Se analiza para las siguientes condiciones, según se muestra en la tabla 2.

**Figura 2:** Características del campo experimental

DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Forma de la parcela	Rectangular
Área total cultivada	3465 m <sup>2</sup>
Numero de tratamientos	3
Numero de repeticiones	3
Largo de la parcela	120 m
Ancho de la parcela	35 m
Área por tratamiento	1155 m <sup>2</sup>
Área de las repeticiones	385 m <sup>2</sup>
Área de parcela neta	96 m <sup>2</sup>
Número de unidades experimentales	9
Número de plantas a evaluar por repetición	10
Número de plantas a evaluar por tratamiento	30
Número de plantas a evaluar en el ensayo	90
Distancia de siembra entre surcos	1 m
Distancia de siembra entre planta	0,3 m
Número total de plantas	14 000 plantas

## **Eficiencia de riego**

El método para la determinación de la eficiencia del riego por gravedad se realizó en base a la uniformidad de distribución, se delimitó un área representativa del terreno para la evaluación, se colocaron vasos separados a una distancia de un metro entre sí, con el sistema en funcionamiento y un tiempo dado, se midió la cantidad de agua en los vasos, se determina el caudal de cada uno de ellos, se determinó mediante las fórmulas de uniformidad y de coeficiente de Christiansen la distribución de agua en el área del cultivo.

Se usaron las siguientes fórmulas:(J. E. León Ruiz, 2011)

$$UD = \frac{\text{Lámina promedio infiltrada en el cuarto inferior}}{\text{Lámina promedio infiltrada}} * 100$$

$$CUC = 1 - \frac{\text{Desviación promedio de la lámina Prom. Aplicada}}{\text{Lámina aplicada}} * 100$$

Dónde:

*UD* = Uniformidad de distribución

*CUC* = Coeficiente de Christiansen

## **Huella Hídrica**

Para la determinación de la huella hídrica verde se requirió de la cantidad de incorporada por parte de la precipitación efectiva obtenida de la estación meteorológica de los meses que duro el cultivo y para la huella hídrica azul se requirió la cantidad de agua usada en el riego a lo largo del ciclo productivo en cada tratamiento.

Se usan las siguientes fórmulas para encontrar la huella hídrica del cultivo (Higuera Sánchez & Jaimes Hernández, s. f.):

$$HHVERDE = \frac{\text{vol. precipitacion efectiva (L)}}{\text{rendimiento (kg)}}$$

$$HH AZUL = \frac{\text{vol. requerimiento de riego(L)}}{\text{rendimiento (kg)}}$$

$$HH TOTAL = HH VERDE + HH AZUL$$

Dónde:

**HHVERDE** = Huella Hídrica Verde (Precipitación Efectiva)

**HHAZUL** = Huella Hídrica Azul (Cantidad de agua usada en el riego)

**HHTOTAL**= Huella Hídrica Total (L / kg)

### Rendimiento por categoría

En la etapa final del cultivo a la cosecha la parcela neta se clasificó los tubérculos de 10 plantas previamente etiquetadas en distintas categorías, además de los rendimientos en peso de la parcela neta que consta de una superficie de 96 m<sup>2</sup>.

Se analiza según la siguiente clasificación, como se muestra en la tabla 3. (Carrazón Allocén, 2007)

**Figura 3:** Clasificación por peso del tubérculo.

<b>Primera o gruesa</b>	<b>&gt;121</b>
<b>Segunda o redroja</b>	<b>71 a 120</b>
<b>Tercera o redrojilla</b>	<b>&lt;70</b>

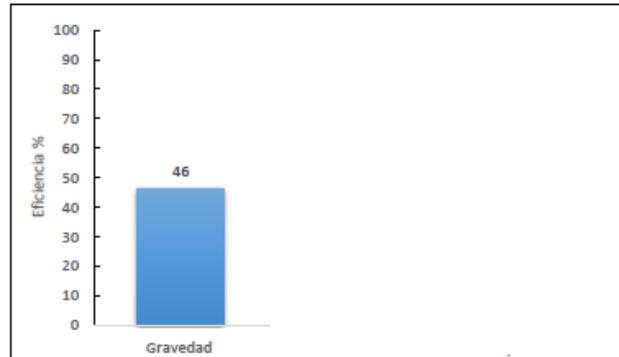
El análisis de este trabajo es similar a otros trabajos reportados en la literatura científica como (Oropeza et al., s. f.) Donde se evaluaron rendimiento por variedad, se cuantifico el volumen de agua por cada método de riego. Siendo el método por goteo el más eficiente, luego por aspersión y finalmente el de mangas multicompuerta.

### Resultados y discusión

En la siguiente tabla 4. y en la figura 1. Se puede observar la eficiencia para el método de riego por gravedad.

**Figura 4:** Prueba de Tukey al 5% para eficiencia de riego

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Gravedad	46,20	3	1,52	C



**Figura 5:** Eficiencia de aplicación del método de riego por gravedad

Mediante este análisis estadístico el tratamiento de riego por gravedad tiene un 46% de eficiencia, lo cual es similar a otros estudios teóricos reportados en la literatura de 40% hasta el 85%.(Rodríguez et al., 2007)

En la siguiente tabla 5. Se puede observar la huella hídrica para el método de riego por gravedad.

**Figura 6:** Huella hídrica por tratamiento

Método	Huella hídrica azul (L/kg)	Huella hídrica verde (L/kg)	Huella hídrica total (L/kg)
Gravedad	180	47	228

Según estudios realizados en Ecuador, en promedio nacional el cultivo de papa requiere 564 L/kg teniendo en cuenta el volumen aportado por el riego y por la precipitación efectiva, esta última siendo el 70 % del aporte total.

La huella hídrica refleja la cantidad de agua usada y el rendimiento, en efecto la eficiencia de los sistemas de riego son un factor importante con el cual posee relación directa, la cantidad de agua requerida por kilogramo producido determina la sostenibilidad con la que se manejan los recursos en situaciones locales, siendo el riego por goteo el de menor huella hídrica. Para el tratamiento por gravedad para esta investigación la huella hídrica es de 228 L/kg.

En la siguiente tabla 6. Se puede observar el rendimiento por parcela neta para el método de riego por gravedad.

**Figura 7:** Promedio y prueba de Tukey 5% para rendimientos por parcela neta.

Tratamientos	Medias(kg)	n	E.E.	
Gravedad	225,02	3	5,77	B

La diferencia entre el tratamiento gravedad que presentó un 17,3 % (Lema Asitimbay, 2020), por debajo del rendimiento del tratamiento goteo, en contraste con otras investigaciones reportadas en la literatura donde la diferencia de rendimiento entre gravedad y goteo fue de 23.8 % teniendo un rendimiento mucho menor el método por gravedad, y entre los métodos aspersión y gravedad no presentó diferencias significativas, posiblemente por las diferencias climáticas sin embargo remarca la significativa diferencia de rendimiento en el método goteo.

En el análisis de varianza para el rendimiento en parcela neta mostró diferencias significativas entre tratamientos con un coeficiente de variación de 4,01 y un promedio general de 249,14 kg.

En la prueba de Tukey 5% para el rendimiento por parcela neta compartiendo categorías A Y B se encuentra el tratamiento por gravedad con 225,02 kg.

## Conclusiones

Se plantea las siguientes conclusiones:

- La eficiencia de aplicación de riego por gravedad es del 46 %, en las condiciones dadas para la variedad fripapa, valor que entra dentro del rango de eficiencia encontrados en la literatura científica.
- El promedio nacional el cultivo de papa requiere 564 L/kg teniendo en cuenta el volumen aportado por el riego y por la precipitación efectiva, esta última siendo el 70 % del aporte

total. Para el tratamiento por aspersión para esta investigación la huella hídrica es de 228 L/kg.

- Con el tratamiento por gravedad presentó un 17,3 % por debajo del rendimiento del tratamiento goteo. Se investigó numerosas variedades de papa incluida la variedad fripapa dieron como resultado rendimiento por parcela neta de 225,02 kg. Los resultados obtenidos por ha son los siguientes: método por goteo con 28 ton/ha, 26 ton/ha aspersión y 23 ton/ha gravedad.

## Referencias

1. Carrazón Alocén, J. (2007). *FAO. Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. 218.
2. Higuera Sánchez, C. C., & Jaimes Hernández, O. J. J. (s. f.). *EVALUACIÓN DE INDICADORES DE HUELLA HÍDRICA EN LA PRODUCCIÓN DE UN CULTIVO DE CEBOLLA DE BULBO Y PAPA EN LOS MUNICIPIOS DE DUITAMA Y SAMACA BOYACÁ*. 75.
3. Lema Asitimbay, C. A. (2020). *EFICIENCIA DE APLICACIÓN DE TRES MÉTODOS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE PAPA (Solanum tuberosum. L) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI*.
4. León Ruiz, J. E. (2011). *Planificación, Producción Agropecuaria y Diseño de Métodos de Riego y Drenaje. Riobamba*.
5. León Ruiz, J. E. L., Parra, V. J. P., Orozco, J. S. S., Murillo, R. F. P., & Robalino, D. A. R. (2022). *Requerimientos hídricos para el cultivo de fréjol variedad Calima en Riobamba, Ecuador. 1*, 13.
6. Oropeza, J. C., Aguilar, D., & Condori, R. S. (s. f.). *Evaluación de métodos de riego tecnificado en variedades industriales de papa en el Centro de Innovación INIAF, Municipio Zudañez, departamento Chuquisaca*. 10.
7. Rodríguez, M., Rey, R., Torralba, V., & Puig, O. (2007). *Riego por aspersión de baja intensidad en el cultivo del banano con el empleo del miniaspersor Mamkad 2255 “pruebas de campo”*. 16(2), 6.
8. Subsecretaría de Riego y Drenaje. (2019). *PLAN NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2019—2027*. 160.

9. Tacle-Humanante, P. M., Moya-Rodríguez, J. L., & Marty-Delgado, J. R. (2019). El índice de Robustez como parámetro para evaluar el comportamiento de las transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos. *Ingeniería Mecánica*, 22, 57-66.
10. Tacle-Humanante, P. M., & Tacle-Humanante, C. (2021a). *Diseño de una metodología para análisis de flujo de una tubería de conducción para riego*. 7, 17.
11. Tacle-Humanante, P. M., & Tacle-Humanante, C. (2021b). *Diseño de una metodología para analisis de flujo en 2d de transporte utilizando dinamica de fluidos computacional*. 6(10), 14.
12. Toapanta Ramos, L. F., Bohórquez Peñafiel, G. A., Caiza Vivas, L. E., Sarzosa, W. Q., Toapanta Ramos, L. F., Bohórquez Peñafiel, G. A., Caiza Vivas, L. E., & Sarzosa, W. Q. (2018). Análisis numérico de los perfiles de velocidad de un flujo de agua a través de una tubería con reducción gradual. *Enfoque UTE*, 9(3), 80-92. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n3.290>

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).