



Calidad del riego por aspersión subfoliar en *Theobroma Cacao L.* en la finca San Vicente, Los Ríos, Ecuador

Quality of subfoliar sprinkler irrigation in *Theobroma Cacao L.* in San Vicente farm, Los Ríos, Ecuador

Autores: Juan Tandazo Garcés¹
Oscar Caicedo Camposano²
Carlos Salas Macías³
Viviana Sánchez Vásquez⁴

Dirección para correspondencia: juanjetg@hotmail.com; jtandazo@mag.gob.ec

Recibido: 30-07-2018

Aceptado: 2-11-2018

Resumen

Se realizó la evaluación del manejo de un sistema de riego por aspersión subfoliar en el cultivo de cacao, en donde el objetivo fue valorar su comportamiento hidráulico. Se estudiaron tres presiones de trabajo de los aspersores en cinco módulos del sistema. Los parámetros evaluados fueron: presiones al inicio y final de los laterales de riego, caudales en esos mismos sitios, coeficiente de uniformidad de Christiansen, uniformidad de distribución y área regada adecuadamente. Los resultados indican que existe una variación de presión y caudal por encima de lo teórico (20% y 10%). Se evidenció que altos coeficientes de uniformidad no representan la mayor área regada adecuadamente. Las presiones de trabajo estudiadas en los aspersores aseguran altos coeficientes de uniformidad del riego, no obstante, si lo que se desea es alcanzar la mayor área adecuadamente regada se debe operar a 275,79 kPa.

Palabras claves: caudal; uniformidad; presión de trabajo.

¹ Estudiante de la Maestría en Ingeniería Agrícola. Instituto de Postgrado. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

² Profesor Investigador. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador. E-mail: ocamposano@utb.edu.ec

³ Profesor Investigador. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. E-mail: csalas@utm.edu.ec

⁴ Profesora Investigadora. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador. E-mail: viviana.sanchezv_82@hotmail.com

Abstract

The evaluation of the management of a subfoliar sprinkler irrigation system in the cocoa crop was carried out, where the objective was to evaluate its hydraulic behavior. Three working pressures of the sprinklers were studied in five modules of the system. The parameters evaluated were: pressures at the beginning and end of the irrigation sides flow at those same sites, Christiansen Uniformity Coefficient, Distribution Uniformity and Adequately Irrigated Area. The results indicate that there is a variation of pressure and flow above the theoretical, that is, of 20% and 10%. It was evidenced that high uniformity coefficients do not represent the largest area irrigated adequately. The work pressures studied in the sprinklers ensure high coefficients of uniformity of irrigation, however, if what is desired is to reach the largest area adequately irrigated, it should be operated at 275.79 kPa.

Keywords: flow; uniformity; pressure head.

Introducción

El método de riego por aspersión se inició por el siglo XX, alrededor de los años 30, con el tiempo el costo de los sistemas de riego por aspersión se redujo considerablemente gracias a la fabricación de los aspersores, el aligeramiento del peso de las tuberías de acero, así como la incorporación de acoples rápidos para la unión de las tuberías. Estas eventualidades provocaron un rápido ascenso en el uso de este método a escala mundial y en una extensa gama de cultivos.

En la década de 1950, hubo avances en la tecnología de este método de riego, fabricación de tuberías de aluminio, el desarrollo de los aspersores, y una mejora en las estaciones de bombeo, lo que originó una nueva expansión de la aspersión, posteriormente en la década de 1960, apareció una máquina de riego autopropulsada llamada “pivote,” caracterizada por su relativo bajo costo, con una mayor automatización y un mínimo de trabajo en su funcionamiento. Hasta el día de hoy, los sistemas de riego por aspersión han evolucionado de manera acelerada, mejorando la eficiencia de aplicación de agua con una amplia automatización, la cual reduce considerablemente las necesidades de mano de obra.

Aproximadamente el 10% de la superficie irrigada en el mundo es por aspersión, siendo esta proporción más elevada en países desarrollados, con altos costos de mano de obra y bajos costos de energía. Las innovaciones que se introducen mejoran el desempeño del riego y favorecen la adaptación de la aspersión a todos los tipos de suelo, de topografía, de cultivos y climas (Tarjuelo, 2005).

En Ecuador, el comportamiento de las lluvias generalmente tiene la misma tendencia en todas las provincias de la costa, tal es el caso, que el promedio mensual de lluvias de enero a abril es de 456,8 mm, mientras de mayo a

diciembre la media es de 43,8 mm en Los Ríos. Asimismo, este territorio posee la distribución hidrográfica más rica del Ecuador, la cual es dominada por el río Babahoyo cuyos principales afluentes son los ríos Caracol, San Pablo, Pueblo Viejo, Vinces, Zapotal y Yaguachi. Se han censado en su territorio 379 ríos (Caicedo Camposano, Balmaseda Espinosa, y Proaño Saraguro 2015), riachuelos y esteros existiendo además la presencia de humedales; por el comportamiento de las precipitaciones son importantes las inversiones en sistemas de riego para satisfacer las demandas hídricas del cacao en la estación seca (Caicedo-Camposano et al. 2016), los cuales deben no solo servir para irrigar, sino que, dicha labor debe cumplir con los indicadores de calidad de riego

De acuerdo con el III Censo Nacional Agropecuario, en Ecuador se siembran 243.146 hectáreas de cacao en sistemas de monocultivo y 191.272 hectáreas de cacao en sistemas asociados. La provincia de Los Ríos es la que tiene mayor producción de cacao con 58.572 hectáreas seguida por la provincia de Manabí y Guayas con una superficie sembrada de 52.577 y 51.227 hectáreas respectivamente (Instituto Nacional de Estadística y Censos 2014), por lo cual este cultivo demanda de importantes inversiones en infraestructura, esto con el propósito de mantener una producción estable, de tal manera que sus rendimientos no disminuyan en estación seca.

En los proyectos de riego por aspersión existe un factor que influye significativamente en su costo y operación, este es el empleo de métodos empíricos que realiza el personal técnico de departamentos de ventas de algunas casas comerciales al momento de calcular: potencia de motor y bomba, caudales, diámetros de tuberías, pérdidas por fricción y calendarios de riego; pudiendo de esta manera el sistema de riego del cacaotero llegar a ser deficiente o sobredimensionado.

En el ámbito de riego la intervención de los ingenieros agrícolas o especialistas en diseños de sistemas riego es muy escasa, a diferencia de la que se confiere a algunas casas comerciales, cuyo proceder es muy empírico, lo cual no asegura que se solicita esté hecho bajo parámetros hidráulicos y agronómicos que aseguren una eficiente uniformidad de distribución del agua y precautelen así un excelente funcionamiento de los sistemas de riego desde un punto de vista económico y de buen uso del agua en la labor de irrigación

La eficiencia del riego por aspersión no significa únicamente una buena aplicación del agua en los campos agrícolas, sino que también obedece a la selección adecuada de sus principales componentes que incluyen tuberías, aspersores y accesorios (Holzapfel et al. 2007).

La elección del aspersor será en función al marco de riego y la pluviometría, considerando que la pluviometría no debe exceder la velocidad de infiltración del suelo, ya que, si esto sucede, se provocará encharcamiento o escorrentías. En otras palabras, si se riega más de lo que el suelo es capaz de infiltrar, el

movimiento del agua provocaría encharcamientos y hasta erosión hídrica, ambos perjudiciales en el sistema de producción de cacao (Ramos y Báez 2013).

Los estudios hidráulicos de funcionamiento y calidad del riego en sistemas de aspersión a partir de la influencia que puede tener la presión de operación sobre la eficiencia, en términos de uniformidad de riego ha sido analizado por varios autores en diferentes condiciones de suelo, de clima y de cultivo (Yacoubi *et al.* 2012; Faria *et al.* 2012; MohammadPour zarandi *et al.* 2012; Zhao *et al.* 2012; Martins *et al.* 2013; Tomásik y Jobbágy, 2013; Zhang Lin, G. Merkley, y K. Pinthong 2013).

El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento hidráulico del riego por aspersión subfoliar en una plantación de cacao con el aspersor mayormente empleado por las casas comerciales y para las presiones de trabajo que usualmente se emplean en la mayoría de los sistemas de riego de alta presión y baja frecuencia, para ello se estudiaron los indicadores de calidad del riego tales como: coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), uniformidad de distribución (UD), área adecuadamente regada (ARA) y eficiencia de aplicación (Ea).

Los estudios de los indicadores de calidad de aplicación del riego por aspersión en cacao servirán para mejorar con criterio técnico errores que se han vuelto comunes desde hace tiempo en la entrega de agua para este cultivo a causa de los procedimientos empíricos aplicados en los proyectos elaborados por muchas casas comerciales.

Metodología

La evaluación del sistema se realizó en la finca “San Vicente” ubicada en el cantón Mocache, en las coordenadas UTM 667471, 9860541 del Datum WGS 84, a una altitud de 32 msnm.

La superficie del agroecosistema es de 15 hectáreas, se encuentra cultivada en su totalidad con cacao. El marco de siembra es de 3,0 m por 3,0 m, con lo cual da una densidad de 1.111 plantas por hectárea.

El riego se realiza por aspersión subfoliar con un sistema cuyos parámetros generales son:

- Fuente de agua: afluyente tipo estero.
- Tubería de succión de Ø 150 mm.
- Bomba de presión con potencia de 30 kW.
- Motor a combustión con potencia de 44 kW.
- Tubería de impulsión de Ø 150 mm.
- Tubería principal de Ø 150mm, Ø 100 mm.
- Tubería secundaria de Ø 60 mm.
- Tubería porta aspersores de Ø 25 mm.
- Total de aspersores 1.035
- Espaciamiento entre aspersores 12 m y entre laterales 14 m.

- Consumo de combustible aproximado de 2,5 l de diésel/hora.

El calendario de riego para el agroecosistema, establece regar a dosis e intervalos fijos por etapa. Cuando empieza la disminución de las precipitaciones (estación seca) a inicios de mayo y hasta diciembre se aplica una lámina de riego de 4 mm diarios.

El sistema opera en siete turnados diarios generalmente, lo que hace que trabajen entre 128 y 166 aspersores simultáneamente; es decir, que se abren de una a dos válvulas según el turnado, ya que uno de los sectores de riego tiene una superficie diferente a los demás.

En la investigación se empleó un diseño completamente aleatorizado, para evaluar el desempeño hidráulico del sistema de riego a tres presiones que establecieron los tratamientos, se valoraron cinco repeticiones (Figura 1) que estuvieron compuestas por 16 aspersores cada una:

- I. 201,13 kPa (30 PSI),
- II. 268,17 kPa (35 PSI),
- III. 275,79 kPa (40 PSI)

El tipo de aspersor utilizado fue SENNINGER 2014⁵ con boquilla #9 (9/64) color gris. La metodología de evaluación fue la propuesta por Merriam & Keller (1978) Medrado *et al.* (2004).

Para la comparación de medias entre los tratamientos se utilizó la prueba de Duncan al 95% de confianza. Las fuentes de variación y los grados de libertad del análisis de varianza aparecen en la Tabla 1. El procesamiento estadístico se realizó con el programa estadístico InfoSTAT.

Tabla 1. Parámetros para el análisis de varianza.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	
Tratamientos	t-1	2
Error experimental	(rt-1)-(t-1)	12
Total	rt-1	14

Indicadores evaluados:

- Caudal descargado por los aspersores.
- Diferencia de presión entre el primer y último aspersor de cada módulo.
- Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC).
- Coeficiente de uniformidad de distribución (UD).
- Área regada adecuadamente (ARA).
- Eficiencia de riego (Ea).

Indicadores de calidad del riego

⁵ La mención de la marca comercial del aspersor, instrumentos o materiales específicos obedece únicamente a propósitos de identificación, no existiendo compromiso promocional con relación a los mismos por la dirección de la revista.

Los indicadores de desempeño para cada tratamiento analizado en esta evaluación, se establecieron por el modelo matemático propuesto (Medrado *et al.*, 2004) utilizando la rutina Solver que se activa en la hoja de cálculo de Excel, que permitió representar diferentes modelos de distribución de agua utilizando un mayor número de parámetros de ajustes.

$$X = X_n + (X_m - X_n)(1 - a^n)^m$$

Donde:

a : Representa la fracción del área acumulada

X : Lámina de agua o caudal aplicado

X_m : Lámina o caudal máximo de agua aplicado

X_n : Lámina o caudal mínimo de agua aplicado

m y n : Parámetros de ajuste

La variable puede ser explícitamente determinada con la siguiente expresión:

$$a = \left[1 - \left(\frac{\bar{X} - X_n}{X_m - X_n} \right)^{1/m} \right]^{1/n}$$

El caudal de los aspersores evaluados se midió dos veces durante la evaluación para cada tratamiento y repetición. Esos valores se utilizaron en la determinación del gasto promedio de agua. Con manómetros se midió la presión a la salida de la bomba, y de los aspersores de los módulos seleccionados para el ensayo en cada tratamiento.

Resultados

En la Tabla 2 se aprecia que ninguno de los módulos analizados (repeticiones) cumple las condiciones hidráulicas de diseño de tuberías porta aspersores, las cuales indican que la variación máxima de presión entre el primer y último aspersor debe ser $\leq 20\%$, para que la diferencia en los caudales, en esos mismos puntos, sea $\leq 10\%$ (Martin, Heermann, & Madison, 2013). Estos autores proponen esas condiciones para conseguir eficiencias de aplicación altas con el mínimo diámetro de las tuberías. Lo antes manifestado coincide con la hipótesis inicial de esta investigación sobre el defectuoso funcionamiento hidráulico del sistema de riego evaluado, posiblemente provocado por un excesivo número de aspersores en las tuberías portaaspersores.

Las deficiencias en el funcionamiento hidráulico del sistema de riego se aprecian al cotejar los caudales observados con los nominales que aparecen en los catálogos del fabricante para las presiones estudiadas.

Tabla 2. Variaciones promedio de presiones y caudales en los módulos evaluados.

Módulos	Variación de presiones (%)	Variación de caudales (%)
1	24	15
2	24	15
3	21	8
4	21	12
5	22	11

En ninguno de los tres tratamientos las descargas reales superan el 85% del gasto nominal (Tabla 3). Es de suponer que la causa de esta situación son las variaciones de presión citadas en el párrafo anterior, lo que se sustenta en que “un aspersor funciona mejor cuando la presión disponible está dentro de los límites descritos por el fabricante” (Santos Pereira, de Juan Valero, & Tarjuelo Martín-Benito, 2010).

En la Tabla 3 se muestran los valores medios de los indicadores recomendados cuando el propósito del estudio es identificar la calidad del riego de los sistemas (Tarjuelo, 2005), los cuales fueron medidos en cada tratamiento. El coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) alcanzó valores por encima al 96% en todos los tratamientos, no obstante, existen diferencias significativas entre los dos primeros y el tercero. Es conveniente indicar que la aplicación de este coeficiente como criterio para el diseño hidráulico en sistemas de riego por aspersión subfoliar ha sido puesta en duda, debido a la intersección entre los tallos y el chorro (caudal) emitido por los aspersores (Boss & Wolters, 1990).

Tabla 3. Indicadores de calidad del riego por tratamiento.

Tratamientos	Caudal observado (L. hora ⁻¹)	Caudal nominal (L. hora ⁻¹)	% entregado del nominal	CUC (%)	UD _{25%} (%)	ARA (%)
I	641,65	755,24	85,0	97,95 ^a	96,76 ^a	0,4710 ^b
II	672,57	807,41	83,3	97,55 ^a	96,46 ^a	0,4658 ^b
III	710,70	857,30	82,9	96,57 ^b	94,30 ^b	0,5723 ^a
CV (%)	6,81			0,49	1,30	14,47

En la Tabla 4 se presentan criterios para caracterizar la calidad del riego en sistemas de aspersión a partir del coeficiente de uniformidad. En concordancia con esos criterios la calidad del riego es muy buena.

La uniformidad de distribución para el 25% del área menos regada (UD25%) tiene la misma propensión que el CUC, sus valores son elevados, hay más de dos unidades porcentuales entre los tratamientos I y III. La UD25% caracteriza el sistema de riego y señala el valor tope que puede ser alcanzado por la eficiencia de aplicación; recordando que esta última está en función del manejo del riego y las limitaciones establecidas en el sistema (Santos Pereira, de Juan Valero, y Tarjuelo Martín-Benito, 2010).

De acuerdo con los dos indicadores de calidad estudiados, el funcionamiento del sistema es bueno, sin embargo, están en contraposición con los valores de área regada adecuadamente (ARA). En esta variable el tratamiento III es significativamente diferente a los otros, superándolos en más de 10%. De manera que, con respecto a la uniformidad en la distribución del riego se puede asegurar que el sistema funciona apropiadamente, no obstante, puede tratarse de aplicaciones incorrectas que no cubren el déficit de humedad en el suelo (Tarjuelo, 2005).

Tabla 4. Clasificación de la calidad del riego en función del coeficiente de uniformidad (adaptado de (SIAR Castilla-La Mancha, 2003).

CUC (%)	Clasificación
> 90	Muy Buena
85 – 90	Buena
80 – 85	Aceptable
< 85	Inaceptable

El contraste entre los valores de uniformidad de distribución y el ARA pudo haberse obtenido porque en la práctica de riego por aspersión subfoliar, como la que se aplica en cultivos tipos arbustivos, se crea un efecto de apantallamiento del chorro (descarga) del aspersionador, que causa una distribución diferente a cuando se riega sin esos obstáculos (Rodríguez *et al.*, 2007).

Conclusiones

El sistema presenta falencias en su en su diseño que inciden en el funcionamiento, ya que las variaciones de presión y caudal, superan los límites permisibles según los fundamentos de la hidráulica de tuberías, por lo que se impone una revisión de su diseño con el propósito de mejorar su desempeño.

Que un sistema de riego tenga valores de CUC y UD_{25%} por encima de 96% y 94% correspondientemente, no asegura que la lámina aplicada este humedeciendo apropiadamente la profundidad de suelo requerida por el sistema radicular del cultivo y por tanto esté siendo regada adecuadamente.

Las presiones de trabajo II y III garantizan altos coeficientes de uniformidad del riego, no obstante, si lo que se desea es alcanzar una mayor área adecuadamente regada se debe operar el sistema a 275,79 kPa.

Referencias bibliográficas

- Boss, M. G. 1980. «Irrigation efficiency at crop production level». ICID Bulletin 29 (2): 18-26.
- Boss, M. G., y W. Wolters. 1990. «Water changes and irrigation efficiencies». Irrigation and Drainage Systems 4 (3): 267-78.
- Caicedo Camposano, Oscar, Carlos Balmaseda Espinosa, y Jaime Proaño Saraguro. 2015. «Programación del riego del banano (*Musa paradisiaca*) en finca San José 2, Los Ríos, Ecuador». Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 24 (2): 18-22.
- Caicedo-Camposano, Oscar, Dalton Cadena-Piedrahita, Luis Alcívar-Torres, Adela Veloz-Paredes, y Franklin Montecé-Mosquera. 2016. «Análisis del comportamiento de las precipitaciones en Quevedo-Ecuador, para la planificación de cultivos». European Scientific Journal, ESJ 12 (33).
- Faria, Lessandro C, Samuel Beskow, Alberto Colombo, y Henrique F. E de Oliveira. 2012. «Modelagem Dos Efeitos Do Vento Na Uniformidade Da Irrigação Por Aspersão: Aspersores de Tamanho Médio». Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 16 (2): 133-41. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000200002>.
- Holzappel, Eduardo A., Ximena M. Pardo, Vidal P. da S. Paz, Antonieta Rodrigues, Ximena C. Orrego, y Marco A. López. 2007. «Análisis técnico-económico para selección de aspersores». Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 11 (6): 557-63.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2014. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC. Quito-Ecuador.
- Martins, Caio Louzada, Camilo Busato, Samuel Ferreira da Silva, Wagner Nunes Rodrigues, y Edvaldo Fialho dos Reis. 2013. «Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação no sul do Estado do Espírito Santo» REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE 7 (2): 236-41. Recuperado de
- Medrado E., Jorge Enoch Furquim Werneck Lima, Juscelino Antônio de Azevedo, y Lineu Neiva Rodrigues. 2004. «A mathematical model for evaluating irrigation systems performance». Pesquisa Agropecuária Brasileira 39 (8): 741-48. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000800003>.
- Merriam, J.L., y J. Keller. 1978. Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management. Logan, UT: Utah State University.
- MohammadPour zarandi, Mohammad Ebrahim, Neder Heydari, y Shahram RostamPour. 2012. «An empirical method to measure the relative efficiency of irrigation methods in agricultural industry». Management Science Letters 2 (1): 279-84. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2011.08.011>.
- Ortiz, J. 2017. «Uso de la distribución normal para cuantificar la calidad del riego en sistemas de aspersión estacionario». Ciencias Agrarias, ISSN-1390-4051, 10(2):75-82.
- Rodriguez, Manuel, Reynaldo Rey, Victor Torralba, Omar Puig, y Rodolfo Acevedo. 2007. «Riego por aspersión de baja intensidad en el cultivo del banano con el empleo del miniaspersor Mamkad 2255 "pruebas de laboratorio"». Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 16 (1): 86-88.

Santos Pereira, L., J.A. de Juan Valero, y J.M. Tarjuelo Martín-Benito. 2010. *El Riego y sus Tecnologías*. 1a Edición en castellano. Albacete, España: CREA-UCLM, Centro Regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla-La Mancha.

Tarjuelo, J.M. 2005. *El riego por aspersión y su tecnología*. Vol. 3a edición. Madrid. Barcelona. México: Ediciones Mundi Prensa.

Tomásik, L., y J. Jobbágy. 2013. «Optimization of Irrigation Spray Distribution in the Term of its Uniformity». *Agris on-line Papers in Economics and Informatics V (2)*: 103-9.

Yacoubi, Samir, Khemaies Zayani, Adel Slatni, y Enrique Playán. 2012. «Assessing Sprinkler Irrigation Performance Using Field Evaluations at the Medjerda Lower Valley of Tunisia». *Engineering 04 (10)*: 682-91. <https://doi.org/10.4236/eng.2012.410087>.

Zhang Lin, G. Merkle, y K. Pinthong. 2013. «Assessing whole-field sprinkler irrigation application uniformity» *Irrigation Science* 31 (2): 87-105. <http://dx.doi.org/10.1007/s00271-011-0294-0>.

Zhao, Weixia, Jiusheng Li, y Yanfeng Li. 2012. «Modeling sprinkler efficiency with consideration of microclimate modification effects». *Agricultural and Forest Meteorology* 161: 116-122