

Uso eficiente del agua en la producción de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con sistema de riego por aspersión

Efficient use of water in the production of bean seed (*Phaseolus vulgaris* L.) with sprinkler irrigation system

Alba Noelia Ortiz Aragón¹, Roberto Carlos Larios González²

¹ Ingeniera Agrónoma, graduada en la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua / ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8772-3484> / noely981@hotmail.com

² MSc. en Agroecología y Desarrollo Sostenible / ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4290-2216> / Roberto.Larios@ci.una.edu.ni / Universidad Nacional Agraria



RESUMEN

El uso eficiente del agua en los sistemas de riego tiene un efecto directo en la productividad del recurso hídrico y en la expresión favorable de los factores que intervienen en la producción de cultivos, combinado con la conservación de los recursos naturales. El objetivo de esta investigación fue determinar una lámina de riego que permita un adecuado rendimiento y uso eficiente del agua en la producción de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) usando riego por aspersión. Esta investigación se realizó en el período de febrero a abril del 2019 en la Estación Experimental de Frijol La Compañía del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, ubicada en el municipio de San Marcos, Carazo, Nicaragua, en las coordenadas geográficas 11°54'30" de latitud Norte y 86°10'50" de longitud Oeste. Esta zona presenta temperatura media de 24 °C, precipitación entre 1 200 y 1500 mm, humedad relativa promedio de 85 % y se encuentra a una altitud de 470 msnm. Taxonómicamente el suelo se clasifica como Andisol. Se utilizaron tres parcelas analizadas según la prueba de t de Student (parcelas pareadas), comparadas de acuerdo con la siguiente relación matemática: si $A = B$ y $B = C$ entonces $A = C$. El cultivar evaluado fue INTA Jinotega Precoz. Los tratamientos consistieron en tres láminas de riego; la primera igual a 489 mm y corresponde a la lámina utilizada por la estación experimental con

ABSTRACT

The efficient use of water in irrigation systems has a direct effect on the productivity of the water resource and on the favorable expression of the factors that intervene in the production of crops, combined with the conservation of natural resources. The main objective of this research was to determine an irrigation sheet that allows adequate yield and efficient use of water in the production of most use bean seed (*Phaseolus vulgaris* L.) using sprinkler irrigation. This research was carried out in the period from February to April 2019 at the La Compañía Bean Experimental Station of the Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, located in the municipality of San Marcos, Carazo, Nicaragua (latitude 11° 54'30" N and longitude 86°10'50" W). This area has an average temperature of 24°C, precipitation between 1,200 and 1,500 mm, average relative humidity of 85% and is located at an altitude of 470 meters above sea level. According to USDA soil taxonomy, the soil is classified as Andisol. Three plots were analyzed according to the Student's t test (paired plots), compared according to the following mathematical relationship: if $A = B$ and $B = C$ then $A = C$. The evaluated cultivar was INTA Jinotega Precoz. Based upon quantity of water, the used treatments were three irrigation sheets; the first is equal to 489 mm and it is the most used sheet by the experimental station with a duration of two hours of irrigation; the second of

Recibido: 4 de marzo del 2020
Aceptado: 30 de septiembre del 2020



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo edgardo.jimenez@ci.una.edu.ni

© Copyright 2020. Universidad Nacional Agraria (UNA).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

una duración de dos horas de riego; la segunda de 298 mm, definida con el método de niveles de humedad y con 1.5 horas de aplicación y la tercera de 464 mm, determinada por la intensidad de aplicación del sistema con 2.5 horas de riego. Las variables evaluadas fueron rendimiento en kg ha⁻¹ y análisis de productividad del agua en kg m³. No se registraron diferencias estadísticas en el rendimiento y se obtuvo mayor productividad de agua con la lámina de 298 mm, por lo que se recomienda el uso de ésta debido a que permite ahorro de energía, optimiza el uso del sistema de riego y mayor productividad en el proceso de transformación de agua en relación con rendimiento de semilla.

Palabras clave: niveles de humedad, lámina de riego, recurso hídrico, rendimiento, parcelas pareadas.

298 mm, defined with the method of humidity levels and with 1.5 hours of application and the third of 464 mm, determined by the intensity of application of the system with 2.5 hours of irrigation. The variables evaluated were yield in kg ha⁻¹ and analysis of water productivity in kg m³. There were no statistical differences in the yield. There was a higher water productivity with the 298 mm sheet, so it is recommended to use it because it allows energy savings, optimizes the use of the irrigation system and greater productivity in the water transformation process in relation to seed yield.

Keywords: Humidity levels, irrigation sheet, water resource, yield, paired plots.

Los sistemas de producción de semilla favorecen la reproducción y distribución de material de siembra a diferentes sectores, el principal objetivo de esta actividad es incrementar el número de individuos por unidad de área y que cada individuo, que representa un genotipo de interés potencial, mantenga las características genéticas por las que fue seleccionado, que constituyen una nueva tecnología y respuesta para los productores del país.

Para garantizar el objetivo esta actividad y la actividad agrícola en general, es necesario la gestión adecuada de cada uno de los insumos, recursos y factores que intervienen en los procesos productivos, principalmente los recursos de mayor demanda en todos los sectores, como el agua. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL *et al.*, 2019), establecen que “la agricultura consume el 70 % de agua dulce del mundo” y las condiciones actuales representan una problemática de especial interés, de acuerdo con la asignación de uso y productividad asertiva de este recurso.

El uso correcto del agua en los sistemas agrícolas es fundamental para mantener la productividad económica e hídrica. Kuglitsch *et al.* (2008) definen que “la eficiencia intrínseca del uso del agua es una importante característica de la productividad de un sistema vegetal” favoreciendo la producción de bienes y servicios a través de biomasa, granos o textiles, designados como rendimiento. La producción de semilla es el principio base de los procesos agrícolas y el uso de sistemas de riego interviene en la calidad y el volumen, Liu y Yang (2006) determinaron que se obtiene mayor rendimiento y eficiencia del uso del agua con riego por aspersión.

El frijol común es la leguminosa alimenticia más importante del mundo, representa el 50 % de las leguminosas de grano consumidas a nivel mundial (Urrea *et al.*, 2009). En Nicaragua no se reportan sistemas de producción de semilla de frijol con riego, a pesar de la importancia económica, gastronómica y cultural que representa este cultivo. En el ciclo 2017-2018 el rendimiento promedio

de grano fue de 13 qq mz⁻¹ (840.95 kg ha⁻¹) (Ministerio Agropecuario [MAG], 2018) y según A. Rojas, en la zona del Pacífico de Nicaragua el rendimiento de semilla varía alrededor de 15 qq mz⁻¹ (970.32 kg ha⁻¹) y entre 30 qq mz⁻¹ y 35 qq mz⁻¹ (1 940.65 kg ha⁻¹ y 2 264.10 g ha⁻¹) en sistemas de producción que cuentan con semilla de alta calidad genética (comunicación personal, 13 de octubre, 2020). Los programas de fitomejoramiento enfatizan en la generación y diseminación de variedades mejoradas, beneficiando a pequeños productores e instituciones públicas y privadas involucradas en el desarrollo y transferencia de tecnologías, lo que representa un impacto significativo en la seguridad alimentaria y calidad de vida.

En el 2016 el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) en asociación con el gobierno de Taiwán, estableció el proyecto “Investigación y desarrollo para el fomento de la productividad de semilla de frijol en Nicaragua” y presentó 16 cultivares con adaptación al cambio climático, sequía, humedad y con demanda comercial por su alto contenido en hierro y zinc, el objetivo principal fue incrementar la producción de semilla de alta calidad y facilitar el acceso de este material a los productores, para que establezcan banco semillas y cuenten con material de siembra propio.

Cisneros *et al.* (2007) mencionan que los principales aspectos que representan mayor dificultad en el manejo de sistemas de riego son, la definición del espaciamiento entre aspersores, programación de riego de acuerdo a la etapa de crecimiento y la correcta determinación de la duración de riego, hacen referencia a la importancia de la tecnificación cuando se incorpora una nueva tecnología y de esta manera obtener resultados positivos respecto a producción y productividad económica y de los recursos utilizados.

Este trabajo se desarrolló en la Estación Experimental de Frijol La Compañía del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (en adelante La Compañía), con el propósito de comparar la lámina de riego usada en La Compañía, con dos láminas de riego calculadas, la primera con el método de niveles de humedad y la segunda mediante la intensidad de

CIENCIA DE LAS PLANTAS

aplicación, y de esta manera poder determinar una lámina de riego que suministre menor cantidad de agua, menor consumo de energía y que permita maximizar la productividad del agua en relación al rendimiento de semilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y descripción del área de estudio.

La investigación se realizó en la época seca durante el período de enero a marzo del 2019 en la Estación Experimental de Frijol La Compañía, propiedad del INTA. La Compañía se ubica en las coordenadas 11°54'30" de latitud Norte y 86°10'50" de longitud Oeste a una altitud de 470 msnm (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales [INETER], 2018) en el kilómetro 45 de la carretera San Marcos-Masatepe, en San Marcos, Carazo, Nicaragua.

Koppen clasifica la zona como tropical de sabana y Holdridge (1987) la ubica en la zona de vida de Bosque Tropical Pre Montano. La temperatura promedio anual es de 24 °C, con precipitación anual entre 1 200 y 1 500 mm y humedad relativa de 85 % (INETER, 2018).

El suelo está catalogado como franco limoso, pertenece al orden Andisol y al sub orden Ustands (Ministerio Agropecuario [MAG], *et al.*, 2015); de origen volcánico, formado a partir de cenizas y vidrio volcánico, así como de otros materiales piroclásticos, de color oscuro, altamente poroso, ligero, permeable, de buena estructura y fácil de trabajar, altamente productivo por su fertilidad, aunque retienen fósforo, son profundos a moderadamente profundos, con escurrimiento superficial lento a moderado.

Diseño experimental. Se definió un diseño de parcelas apareadas con tres parcelas, equivalentes a las láminas de riego. Se estableció la relación matemática: si $A = B$ y $B = C$ entonces $A = C$, lo que establece la diferencia o similitud que existe entre dos muestras emparejadas, lo que significa que, si la parcela A es estadísticamente igual a la parcela B y al comparar la parcela B con la C también son estadísticamente iguales, entonces la parcela A es igual a la parcela C.

La dimensión de cada unidad experimental fue de 36 metros de largo por 24 metros de ancho, con área total de 864 m² y un total de la parcela experimental (tres parcelas) de 2 592 m², cada parcela fue separada a 12 metros de distancia.

Descripción de los tratamientos. Se evaluaron tres láminas de riego, la primera corresponde a la usada en La Compañía que es igual a 489 mm, lámina definida al momento de la instalación del sistema de riego; la lámina dos es igual a 298 mm se determinó a partir de los datos edafoclimáticos de la zona con el método niveles de humedad (Cuadro 1).

Cuadro 1. Fórmulas utilizadas en el método niveles de humedad.

Fórmula	Descripción
$L_n: 100 \times \Delta H \times D_a$ (CC-PMP)	L_n : Lámina neta (mm) ΔH : Profundidad de la capa activa D_a : Densidad aparente CC: Capacidad de campo PMP: Punto de marchitez permanente
$L_b: L_n / E_o$	L_b : Lámina bruta E_o : Eficiencia del sistema
$I_a: Q \text{ aspersor} / \text{Área de aspersores}$	I_a : Intensidad de aplicación Q: Caudal
$T_r: L_b / I_a$	T_r : Tiempo de riego L_b : Lámina bruta I_a : Intensidad de aplicación
$I_r: L_b / E_v$	I_r : Intervalo de riego E_v : Evapotranspiración

La lámina tres es igual a 464 mm y se definió calculando la intensidad de aplicación del sistema ajustando el tiempo de riego a 2.5 horas.

Cuadro 2. Descripción de las láminas de riego aplicadas en La Compañía, 2019.

Tratamiento	Lámina (mm)	TR (horas)	IR (días)	Total de riegos
Lámina 1	489	2.0	Uno	24
Lámina 2	298	1.5	Uno	20
Lámina 3	464	2.5	Dos	16

TR: Tiempo de riego; IR: intervalo de riego.

Para calcular la segunda lámina de riego se realizó un muestreo de suelo con un barreno helicoidal, que consistió en la obtención de 25 sub muestras a una profundidad de 20 cm; del total de sub muestras de suelo se obtuvo una muestra homogénea de 1.5 kg que se empacó y rotuló para su traslado al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria (UNA), en Managua, capital de Nicaragua, para su análisis físico y químico.

La determinación de la capacidad de campo (CC), y el punto de marchitez permanente (PMP) se realizó mediante el método de ollas de presión, el potencial de hidrógeno (pH) a través del método del potenciómetro, la densidad aparente (D_a) con el método del cilindro usando la columna de suelo como volumen, en este caso se muestreó a dos profundidades, de cero centímetro a 10 cm y de 10 cm a 20 cm y se obtuvo el valor promedio; la conductividad eléctrica (CE) se realizó a través del método conductímetro y la textura del suelo con el método de la pipeta de Robinson. Los valores según el laboratorio de suelos y agua de la UNA corresponden a: $D_a = 0.72 \text{ g cm}^{-3}$, pH = 6.2, CC = 30.05 %, PMP = 16.24 %, CE = 43.9 $\mu\text{S cm}$, Textura del suelo = franco limosa.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Se procesaron datos meteorológicos por decena para enero, febrero, marzo y abril desde el año 2009 al 2018, con el objetivo de obtener el valor de la evapotranspiración; en el caso de las temperaturas y las precipitaciones, se consideró el período 2014-2018 de los mismos meses.

El sistema de riego es por aspersión móvil, formado por una tubería principal y por cuatro tuberías laterales separadas 12 metros entre sí. El sistema de riego utiliza aspersores modelo 5035 SD con rendimiento de 5.0 bares (b) de presión, y caudal (Q) de 1.040 m³ h⁻¹ (Naan Dan Jain, 2013).

Descripción del material vegetativo. El cultivar utilizado fue INTA Jinotega Precoz, semilla generada por el INTA. Según Obando *et al.* (2017), este cultivar presenta, entre otras características, precocidad a cosecha (60 – 65 días después de la siembra), tolerancia a sequía, presenta buenas características organolépticas, buen color de grano (rojo), buena arquitectura de planta, de hábito de crecimiento 2b - indeterminado de guía larga, con resistencia a mosaico dorado y tolerancia intermedia a bacteriosis y mancha angular.

Manejo agronómico. La preparación y siembra del terreno se realizó mediante labranza mínima con maquinaria (chapia, aplicación de herbicida, siembra y fertilización). La distancia de siembra fue de 60 cm entre surco con siembra a chorrillo, para un promedio de posturas de 10 a 12 semillas por metro lineal.

El manejo agronómico (manejo de arvenses, plagas, enfermedades y fertilización) se realizó de acuerdo con la planificación técnica establecida en La Compañía para la producción de semilla certificada.

VARIABLES EVALUADAS

Rendimiento de semilla (kg ha⁻¹). El rendimiento se obtuvo del total de semillas cosechadas en las parcelas, expresado en kg ha⁻¹ y ajustado a 14 % de humedad, según la ecuación propuesta por Aguirre y Peske (1988), que indica que:

$$Pf = Pi (100 - Hi) / (100 - Hf)$$

Donde:

Pf: Peso final (kg)

Pi: Peso inicial (kg)

Hi: Contenido de humedad inicial de la semilla (%)

Hf: Contenido de humedad final de la semilla (14 %)

La humedad de la semilla se determinó usando un medidor de humedad de grano electrónico portátil marca John Deere, PLUSTM SW08120, con precisión de ±5 % y rango de humedad de 5 % a 40 %.

Análisis de productividad del agua (kg m³). Se utilizó la metodología de González *et al.* (2011) quienes plantean la relación entre el rendimiento de cosecha y el agua total aplicada al sistema a través de las láminas de riego, según la siguiente ecuación:

$$WP = R/I$$

Donde:

WP: Productividad del agua aplicada por riego (kg m³)

R: Rendimiento (kg ha⁻¹)

I: Lámina de agua aplicada (m³ ha⁻¹)

Análisis estadístico. Se elaboró una base de datos en Excel y se realizó la prueba de t de Student con un margen de error de 5 % para parcelas pareadas. El análisis estadístico se realizó con Excel 2016, con previa activación de herramientas para análisis de datos, según el procedimiento:

Archivo, opciones, complementos, herramientas para análisis, ir, herramientas para análisis, aceptar. Una vez realizada esta activación, en datos, aparece un nuevo menú en la parte derecha denominado análisis de datos; se selecciona la ventana y en el cuadro de diálogo seleccionamos prueba t para análisis de dos muestras emparejadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de semilla (kg ha⁻¹). Ramiro-Vellejos y Kelly (1998) definen que el rendimiento de la semilla es la variable más acertada para determinar la tolerancia del frijol común a condiciones de poca humedad, condición que somete al cultivo a estrés hídrico e interrumpe procesos fisiológicos. Urrea *et al.* (2009) aseguran que reducir el estrés por condiciones de poca humedad y regar la cantidad óptima reduce en promedio hasta 58 % en pérdidas en rendimiento, lo que optimiza el uso del sistema de riego.

Para la variable rendimiento no se registraron diferencias estadísticas, esto permite recomendar la lámina dos ya que no difiere en cuanto al peso obtenido por unidad de área, y representa un ahorro de agua de 39.06 % y 35.78 % con relación a la lámina uno y tres respectivamente.

CEPAL *et al.* (2019) mencionan que “la agricultura consume un tercio de la energía generada mundialmente” por lo que se hace especial referencia a la gestión adecuada del agua y el manejo del sistema a través del tiempo e intervalos de riego. Acosta-Gallegos *et al.* (2000) indican que, con el uso de variedades mejoradas conducidas tradicionalmente mediante riego por aspersión, se incrementa significativamente el rendimiento de grano, lo que contribuye en el índice de producción por individuo y garantiza el objetivo de la reproducción y producción de material de siembra.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

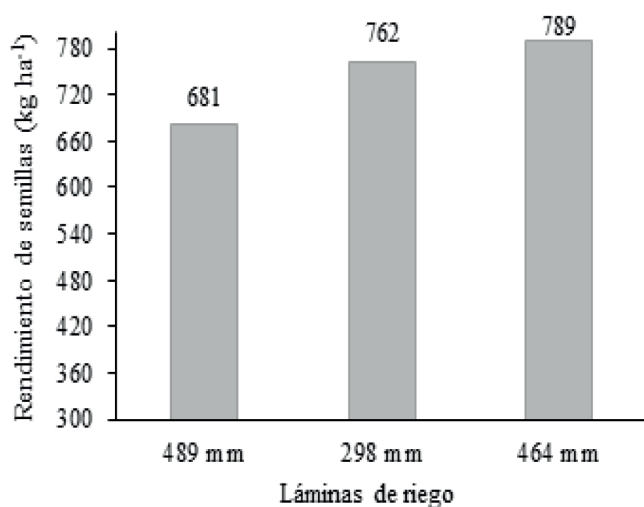


Figura 1. Rendimiento de semilla por influencia de láminas de riego.

Aguilar-Benítez *et al.* (2012) establecen los efectos positivos en el rendimiento al reducir la cantidad de agua aplicada al sistema. Las necesidades hídricas del frijol son bajas, lo que representa una ventaja en la producción de semilla al facilitar el riego en demás áreas y permitir liberar cultivares con baja demanda hídrica, favoreciendo a los productores de zonas de bajas precipitaciones o que no cuentan con sistemas de riego, disminuyendo los riesgos en el rendimiento final.

Duarte (2018) menciona que la demanda hídrica del frijol es de 300 mm, cantidad que debe estar bien distribuida durante el ciclo del cultivo, sin embargo, el INTA (2009) propone una lámina bruta entre 200 y 400 mm y establece que el frijol no demanda grandes volúmenes de agua y que su demanda está en dependencia de las fases fenológicas; esto facilita la producción de semilla y permite elegir el sistema de riego y el manejo más oportuno.

La aplicación de 298 mm, que representa la menor cantidad de agua, favorece la capacidad de la planta de acelerar los días a madurez fisiológica y mantener un índice de cosecha alto, según los descriptores de la variedad la fase R10 se presentó con una semana de anticipación; Polanía (2011) menciona que los genotipos de frijol con mayor producción en condiciones de limitada disponibilidad de agua se caracterizan por presentar ciclo fenológico corto.

Las variaciones en los intervalos y tiempo de riego se pueden realizar en función de la respuesta de cada cultivar, con los resultados obtenidos con INTA Jinotega Precoz se considera que se pueden realizar variaciones que reduzcan la cantidad de agua calculada en la lámina bruta, por la respuesta positiva de este cultivar a bajos contenidos de humedad y adaptación regional. Otegui (2006) hace referencia a los ajustes en los cambios de disponibilidad hídrica en el ciclo

del cultivo y el efecto en un desarrollo fenológico rápido que permita que el frijol se adapte a un régimen determinado y favorecer el rendimiento.

Productividad del agua (kg m³). Kijne *et al.* (2003) definieron la productividad del agua como una medida que determina la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir agua en alimento, es decir, cuánto producto se generó respecto al volumen de agua asignado. Este diagnóstico permite considerar y tomar decisiones respecto a la eficiencia del uso del agua en los sistemas y en cada región o área de siembra, considerando la relación de los factores climáticos, geográficos, hidrológicos y económicos, principalmente.

González (2011) plantea que el valor de la productividad del agua es variable en un mismo cultivo, con variaciones en función de la adaptabilidad geográfica, las condiciones de suelo, el manejo agronómico y la técnica de riego empleada, además González *et al.* (2015) mencionan que cuando la lámina bruta se aplica en el momento oportuno y en la cantidad necesaria, se favorece la eficiencia de la técnica de riego, mejorando los valores de productividad de agua.

Steduto *et al.* (2012) mencionan la importancia de crear alternativas que permitan incrementar la eficiencia y productividad del agua en la producción de alimentos, considerando satisfacer la seguridad alimentaria de la población mundial y gestionar incertidumbres referentes al cambio climático, debido al papel que representa el agua en las actividades agropecuarias y la disponibilidad física y económica de este recurso. Sánchez *et al.* (2006) describen que “la relación agua-rendimiento tiene como objetivo principal incrementar la productividad del agua en función de maximizar el rendimiento del producto por unidad de volumen invertido”.

La mayor productividad de agua se obtuvo aplicando 298 mm, lo que permite gestionar de forma oportuna el sistema de riego, disminuir la cantidad de agua y energía consumida y mejorar la asignación de agua en el sistema agrícola, a su vez, representa la eficiencia de transformación en un bien de consumo con la aplicación de menor volumen de agua al sistema (Figura 2).

Sánchez *et al.* (2006) aseguran que menor cantidad de agua aplicada implica mayor eficiencia del sistema de riego. La metodología utilizada plantea que la mayor productividad de agua se obtiene cuando el valor entre la relación rendimiento-agua es mayor, aplicando menor volumen de agua.

Los valores de productividad de agua varían de acuerdo con la zona, manejo, cultivo, insumos externos o internos y todos los elementos que intervienen en el proceso de producción. Oweis y Hachum (2003) establecen que los indicadores de cereales y leguminosas son bajos y oscilan

CIENCIA DE LAS PLANTAS

entre 0.51 kg m³ y 0.61 kg m³, mientras que González *et al.* (2017) proponen 0.22 kg m³ aplicando 484 mm, considerados como bajo en relación a los valores establecidos por González *et al.* (2014) entre 0.60 y 1.91 kg m³ con 306 mm como norma parcial de riego, quienes afirman que el principal factor que determina un menor rendimiento es el exceso de agua.

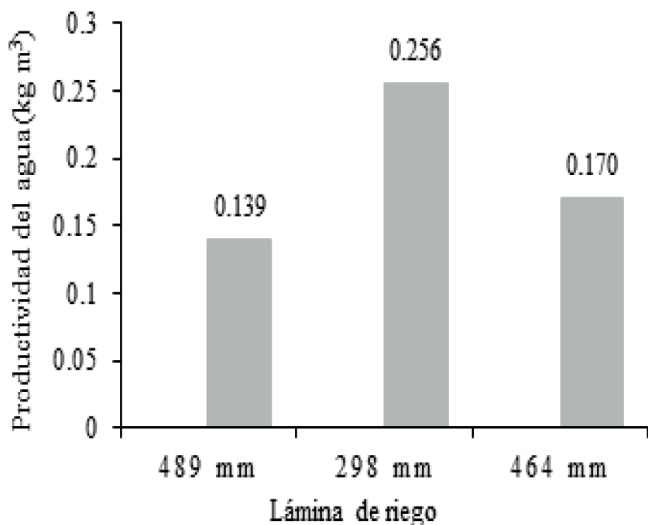


Figura 2. Productividad de agua según láminas de riego.

Rosales y Flores (2017) evidenciaron que, al aplicar mayor cantidad de agua se obtienen los valores más bajos de productividad, la gestión adecuada del sistema de riego

está en relación directa al cálculo de una lámina de riego que máxime el rendimiento por unidad de área, y que satisfaga los requerimientos hídricos del cultivo y mantenga la productividad de agua.

González *et al.* (2015) mencionan que “el estudio de las funciones entre la relación agua-rendimiento y su uso dentro de la planificación del agua para riego es una vía importante para trazar estrategias de manejo que contribuyan al incremento en la producción agrícola” el estudio les permitió determinar estrategias con las que maximizan la eficiencia del riego con reducciones de agua entre 21.6 % y 46.8 %, e incrementos en la productividad de agua entre 17 % y 32 %; esto reitera que la eficiencia de los sistemas siempre está relacionada al uso preciso y adecuado de los insumos, lo que permite elevar la relación costo-beneficio.

CONCLUSIONES

Con la lámina dos (298 mm) se obtiene igual rendimiento de semilla respecto a las láminas de mayor aplicación, así como mayor productividad del agua al presentar más eficiencia en la transformación de ésta en un bien y servicio de consumo, además, optimiza el recurso hídrico y el manejo del sistema de riego.

AGRADECIMIENTO

Al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) por permitirnos el uso de las instalaciones de la estación experimental La Compañía, facilitar los insumos y el personal de campo para el manejo del experimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Gallegos, J. A., Rosales-Serna, R., Navarrete-Maya, R., y López-Salinas, E. (2000). Desarrollo de variedades de frijol para condiciones de riego y temporal en México. *Rev. Fitotec. Mex.*, 26, 79-98.
- Aguilar-Benítez, G., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, J. R., Ramírez-Vallejo, P., Benedicto-Valdés, S. G., y Molina-Galán, J. D. (2012). Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicom-post y déficit de humedad en el sustrato. *Agrociencia*, 46(1), 37-50.
- Aguirre, R., y Peske, S. (1988). *Manual para el beneficio de semillas*. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/SB118.3_A33_Manual_para_el_beneficio_de_semillas.pdf
- Cisneros, F., Pacheco T, E., y Feyen, J. (2007). Evaluación del rendimiento de sistemas de riego por aspersión de baja pluviosidad como resultado de la aplicación de la extensión como soporte técnico. *Ingeniería del agua*, 14(3), 177-185. <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2910/2913>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2019). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020*. <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8214/BVE19040295e.pdf;jsessionid=5D2777AE1E87A5471D39CC8C3DAE5DE2?sequence=1>
- Duarte Rivas, N. (2018). *Comportamiento agronómico de 19 genotipos de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en seis ambientes bajo condiciones de sequía y suelos deficientes en fósforo, 2015-2016* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3766/1/tnf30d812.pdf>
- González Cueto, O., Abreu-Ceballos, B., Herrera-Suárez, M., y López-Bravo, E. (2017). Uso del agua durante el riego del frijol en suelos Eutric cambisol. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(1), 71-77. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542017000100009&lng=es&tlng=es

CIENCIA DE LAS PLANTAS

- González Robaina, F., Herrera Puebla, J., López Seijas, T., Lazo, G., Dios-Palomares, R., Hernández Rueda, M., Salazar Antón, W., y Romero Soza, A. (2015). Uso de las funciones Agua-Rendimiento y la productividad agronómica del agua en la planificación del agua en cultivos de importancia agrícola en Cuba. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1), 96-114. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v1i1.2144>
- González Robaina, F., López Seijas, T., y Herrera Puebla, J. (2015). Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 24(4), 57-63. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93241002010.pdf>
- González, F., Herrera, J., López, T., y Cid, L. G. (2011). Productividad agronómica del agua. *Revista Ingeniería Agrícola*, 1(1), 40-44.
- González, F., Herrera, P. J., López, S. T., y Cid, L. G. (2014). Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 21-27. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542014000400004&lng=e&s&nrm=iso.
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. IICA.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2018). *Estadísticas meteorológicas*. Departamento de estadísticas y meteorología.
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. (2009). *Guía tecnológica del cultivo del frijol común (Phaseolus vulgaris L.)* (2da ed.).
- Kijne, J. W., Barker, R., y Molden, D. (Eds.) (2003). *Water productivity in agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. International Water Management Institute Colombo, Sri Lanka., CABI Publication. <https://www.cabi.org/bookshop/book/9781845933395/>
- Kuglitsch, F. G., Reichstein, M., Beer, C., Carrara, A., Ceulemans, R., Granier, A., Janssens, I. A., Koestner, B., Lindroth, A., Loustau, D., Matteucci, G., Montagnani, L., Moors, E. J., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Rebmann, C., Schulze, E. D., Seufert, G., Verbeeck, H., Vesala, T., Aubinet, M., Bernhofer, C., Foken, T., Grünwald, T., Heinesch, B., Kutsch, W. T., Laurila, B., Longdoz, F., Miglietta, M., Sanz, J., y Valentini, R. (2008). Characterisation of ecosystem water-use efficiency of european forests from eddy covariance measurements. *Biogeosci. Discuss*, 5, 4481-4519.
- Liu, H. J., y Kang, Y. (2006). Effect of sprinkler irrigation on microclimate in the winter wheat field in the North China Plain. *Agric. Water Manage*, 84, 3-19.
- Ministerio Agropecuario. (2018). *Encuestas de producción por ciclo*. Ministerio de Agricultura y Ganadería y Banco Central de Nicaragua.
- Ministerio Agropecuario, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Nacional Agraria, Instituto Nacional Forestal e Instituto de Estudios Territoriales. (2015). *Atlas de suelos de Nicaragua*.
- Naan Dan Jain. (2013). *Aspersores*. A Jain Irrigation Company. http://naandanjain.com/wp-content/uploads/2019/04/2_NDJ_sprinklers_span_060818.pdf
- Obando Espinoza, J., Llano, A., Molina Centeno, J., Duarte Rivas, N., Guzmán Gómez, M., y Calderon Matey, R. (2017). *INTA Rojo Jinotega, variedad de frijol rojo con alto potencial productivo*. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria.
- Otegui, E. M. (2006). Bases ecofisiológicas para el manejo del agua en cultivos para grano conducidos en secano. *Informaciones agronómicas*, 44, 16-20.
- Oweis, T. Y., y Hachum, A. Y. (2003). Improving water productivity in the dry areas of west Asia and North Africa. En J. W. Kijne., R. Barker., y D. Molden (Eds.). *Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement*. (pp.179-198). International Water Management Institute.
- Polanía, J. A. (2011). *Identificación de características morfofisiológicas asociadas a la adaptación a sequía para ser usadas como criterios de selección en mejoramiento de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional. <http://www.bdigital.unal.edu.co/6663/1/josearnulfopolaniaperdomo.2011.pdf>
- Ramírez-Vallejo, P. y Kelly, J. D. (1998). Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*, 99, 127-136.
- Rosales, S. R., y Flores, G. H. (2017). *Importancia del agua de riego para la producción sostenible de frijol en Durango*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <https://www.researchgate.net/publication/323510747>
- Sánchez Cohen, I., Catalán Valencia, E., González Cervantes, G., Estrada Avalos, J., y García Arellano, D. (2006). Indicadores comparativos del uso del agua en la agricultura. *Agric. Téc. Méx*, 32(3), 333-340. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172006000300009
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., y Raes, D. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua* (Estudio FAO: Riego y Drenaje). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>
- Urrea, C. A., Dean Yonts, C., Lyon, D. J., y Koehler, A. E. (2009). Selection for Drought Tolerance in Dry Bean Derived from the Mesoamerican Gene Pool in Western Nebraska. *Panhandle Research and Extension Center*, 108. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1104&context=panhandleresext>