

Eficiencia de uniformidad del riego por exudación en producción de *Capsicum chinense* Jacq. y su repercusión económica

Efficiency of uniformity of irrigation by exudation in production of *Capsicum chinense* Jacq. And its economic repercussion

Marco Antonio Martínez Cuestas ¹; Nicolás González Cortés ²;
Ana Laura Luna Jiménez ^{2, *}

¹ Doctorando en Investigación para el Desarrollo Social, Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria Zona 12. Guatemala C.A. Código postal 01012.

² División Académica Multidisciplinaria de los Ríos, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Tenosique-Estapilla Km. 1 Tenosique, Tabasco, México. C.P.86901.

* Autor correspondiente: ana.luna.ujat@gmail.com (M. Martínez)

DOI: [10.17268/rev.cyt.2021.02.10](https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2021.02.10)

RESUMEN

En la búsqueda de sistemas de riego agrícola que incrementen la eficiencia en el uso del agua, fue necesario evaluar la uniformidad y rentabilidad del sistema de riego por exudación en la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Se realizó un análisis de varianza de bloques completos al azar, con dos tratamientos (exudación y goteo) con cuatro repeticiones. El riego por exudación presentó mayor eficiencia de aplicación con una lámina de humedad aprovechable (LHA) de 0,395 cm diarios, mientras que el sistema por goteo mostró una LHA de 0,470 cm. El riego por exudación de igual manera presentó mayor coeficiente de uniformidad de caudal con 93% mientras que por goteo mostró un 89%, al evaluar el coeficiente de uniformidad de presión, éste fue superior en el riego por exudación con un 98% mientras que por goteo fue de un 89%. En el aspecto económico el riego por exudación generó una rentabilidad del 77,91% y por goteo el 68,68% con una mayor relación beneficio/costo el riego por exudación (3,53) que el riego por goteo (2,19). A partir de los resultados se concluye que el riego por exudación es una alternativa viable para su uso en el cultivo de chile habanero.

Palabras clave: lámina de humedad; rentabilidad; caudal; presión.

ABSTRACT

In the search for agricultural irrigation systems that increase efficiency in the use of water, it was necessary to evaluate the uniformity and profitability of the irrigation system by exudation in the production of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). A randomized complete block analysis of variance was performed, with two treatments (exudation and dripping) with four repetitions. Irrigation by exudation showed greater application efficiency with a sheet of usable moisture (LHA) of 0.395 cm per day, while the drip system showed a LHA of 0.470 cm. Irrigation by exudation in the same way presented a higher coefficient of flow uniformity with 93% while by dripping it showed 89%, when evaluating the coefficient of pressure uniformity, this was higher in irrigation by exudation with 98% while that by drip was 89%. In the economic aspect, the irrigation by exudation generated a profitability of 77.91% and by drip 68.68% with a higher benefit/cost ratio of irrigation by exudation (3.53) than drip irrigation (2.19). From the results it is concluded that exudation irrigation is a viable alternative for its use in the cultivation of habanero pepper.

Keywords: moisture sheet; cost effectiveness; flow; Pressure.

1. INTRODUCCIÓN

En un reporte de riesgos del Foro Económico Mundial realizado en el año 2017, la crisis del agua aparece como el tercer riesgo global de mayor impacto, y se ubica también entre los riesgos con mayores probabilidades de materializarse. La crisis del agua, además, está asociada con dos riesgos globales mayores: la ocurrencia de eventos climáticos extremos y la falla en la mitigación y adaptación al cambio climático. Estos riesgos de gran impacto y probabilidad de ocurrencia, se retroalimentan entre sí, de manera que la probabilidad o presencia de alguno de ellos aumenta la de los restantes (Martínez, Díaz & Moeller, 2019).

Para el año 2030 la demanda de agua ascenderá a un 40% mayor al agua disponible y el 46% de las áreas cultivables en el mundo necesitan ser irrigadas debido a factores relacionados con el cambio climático y las condiciones meteorológicas en general (Aguilar, 2017).

Para incrementar la eficiencia del uso de agua en la agricultura, es necesario implementar una gestión adecuada en el uso de los recursos en especial el hídrico. En este contexto, es necesario el diseño de sistemas de riego que presenten mayor eficiencia de uso, para que los agricultores incrementen la productividad sostenible de sus sistemas agrícolas.

El riego localizado con mayor utilización en el mundo es por goteo, sin embargo, su uso presenta ciertas limitantes que deben ser mejoradas con nuevas alternativas.

Uno de los problemas del riego por goteo es la descarga de agua constante, lo que provoca acidificación y erosión en los suelos. Este sistema requiere productos químicos para evitar el taponamiento de los goteros, su consumo de energía es alto y requiere de mano de obra especializada; lo que incrementa sus costos de operación.

Debido a la necesidad de implementar nuevas tecnologías de riego eficientes, se hace necesario la búsqueda de alternativas que cumplan estos criterios, como el sistema de riego por exudación.

El riego por tubería exudante es una técnica de riego localizado, que aporta agua al suelo y cultivo a través de los poros de la tubería en una franja de humedad a lo largo de la misma. Es fabricada con material geotextil de alta resistencia a la rotura, muy flexible y fácil de manipular. Aunque su costo actual es ligeramente mayor al del riego por goteo o microaspersión. Diferentes evaluaciones de campo indican que pueden ahorrar entre un 50 a 60% de agua y es capaz de trabajar con menos presión que otras técnicas de riego localizado (Herrera et al., 2020).

En países como: Ecuador, Colombia, Perú, Chile, Bélgica, Francia, España, Italia e Israel entre otros, debido a la necesidad de nuevos sistemas de riego con mayor eficiencia en el uso de agua para riego agrícola, se han implementado sistemas de riego por exudación.

En Ecuador, se realizó una investigación sobre la eficiencia de los sistemas de riego localizado en el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L. var. Alface stella*), bajo invernadero. Los tratamientos evaluados fueron cuatro: riego por goteo (superficial y subterráneo) y por exudación (superficial y subterráneo) (Granda y López, 2009).

En los resultados del estudio, se encontró que el sistema de riego que mostró mejor rendimiento fue el sistema de riego por goteo superficial con un rendimiento de 29,18 t/ha con un uso de agua del 1 1484,12 m³. El segundo mejor rendimiento lo presentó el sistema de riego por exudación superficial con un rendimiento de 28,4 t/ha; con un volumen de agua aplicado de 1 187,37 m³. Este sistema mostró la mejor relación beneficio /costo con un 2,91 en comparación al riego por goteo superficial con 2,87 (Granda y López, 2009).

En el caso de Colombia se llevó a cabo una investigación para medir el efecto del riego por goteo y exudación sobre el rendimiento de los cultivos de lechuga, repollo y brócoli. Los resultados del sistema de riego por goteo superaron los rendimientos en un 18%, 35% y 40% respectivamente al riego por exudación, en el análisis económico el riego por exudación presentó menor relación beneficio/costo que el riego por goteo, excepto en el cultivo de repollo (Benavides, Edmundo, Barraza, Vicente, Navia, & Fernando, 2017).

Por otro lado, en Perú se realizó la evaluación del sistema de riego por goteo y exudación en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), obteniendo como resultados que el sistema de riego por goteo presentó una eficiencia de aplicación del 81% y exudación 78%; pero el sistema de riego por exudación generó un mayor rendimiento con 3 519,3 Kg/ha seguido por el riego por goteo de 1 587,9 Kg/ha; así mismo el riego por exudación mostro la mejor relación beneficio/costo con 2,9 mientras que goteo fue de 2,4 (Porrás, 2015).

A partir de lo anterior se concluye que, aunque se han realizado investigaciones sobre los sistemas de riego por exudación en diversos países; en Guatemala existe la necesidad de validar dichos resultados bajo las condiciones que presenta la región de estudio, depurando algunas técnicas de medición y utilizando diferentes indicadores.

El riego por exudación presenta características que lo perfilan como un sistema de riego con un consumo eficiente de agua y energía. Por lo que esta investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de uniformidad del recurso hídrico en el sistema de riego por exudación y su repercusión económica en el cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*), en el municipio de San Benito del Departamento de Petén en Guatemala, considerando la adaptabilidad, demanda y rentabilidad del cultivo.

Se realizó la comparación con el sistema de riego por goteo; debido a ser uno de los sistemas más utilizados por su alta eficiencia en comparación con otros sistemas de riegos agrícolas que se utilizan en la actualidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El manejo del experimento se realizó en la finca la “Misericordia”, localizada en la latitud 16 881 norte y longitud 89 937 oeste del Municipio de San Benito del Departamento de Petén, situado en el extremo septentrional de Guatemala, Centro América, colindando al norte y al oeste con México; al sur con los departamentos de Izabal y Alta Verapaz y al este con la república de Belice.

En la investigación se realizó un control estricto de los factores externos, para minimizar los errores sistemáticos que pudieran afectar los resultados en cualquiera de las variables en estudio, pudiendo mencionar la utilización de cobertura en el suelo para reducir los efectos de la precipitación, la medición de temperatura, humedad del suelo y del ambiente, en forma periódica a intervalos de 48 horas.

2.2 Diseño experimental

Para la búsqueda de variaciones inherentes al efecto de los tratamientos se utilizó un análisis de varianza combinatorio mediante un diseño experimental con un arreglo de bloques completos al azar, para mantener la variabilidad entre unidades experimentales dentro de un bloque tan pequeño como fuera posible y maximizar las diferencias entre bloques (Badii, Rodríguez, Wong, & Villalpando, 2017). El factor de bloqueo lo representó la eficiencia de distribución del riego a través de la tubería principal, debido a que la distancia de la entrada principal de riego afecta la distribución de agua al cultivo a lo largo de la tubería de distribución.

El tamaño de la parcela experimental fue de 3 m de ancho por 20 m de largo constituida cada parcela por tres surcos, con una parcela neta de 18 m² la cual se encontró formada por un surco central dejando un metro de borde en cada lado de la cabecera de los surcos; el área total del ensayo fue de 520 m². Cada bloque representa una réplica de los tratamientos evaluados, los cuales estuvieron distribuido en forma estratificada, con una estructura en cada bloque de seis surcos de tubería de riego (tres de exudación y tres de goteo).

El modelo estadístico que describe el efecto de los tratamientos sobre la variable respuesta es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

En donde:

Y_{ij} = Eficiencia del recurso hídrico de los sistemas de riego evaluados de la ij-ésima unidad experimental.

μ = Efecto de la media general de los sistemas de riego evaluados.

T_i = Efecto del i-ésimo sistema de riego.

B_j = Efecto del j-ésimo bloque.

ϵ_{ij} = Error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental.

i = 1 y 2 sistemas de riego.

j = 1, 2, 3 y 4 bloques.

Al encontrarse diferencias significativas entre las variables de estudio para los sistemas de riego, se sometieron a una prueba de comparación de medias utilizando el procedimiento de diferencias honestamente significativas (HSD) de Tukey con un nivel de confianza del 95%.

2.3 Determinación de condiciones climáticas

La temperatura, precipitación y humedad relativa son las condiciones climáticas que afectan directamente las necesidades de riego de los cultivos y pueden mostrar variaciones en función del tiempo durante la ejecución de la investigación, para monitorearlas se instaló un pluviómetro de campo en el centro de la parcela, un hidrotérmetro digital y un termómetro de suelo, en donde se establecieron lecturas diarias de las condiciones edafoclimáticas ya mencionadas; las cuales fueron llevadas en un registro estadístico.

2.4 Manejo agronómico

El manejo agronómico se realizó en dos etapas, la primera a nivel de invernadero donde se realizaron todas las actividades agrícolas necesarias para la producción de las plántulas; la segunda etapa se refirió a la fase de campo definitivo; que comprende las actividades desde el trasplante hasta el momento de la cosecha.

2.5 Variables evaluadas

Para la evaluación del sistema de riego por exudación se midieron seis variables considerando la eficiencia de los sistemas. En la Tabla 1; se presentan las variables con sus respectivos indicadores, unidad de medida, descripción y el modelo matemático empleado para su análisis.

Tabla 1. Variables e indicadores evaluados.

VARIABLES A EVALUAR	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCIÓN DEL MODELO	MODELO MATEMÁTICO
Volumen de agua aplicado	Agua aplicada por área	m ³ /ha	Q_1 = caudal inicial. Q_2 = caudal final.	$Aforo = Q_1 - Q_2$
Coefficiente de uniformidad de caudal	Eficiencia de distribución de riego	%	$Q_{25\%}$ = el 25% de los caudales más bajos. Q_n = El total de los caudales obtenidos.	$CUC = \frac{\bar{Q}_{25\%}}{\bar{Q}_n} \times 100$
Coefficiente de uniformidad de presión	Eficiencia de presión de Riego	%	$\bar{P}_{25\%}$ = el 25% de las presiones más bajas. \bar{P}_n = el total de las presiones obtenidas.	$CUP = \frac{\bar{P}_{25\%}}{\bar{P}_n} \times 100$
Rendimiento	Análisis económico	t/ha	Determinación en función de lo producido y el precio de venta durante el tiempo.	<i>Flujo de efectivo</i>
Rentabilidad	Análisis de ingresos y utilidades	%	R = rentabilidad. U = Utilidad o ganancias, IT = ingresos totales.	$R = (U / IT) \times 100$
Relación beneficio/costo	Análisis de costos y utilidades	A dimensional	Relación de la utilidad recibida por dólar invertido.	<i>Relación beneficio/costo</i>

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron diferentes análisis de varianza para cada una de las variables establecidas, de las cuales se pudo inferir si existieron o no diferencias entre los sistemas de riego evaluados. En la Tabla 2 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en los análisis de varianza.

Tabla 2. Resumen de análisis de varianza para las variables respuestas de los sistemas de riegos evaluados.

Fuentes de variación	Cuadrado medio de las variables respuesta evaluadas				
	Grados de libertad	Volumen de agua (LHA)	Coefficiente de Uniformidad de Caudal (CUC)	Coefficiente de Uniformidad de Presión (CUP)	Rendimiento (t/ha)
Sistema de riego	1	0,002 **	5,333 N.S.	355,014 * *	32,04 * *
Bloque	3	0,017	1,933	1,150	4,382
Error	3	0,0002	2,933	2,165	1,129
Total	7	-----	-----	-----	-----
C.V.		4,56%	1,87%	1,59%	8,15%

** Diferencias altamente significativas. N.S. No existen diferencias significativas.

3.1 Volumen de agua aplicada (LHA)

Para medir el volumen de agua aplicado se utilizó la eficiencia en la aplicación del recurso hídrico según los requerimientos del cultivo, mediante riegos en forma diaria, por espacios de 30 minutos para cada tratamiento. En la Tabla 2 se observa que existió diferencias altamente significativas entre los sistemas de riego evaluados con un nivel de significancia del 95%.

Debido a la diferencia estadística entre los sistemas de riego evaluados, se procedió a realizar una comparación de medias para esta variable, la cual mostró al riego por exudación con una media de 0,26 cm y 0,29 el riego por goteo. Esto permite inferir que existe una diferencia estadística entre los dos sistemas de riego, mostrando un ahorro del recurso hídrico en la utilización del sistema de riego por exudación, con una media del 10,3% de ahorro en un tiempo de 30 minutos de riego.

En la Figura 1 se aprecia efectivamente que el riego por exudación actúa por efecto de capilaridad. Se observa que durante los primeros 20 minutos de riego su comportamiento es en forma lineal y directamente proporcional al tiempo de riego, aplicando una lámina de humedad aprovechable igual a 0,395 cm. Sin embargo, a partir del minuto 21 el sistema de exudación interrumpe el riego debido a la saturación del suelo, manteniendo la misma lámina que durante los primeros 20 minutos.

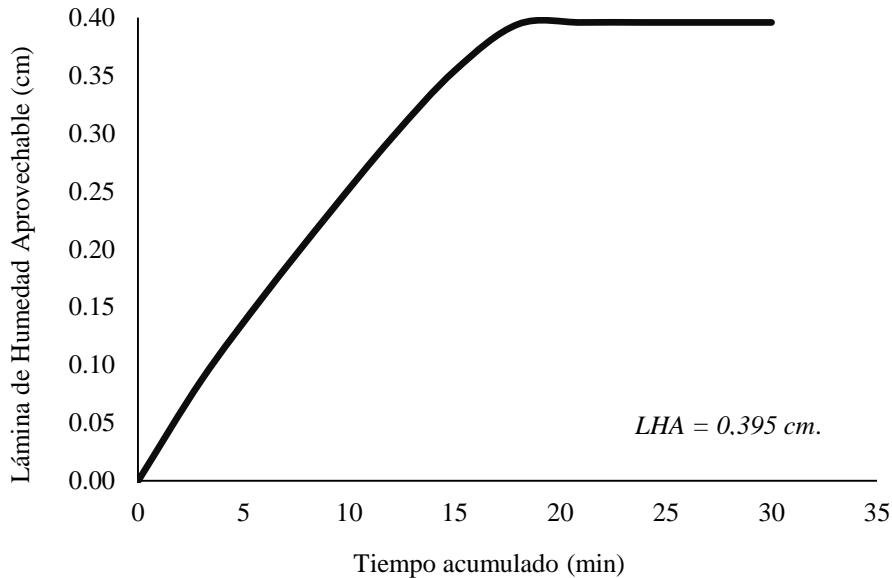


Figura 1. Curva de descarga de riego por exudación.

En cuanto a la curva de descarga del riego por goteo (Figura 2), presenta un comportamiento lineal durante los 30 minutos de riego, aplicando durante los primeros 20 minutos una lámina de humedad igual a 0,310 cm. La cual resulta ser menor que la lámina de exudación en ese mismo tiempo de riego. En el transcurso de los 30 minutos el riego por goteo aplicó una lámina de 0,470 cm, utilizando mayor recurso hídrico para fines de riego agrícola.

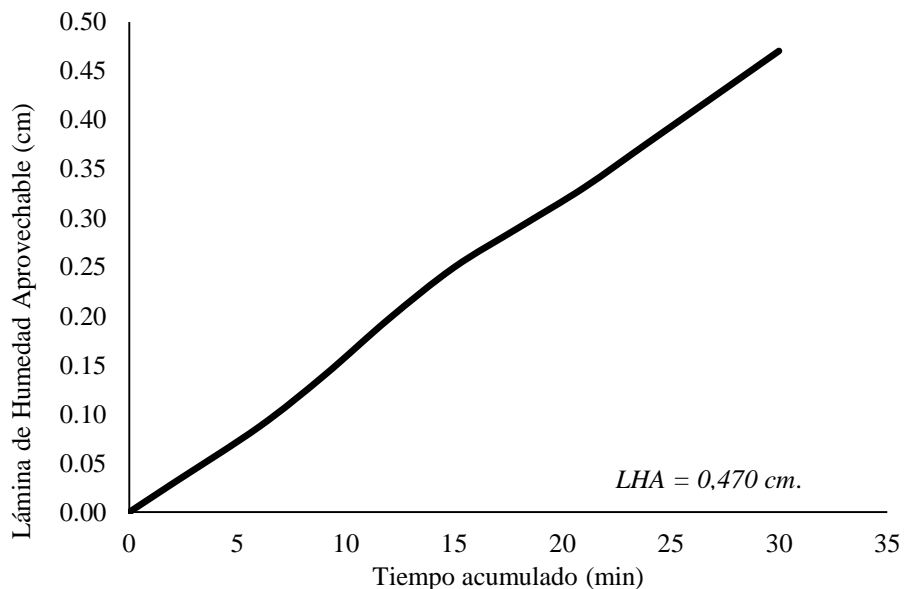


Figura 2. Curva de descarga de riego por goteo.

Los resultados obtenidos en esta investigación difieren de la investigación de Granda y López (2009); quienes evaluaron sistemas de riego localizados en el cultivo de lechuga bajo invernadero en Ecuador. No obstante, es preciso señalar que uno de los inconvenientes que definieron el efecto de las variables planteadas en el estudio realizado por Granda y López (2009), fue que la profundidad de 25 centímetros a la que fueron enterrados los

sistemas subterráneos (goteo y exudación), incidió drásticamente en los resultados. Mientras que en la presente investigación el riego por exudación se enterró a una profundidad de 10 centímetros.

A partir de los resultados que indicaban ahorro del recurso hídrico en el sistema de riego por exudación, se efectuaron mediciones adicionales en diferentes momentos de tiempo. Lo anterior, para ajustar un análisis de regresión y buscar un modelo matemático que describiera el comportamiento bajo las condiciones de la investigación. Este modelo estadístico se podría utilizar para determinar diferentes Lámina de Humedad Aprovechable (*LHA*) para diversos tiempos de riego si fuesen otros cultivos, etapas fenológicas o condiciones climáticas que requirieran más recurso hídrico durante su desarrollo.

Después de realizar diferentes modelos de regresión para correlacionar la lámina de humedad aprovechable aplicada y el tiempo de riego en el sistema de exudación, el modelo que más se ajustó fue el de “raíz cuadrada del tiempo de riego” mostrando a $LHA = -0,01489 + 0,08407\sqrt{t}$ como el modelo matemático que lo describe.

El análisis de regresión presentó un coeficiente de correlación de Pearson igual a 0,97. Indicando que existe una fuerte relación positiva entre la lámina de humedad aprovechable y el tiempo de riego, y un coeficiente de determinación de 0,9412. Lo que significa que el 94,12% de la variabilidad que existe en el tiempo de riego es explicada por la variabilidad de la lámina de humedad aprovechable aplicada en el sistema de riego por exudación.

Por otro lado, el modelo de regresión que más se ajustó a la descarga de agua en función del tiempo para el riego por goteo, fue “el cuadrado doble del tiempo y el volumen de agua aplicado” el cual presenta como función matemática: $LHA = \sqrt{0,001465 + 0,0002455 * t^2}$.

Este modelo muestra un coeficiente de correlación de Pearson de 0,99 lo que indica una fuerte correlación positiva entre ambas variables (casi perfecta) y un coeficiente de determinación de 0,998.

Lo anterior, significa que el 99,88% de la variabilidad que existe en el tiempo de riego es explicada por la variabilidad de la lámina de humedad aprovechable aplicada en el sistema de riego por goteo.

3.2 Coeficiente de uniformidad de caudal (CUC)

El riego es un componente en el desarrollo de la agricultura que proporciona un equilibrio en la producción, en ese sentido la productividad de un cultivo se relaciona directamente con la cantidad de riego que recibe, por consiguiente, necesita ser tan uniformemente posible porque ese porcentaje representa el agua utilizada en el uso consuntivo del agua aplicada (Apaza & Blanco, 2017).

Para la determinación del CUC se utilizó un modelo matemático establecido por la Merriam y Keller (1978), que consiste en seleccionar varias unidades de prueba representativas de todo el sistema de riego, tomando como muestra cuatro laterales bien distribuidos entre la unidad, dos a los extremos y dos intermedios a 1/3 y 2/3 de la longitud; considerando el emisor más cercano y el más alejado del inicio de cada lateral y dos intermedios a 1/3 y a 2/3 de la sección.

Al tener recolectados los caudales de cada emisor, se identificaron los cuatro menores y se aplicó el modelo matemático dividiendo la suma de estos resultados, entre el total de caudal de los emisores multiplicado por 100; estos resultados se compararon con los rangos estándares a nivel internacional de uniformidad.

Considerando que la eficiencia de un sistema de riego se ve afectado por el tiempo de operación y por las altas concentraciones de carbonatos de calcio de las aguas en el departamento de Petén, que ocasionan taponamientos y desgaste por efecto de la fuerza de fricción interna; se procedió a realizar seis mediciones cada 30 días, iniciando en el momento de la siembra. Estos datos fueron sometidos a un análisis de varianza.

De acuerdo con los resultados obtenidos no existieron diferencias estadísticamente significativas al medir la eficiencia de distribución de riego mediante el uso del coeficiente de uniformidad de caudal (CUC) en función del tiempo.

No obstante, en el análisis realizado se observó que durante el mes de agosto el riego por goteo mostró un CUC de 89%, lo que indica un nivel de funcionamiento bueno, mientras que exudación se mantuvo en el rango de excelente de acuerdo con los parámetros establecidos por Merriam y Keller (1978).

Únicamente en el mes de marzo, que fue el inicio del experimento, el riego por exudación mostro menor coeficiente que el riego por goteo, esta variación se debe a que el riego por exudación presenta como una de sus características, que debe pasar de tres a cuatro riegos para obtener un flujo constante de descarga, lo que se observó en la primera lectura de datos.

A partir del segundo mes el riego por exudación se mantuvo uniforme en su distribución. Mientras que el riego por goteo manifestó una reducción de la eficiencia con forme transcurría el tiempo.

En este análisis se contempla como factor principal el problema de dureza de las aguas de la región, con un valor de 343,9 ppm de CaCO_3 , donde el parámetro normal debería ser menor a 150 ppm de CaCO_3 , según el análisis de agua realizado en esta investigación.

Lo anterior ocasiona obstrucción en los goteros que con el transcurrir del tiempo incide en la mala distribución del riego en el sistema de goteo.

Los resultados obtenidos en la presente investigación mostraron la misma tendencia que los obtenidos por Porras (2015) en Perú; en la evaluación de los sistemas de riego por goteo y exudación en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*).

Sin embargo, en la evaluación realizada por Porras (2015), fue menor la eficiencia del riego por exudación que por goteo. Esto resulta ser, contradictorio considerando que el total de agua aplicada por este sistema fue menor y el rendimiento mayor que el del riego por goteo.

3.3 Coeficiente de uniformidad de presión (CUP)

El coeficiente de uniformidad de presión (CUP) al igual que el CUC fue medido con los indicadores de Merriam y Keller (1978).

En la medición del coeficiente de uniformidad de presión, el sistema de riego por exudación mostró superioridad con un 98% en comparación con el riego por goteo 89%.

Sin embargo, igual que en el coeficiente de uniformidad de caudal, la eficiencia en la presión se ve afectada en función del tiempo, por ello se realizaron seis lecturas en forma mensual, realizando un análisis de varianza respectivamente. En esta variable presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Al realizar la comparación de medias adyacentes, se observa que el riego por exudación muestra una eficiencia significativa media del 98,26% la cual fue superior a la media del sistema de riego por goteo que fue de 87,38%. Según los parámetros internacionales de medición establecidos por Merriam y Keller (1978), estos resultados ubican al sistema de riego por exudación en un rango de funcionamiento excelente y al de goteo en un rango de bueno. Durante todo el tiempo de la fase de campo de la investigación, el coeficiente de uniformidad de presión del riego por exudación se mantuvo superior al goteo con un valor mayor al 97%.

3.4 Rendimiento (t/ha)

Para efectos de la evaluación del rendimiento se realizó un análisis de varianza, los resultados obtenidos presentaron diferencias altamente significativas entre los dos sistemas de riego evaluado.

Al observarse las diferencias entre los sistemas de riego, se procedió a la realización de una prueba de medias honestamente significativas de Tukey, para determinar cuál de los dos tratamientos presentó un mayor rendimiento.

La comparación de medias de los tratamientos mostró un rendimiento promedio de 15,03 t/ha para el riego por exudación, mientras que el sistema de riego por goteo mantuvo un rendimiento medio de 11,03 t/ha.

3.5 Rentabilidad y relación beneficio/costo

En el análisis económico se utilizaron indicadores financieros que describen la factibilidad de diseño, establecimiento, manejo y operación de los sistemas de riego evaluados.

En primer lugar, se determinó el costo de producción para el cultivo de chile habanero bajo condiciones de riego por exudación.

En este indicador, el agua constituyó el recurso de mayor costo con un 26,30% de los costos de producción del cultivo bajo condiciones de riego por exudación. En esta cuenta se incluye la infraestructura hídrica, mantenimiento de sistema de bombeo e inyección y la energía para el funcionamiento del sistema de riego. El segundo lugar en costo fue la mano de obra con un 22,27% de la inversión.

También se determinó el costo de producción bajo condiciones de riego por goteo, la tendencia de costos fue la misma que el riego por exudación, presentando como mayores costos el recurso agua y la mano de obra con porcentajes de 29,67% y 20,72% respectivamente.

Con la información obtenida de los costos de producción en ambos tratamientos, se realizó un análisis comparativo, determinando los ingresos, costos y utilidad en dólares americanos; así como también la rentabilidad y la relación beneficio/costo de cada sistema de riego (Tabla 3).

Tabla 3. Indicadores económicos en forma comparativa de los sistemas de riego evaluados.

Sistema de riego	Ingreso total (\$ USD)	Costo de producción (\$ USD)	Utilidad (\$ USD)	Rentabilidad	Relación beneficio/costo
Exudación	51 372,72	11 345,77	40 026,95	77,91%	3,53
Goteo	37 694,21	11 807,41	25 886,80	68,68%	2,19

A partir del análisis realizado se concluye que el sistema de riego por exudación mostró mayor rentabilidad en su implementación con un 77,91%. Por su parte, el riego por goteo presentó una rentabilidad del 68,69%; estos resultados tienen un efecto en la relación beneficio/costo de cada sistema de riego.

4. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se concluye que, con relación al volumen de agua aplicado, el riego por exudación mostró superioridad debido a que ahorró una lámina de humedad de 1,92 metros durante todo el ciclo del cultivo, lo que representa un ahorro de \$ USD 519,02.

Por su parte el coeficiente de uniformidad de caudal mostró al riego por exudación con una mayor eficiencia, superando al riego por goteo con una diferencia de 4,5%.

El coeficiente de uniformidad de presión para el riego por exudación presentó una diferencia estadísticamente superior del 10.88% sobre el riego por goteo.

En el análisis económico se concluye que el sistema de riego por exudación posee mayores beneficios. Se obtuvo una diferencia de costos de producción de \$ USD 461,64. En comparación de los costos de producción del sistema por goteo.

El sistema de riego por exudación presentó un rendimiento superior al riego por goteo, con una diferencia de 4,00 t/ha, esto generó un ingreso de \$ USD 13 672,05.

Con los resultados obtenidos se manifiesta que el riego por exudación tiene un efecto significativo en cuanto a indicadores de uniformidad y económicos en la producción del cultivo de *Capsicum chinense Jacq.*, en el departamento de Petén, Guatemala; por ello, se recomienda la utilización del sistema de riego como una agrotecnología eficiente y rentable en el cultivo, contribuyendo al desarrollo agrícola de la región, bajo las condiciones agroclimáticas del departamento de Petén, Guatemala.

El sistema de riego por exudación permite obtener mayor eficiencia en el uso del recurso hídrico bajo sistemas de producción agrícolas de alta rentabilidad.

Es recomendable realizar nuevas evaluaciones sobre el sistema de riego por exudación, considerando cultivos semi-perennes o perennes y a la vez, en diferentes localidades bajo condiciones distintas de clima y suelo, que permita medir la durabilidad del material de fabricación de la manguera exudante y los beneficios al presentar mayores requerimientos hídricos y nutricionales.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Gobierno de la República de México por su apoyo para realizar estudios de postgrado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar, R. B. 2017. El manejo integrado del agua en la agricultura: necesidad de implementación y aspectos vinculados. *Revista Científica Agroecosistemas*, 5(2):40-54.
- Apaza, G. L.; Blanco, C. L. 2017. Evaluación de uniformidad del sistema presurizado de riego por goteo. *Revista Apthapi, Bolivia*. 3(3): 740-750.
- Badii, M. H.; Rodríguez, M. C.; Wong, A.; Villalpando, P. 2017. Diseños experimentales e investigación científica. *Innovaciones de negocios, Portal de revistas UANL* 4(8).
- Benavides, B.; Edmundo, O.; Barraza, A.; Vicente, F.; Navia, E.; Fernando, J. 2017. Efecto del riego por goteo y exudación sobre el rendimiento de hortalizas en clima frío. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1): 108-116.

- Granda, J. E.; López, C. S. 2009. Estudio de los sistemas de riego localizado por goteo y exudación, en el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L. var. alface stella*), bajo invernadero. Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador).
- Herrera, J.; Tejada, V.; Riverol, L. H.; Cisneros, E.; Cun, R.; Sarmiento, O. 2020. Riego localizado mediante tuberías porosas. Revista Ingeniería Agrícola, 10(3). Disponible en: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1261/2208>
- Martínez, P. F.; Díaz, C.; Moeller, G. 2019. Seguridad hídrica en México: diagnóstico general y desafíos principales. Revista Ingeniería del agua, 23(2): 107-121.
- Merriam, J. L.; Keller, J. 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Utah State Univ: Utah, USA.
- Porras, Z. 2015. Evaluación del sistema de riego por goteo y exudación en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en el INIA-LA MOLINA. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/925>.