

Evaluación del desempeño del riego por aspersión en lotes con cultivo de banana en Chiapas, México

Assessment of irrigation sprinkler performance in banana growing lots in Chiapas, México

Germán Santacruz de León^{1*}, Eugenio Eliseo Santacruz de León²

¹ Programa “Agua y Sociedad”, El Colegio de San Luis, A.C., México.

 <http://orcid.org/0000-0001-5231-6355>

² Universidad Autónoma Chapingo, México.

 <http://orcid.org/0000-0002-3386-9533>

✉ Autor para correspondencia: german.santacruz@colsan.edu.mx

Resumen

Los objetivos de este trabajo fueron determinar las condiciones edáficas y estimar las necesidades hídricas del cultivo del banano (*Musa acuminata*, var. enano gigante) en la región del Soconusco, Chiapas, México; así como evaluar dos sistemas de riego por aspersión para ese cultivo. Para lograr esto se seleccionaron cuatro lotes de cinco hectáreas cada uno, y se colectaron una muestra de suelo por lote, y dos muestras de agua de riego. A las muestras de suelo y agua se les determinaron pH, textura (en suelo), cationes y aniones con métodos estandarizados. Se estimó la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite, y la evapotranspiración real por el método de Blaney-Criddle con lo que se obtuvieron los valores mensuales de requerimiento de riego. Además, se obtuvieron los Coeficientes de Uniformidad de Christiansen (CUc), de Uniformidad de Distribución (UD) y la Eficiencia de Aplicación (Ea) bajo condiciones normales de operación. Los resultados muestran que, en general, las condiciones edáficas (suelos franco y franco limosos) para el cultivo de banana son favorables, así mismo, la calidad del agua (CIS1) es adecuada y puede ser usada en cualquier tipo de suelo. La lámina de riego fue de 1.418,9 mm anuales. Los valores de CUc y UD para riego sobre el dosel fueron de 47,7 y 26,1, respectivamente, para el riego subfoliar los rangos fueron de 54,4-67,3 y 44,6-54,4, respectivamente, lo que permite concluir que las dos modalidades de riego no están dentro de los intervalos establecidos como aceptables.

Palabras clave: evaluación hidráulica, evaluación agronómica, riego por aspersión, banano, Chiapas.

Abstract

The aims of this work were identifying the edaphic conditions and estimate the water needs of Dwarf Giant Banana crop (*Musa acuminata* ‘Enano Gigante’) in the Soconusco region, Chiapas, México; as well as to assess two different irrigation sprinkler systems. To achieve this, four lots of five hectares each were selected. And, one soil sample per lot and two irrigation water samples were collected. The pH, texture (of soil), cations, and anions in soils and water samples were analyzed using standardized methods. The potential evapotranspiration was estimated by the Thornthwaite method and the real evapotranspiration by the Blaney-Criddle method, to establish the monthly values of irrigation requirements. Besides, the Christiansen Uniformity coefficient (CUc), Distribution Uniformity (UD), and the Applied efficiency (Ea) were obtained under normal operating conditions. The results showed that, in general, the edaphic conditions (Clay loam and Silty loam) for banana

cultivation were suitable. At the same, the water quality (CIS1) is suitable and can be used in any type of soil. The annual depth irrigation was 1,118.9 mm. The CUC and UC values for dosel irrigation were 47.7 and 26.1, respectively, and for subfoliar irrigation the ranges were 54.4-67.3 and 44.6-54.4, respectively. As conclusion, the two irrigation sprinkler systems are not within the established ranges as suitable.

Keywords: water assessment, agronomic evaluation, irrigation sprinkler, banana, Chiapas.

1. Introducción

Los objetivos de este trabajo fueron determinar las condiciones edáficas y estimar las necesidades hídricas del banano (*Musa aaa* cv. gran enano) en la región del Soconusco, Chiapas, así como evaluar dos sistemas de riego por aspersión para ese cultivo. Dicha zona es una de las principales productoras de banano en México, con aproximadamente 12.000 hectáreas bajo riego.

La producción agrícola requiere del conocimiento de las condiciones edáficas (Barrera *et al.*, 2020) y de las necesidades hídricas del cultivo en cuestión. En la región del Soconusco se tienen recomendaciones generales para el banano (Garrido-Ramírez *et al.*, 2011), pero existen pocos trabajos específicos en los que se aborden estas condiciones.

En diversas zonas productoras de banano se han efectuado estudios de las características físicas y químicas del suelo. De los mismos se desprende que el banano requiere suelos con texturas franco y franco arenoso, con pH de 5 a 7 (Araújo *et al.*, 2018; Cigales & Pérez, 2011; Crane & Balerdi, 1998; Rodríguez & Guerrero, 2002; Sattler & Marcelino, 1983; Soto, 1991). La calidad del agua de riego puede impactar en los niveles de producción del banano, su mala calidad puede provocar reducciones en la infiltración, así como la presencia de sales (Araújo *et al.*, 2018). Por otra parte, se ha estimado, con diferentes métodos, las necesidades hídricas del cultivo, los valores encontrados van desde 2,5 mm día⁻¹ hasta 8 mm día⁻¹ (Araújo *et al.*, 2018; Bassoi *et al.*, 2004; Cigales & Pérez, 2011; Liu *et al.*, 2009; Salazar-Morera, 2019; Shah *et al.*, 2017). En general, para cubrir esa demanda de agua se requiere de la aplicación de riego.

En el Soconusco, desde los años 1990 se emplean métodos presurizados. En sus inicios fueron de aspersión sobre el dosel del cultivo, los cuales utilizan una red de tuberías permanentes de policloruro de vi-

nilo (PVC), mediante aspersores con gastos que van desde los 2,77 lps a 27,7 lps y que trabajan a presiones de 3,5 a 6,5 kg cm⁻², con un diámetro de humedecimiento de 60 m a 120 m y con intensidades de aplicación de 10,0 mm h⁻¹ a 15,0 mm h⁻¹. Esos métodos se han sustituido por el de aspersión subfoliar, con aspersores con ángulo bajo de 12° y boquillas de 2,4 mm, con un diámetro de mojado que va de 6,0 m a 15,0 m, son permanentes y se colocan sobre elevadores cuya altura va de 40 cm a 80 cm sobre el nivel del suelo.

Los métodos de riego por aspersión para el banano en el Soconusco no son sometidos a evaluación hidráulica, de manera que han sido instalados y operados inadecuadamente, lo que puede provocar desperdicios de agua y energía, causar daño al cultivo y, como consecuencia, una reducción en los ingresos del agricultor.

La evaluación de un sistema de riego, permite determinar, a partir de parámetros cuantitativos, problemas en algún elemento del mismo y determinar la forma en que se está aplicando el riego (Martínez, 1991, Mansour *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2019). La uniformidad de aplicación es el parámetro más importante en la evaluación de un sistema de riego, el cual depende del tipo de aspersor, de las condiciones de operación, así como del espaciamiento entre regantes y aspersores (Dieter *et al.*, 2014; Mohamed *et al.*, 2019; Tamagi *et al.*, 2018). En la bibliografía especializada existen pocos reportes sobre evaluación de sistemas de riego por aspersión para el cultivo del banano bajo condiciones normales de operación; se cuenta con estudios en Ecuador (Caicedo *et al.*, 2015), en Cuba (Rodríguez *et al.*, 2007).

2. Materiales y métodos

El estudio se realizó en una finca platanera de veinte hectáreas, ubicada en el municipio de Suchiate, Soconusco, Chiapas (Figura 1). Esta superficie se dividió en cuatro lotes de cinco hectáreas cada uno.



Figura 1. Localización del Soconusco, Chiapas. (Fuente: ECOSUR, 1999).

Considerando que el sistema radical del banano tiene su mayor actividad dentro de los primeros 60 cm de profundidad del suelo, se colectaron muestras para las profundidades 0-30 cm y 30-60 cm, es decir, dos muestras por lote, observando las técnicas estandarizadas (Chapman *et al.*, 1973; Del Valle, 1992; Pulido y Del Valle, 1985).

Las determinaciones físico-químicas del suelo se realizaron en el Laboratorio de Agua y Suelo del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo, considerando las técnicas descritas en Aguilera & Martínez (1986), Del Valle (1992) Pulido & Del Valle (1985). La textura se determinó con el hidrómetro de Bouyoucos. La capacidad de campo con el método de la olla de presión y el punto de marchitamiento permanente con el método de la membrana de presión a 15,45 kg cm⁻². El pH se determinó con el método del potenciómetro y la conductividad eléctrica se estableció con el puente de Wheastone. La densidad aparente se determinó por el método de campo utilizando plástico, y para obtener la velocidad de infiltración se realizaron tres pruebas de infiltración con el método de doble cilindro. El modelo matemático para correlacionar los

valores de infiltración y estimar la velocidad de infiltración acumulada que se empleó fue el desarrollado por Kostiakov-Lewis (Aguilera & Martínez, 1986).

Las dos muestras de agua colectadas se analizaron en el Laboratorio de Agua y Suelo del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo. Se determinó la conductividad eléctrica, pH, cationes y aniones, las técnicas utilizadas se describen en Del Valle (1992) y en Pulido & Del Valle (1985). Los problemas de calidad del agua de riego son salinidad, infiltración del agua, toxicidad de iones específicos, entre otros (Ayers & Wescot, 1987). Palacios & Aceves (1970) han conjuntado ocho índices, los cuales dan un mejor detalle de la calidad del agua en comparación con los índices que sólo toman en cuenta la relación de absorción de sodio (RAS) y la conductividad eléctrica (CE). Para llevar a cabo la clasificación, con respecto a su uso para riego se siguieron los criterios propuestos por Aceves (2011), así como Palacios & Aceves (1970).

En la práctica de la agricultura de riego se distinguen dos grupos principales de métodos para estimar el uso de agua por los cultivos en su ciclo

de desarrollo: a) los métodos basados en la medición directa del uso de agua total en condiciones de campo como resultado de la determinación de todos los componentes del balance hídrico en la capa de suelo o en lisímetros y, b) los indirectos, basados en la determinación por medios experimentales de la interrelación entre la evapotranspiración de los cultivos y las condiciones climáticas, meteorológicas y agrícolas expresadas en forma de distintos índices y coeficientes (Aidarov *et al.*, 1985; Allen *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2009; Tijerina, 1999). En los segundos se emplea un coeficiente de cultivo (kc) que representa el uso de agua (en porcentaje del ciclo total) en función del desarrollo del cultivo en cuestión.

En tal sentido, aquí se procedió a estimar las necesidades hídricas del cultivo mediante métodos indirectos, considerando que la siembra del cultivo se realiza en enero. Se emplearon las variables meteorológicas de la estación López Rayón, la cual se ubica a 14° 37' 30" de latitud norte y 92° 11' 20" de longitud oeste y a una altura sobre el nivel del mar de 7,0 m. En esa estación sólo se registran valores de evaporación, precipitación y temperatura, por lo que se emplea el método de Thornthwaite y el método de Blaney-Criddle modificado por Phelan, considerando que este método está recomendado para áreas en las que sólo se tienen datos de temperatura del aire y para periodos de un mes o mayores (Allen *et al.*, 2006). Para estimar la evapotranspiración se usó el coeficiente de cultivo (kc) (Araújo *et al.*, 2018; Da Silva *et al.*, 2009; Doorenbos & Pruitt; 1980; Mansour *et al.*, 2019).

Por otro lado, la evaluación hidráulica se fundamenta principalmente en la determinación de la uniformidad de aplicación del agua, la cual puede ser afectada por el espaciamiento de aspersores, el tipo y operación del mismo, tamaño y tipo de boquilla, velocidad y dirección del viento. Existe una gran variedad de ecuaciones que permiten, a partir de mediciones en campo, estimar la uniformidad de aplicación, en este trabajo se determinó el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUc), el Coeficiente de Uniformidad de Distribución (CUD) (Dieter *et al.*, 2014; Mansour *et al.*, 2019; Mohamed *et al.*, 2019). Adicionalmente se determinaron dos parámetros: uno que cuantifica la cantidad de agua emitida por el aspersor y que no llega al suelo, y el otro conocido como eficiencia de aplicación intrínseca del sistema, que mide la relación existente entre la lámina media captada

por los pluviómetros y la lámina media aplicada (Martínez, 1991).

Se efectuaron dos pruebas para el riego por aspersión sobre el dosel: una en presencia del cultivo y la otra en ausencia de éste. Se realizaron dos pruebas para el riego por aspersión subfoliar en presencia de cultivo, variando la separación entre aspersores y entre líneas regantes.

Para el riego por aspersión sobre el dosel se colocaron dos líneas transversales de pluviómetros. El número de pluviómetros por línea fue de 24 con una separación entre uno y otro de 4,0 metros. El aspersor analizado tiene un diámetro de boquilla de 26,7 mm, con una presión de operación de 4,3 kg cm⁻² y con un tiempo de prueba de dos horas.

En el caso del riego por aspersión subfoliar, cuyos aspersores tienen un arreglo triangular con una separación entre regantes (Sr) de 11,0 m y una separación entre aspersores (Sa) de 11,25 m, se usaron 35 pluviómetros con una separación lineal de tres metros entre uno y otro. El aspersor analizado tiene un diámetro de boquilla de 2,4 mm, con una presión de operación de 3,2 kg cm⁻² y con un tiempo de prueba de dos horas, la altura del elevador fue de 40 cm. En este caso se consideraron cinco aspersores. Los resultados de estas pruebas se compararon con la reportada para diferentes regiones en las que se emplea el riego por aspersión y en las que, de manera particular, se utiliza para el riego del banano.

3. Resultados y discusión

El banano se cultiva en una gran variedad de suelos, pero eso no significa que todos sean aptos para su cultivo, ya que el suelo debe cumplir, además de su función de apoyo y proveedor de espacio vital, con determinados requisitos de carácter físico y químico indispensables para un crecimiento y desarrollo normal de la planta (Simmonds, 1973). En diversas investigaciones se ha demostrado que las texturas más recomendables para obtener una buena cosecha económica de banano son las franco-arenosas muy finas y finas hasta franco-arcillosas (Crane & Balerdi, 1998; Eid & Maklad, 2019; Rodríguez & Guerrero, 2002; Sattler & Marcelino, 1983; Soto, 1991). La clasificación textural aquí encontrada va desde francos hasta arcillosas, de manera que sólo los lotes 1, 2 y 3 cumplen con este requisito (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación textural del suelo con cultivo de banano

Localización	Profundidad (cm)	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clasificación textural
Lote 1	0-30	36,76	26,52	36,72	Franco
	30-60	34,76	32,52	32,72	Franco-arcilloso
Lote 2	0-30	35,48	28,52	36,00	Franco
	30-60	18,76	40,52	40,72	Arcillo-limoso
Lote 3	0-30	19,12	36,52	44,36	Franco-arcillo-limoso
	30-60	18,76	50,52	30,72	Arcilloso
Lote 4	0-30	12,76	45,52	44,72	Arcillo-limoso
	30-60	10,76	52,52	36,72	Arcillosos

La densidad aparente del suelo de todos los lotes estudiados queda comprendida dentro del intervalo recomendado para el cultivo del banano, va de 1,15 g cm⁻³ a 1,4 g cm⁻³ (referencias bibliográficas). Por otro lado, puede verse que la mayor capacidad de almacenamiento (cm) corresponde a los primeros

30 cm del lote 4 (Tabla 2), el cual tiene una clasificación textural arcillo-limosa, sin embargo, esa condición textural permite inferir que ese perfil retiene con mayor fuerza al agua, además debe recordarse que esta textura no es recomendable para el cultivo del banano.

Tabla 2. Densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitamiento permanente y capacidad de almacenamiento en un suelo con cultivo de banano

Localización	Profundidad (cm)	Da (g cm ⁻³)	C.C. (%)	P.M.P. (%)	Capacidad de almacenamiento (cm)
Lote 1	0-30	1,33	29,31	12,82	6,6
	30-60	1,30	29,42	15,27	5,5
Lote 2	0-30	1,40	33,30	16,63	7,0
	30-60	1,35	39,41	21,05	7,4
Lote 3	0-30	1,31	35,98	17,54	7,2
	30-60	1,27	39,11	24,54	5,5
Lote 4	0-30	1,25	42,48	21,78	7,8
	30-60	1,15	41,77	25,75	5,5

Conocer los valores de infiltración básica es fundamental en el diseño y operación de los sistemas de riego. En este caso los resultados indican que el suelo tiene un grado de permeabilidad media, lo que puede provocar problemas de drenaje, sobre todo en el lote 4 (Tabla

3), un suelo presenta un grado medio de permeabilidad al agua cuando la infiltración básica de éste se encuentra entre 3,8 cm h⁻¹ y 7,4 cm h⁻¹, los valores encontrados en una plantación de banana en Costa Rica están entre 0,5 cm h⁻¹ y 3,0 cm h⁻¹ (Salazar-Morera, 2019).

Tabla 3. Infiltración básica en un suelo con cultivo de banana

Localización	Ib (cm h ⁻¹)
Lote 1	6,4
Lote 2	5,58
Lote 4	4,27

El pH del suelo estudiado es adecuado para el cultivo comercial del banana (Tabla 4), sólo el lote 2 rebasa los valores guía que van de 5 a 7 (Álvarez, 1981; Crane & Balerdi, 1998; Doorenbos & Kassam, 1980; Rodríguez & Guerrero, 2002; Sattler & Marcelino, 1983). En este caso se debe tener cuidado con la lámina de riego aplicada y sobre todo con la calidad del agua, además se debe tener precaución con el tipo y la cantidad de fertilizantes aplicados.

En lo que respecta a la conductividad eléctrica (CE) del suelo, se ha mostrado que el banana es muy

sensible a la salinidad, necesitando valores inferiores a 1 dS m⁻¹ para lograr un buen crecimiento (Crane & Balerdi, 1998; Doorenbos & Kassam, 1980) y se recomienda su cultivo en suelos con valores de CE inferiores a 2 dSm⁻¹ y en ningún caso superiores a 6 dS m⁻¹. Los lotes 1 y 3, no presentan problemas, sin embargo, los lotes 2 y 4, sobre todo en su porción de 30-60 cm, pueden presentar problemas con respecto a este parámetro, debe tenerse cuidado con la lámina de riego aplicada y sobre todo con la calidad del agua.

Tabla 4. Valores de pH y C.E. en un suelo con cultivo de banana

Localización	Profundidad (cm)	pH	C.E. (dS m ⁻¹)
Lote 1	0-30	7,08	0,190
	30-60	7,67	0,330
Lote 2	0-30	7,8	0,430
	30-60	8,0	0,860
Lote 3	0-30	7,5	0,280
	30-60	7,54	0,350
Lote 4	0-30	7,72	0,500
	30-60	7,26	0,800

La fuente de agua es de origen superficial y corresponde a una derivación en la margen derecha del río Suchiate. Los parámetros de calidad del agua (Tabla 5) permiten clasificarla como C1-S1, es decir, bajo peligro de salinidad y bajo peligro de sodio. Así, se puede decir que es adecuada para su uso en el riego del cultivo del banano. En el caso del muestreo dos, la relación de absorción de sodio (RAS) fue de 0,58. La salinidad potencial (SP) fue de 0,415 meq L⁻¹, para el caso del muestreo 2, lo que la clasifica como un agua de buena calidad para riego. El carbonato de sodio residual (CSR) presenta un valor de

0,0 meq L⁻¹. La salinidad efectiva (SE) es de 0,45 meq L⁻¹. El contenido de cloruros es de 0,39 meq L⁻¹. En Canarias se encontró que el agua de riego en plataneras presentó CE del orden de 0,470 dS m⁻¹, valor considerado como normal para el cultivo del banano, en Brasil se obtuvieron valores de 1,12 a 1,25 dS m⁻¹ (Araújo *et al.*, 2018; Vargas-Contreras & Rodríguez- Rodríguez, 2000). De manera que se puede decir que el agua de riego es de buena calidad y puede usarse en cualquier tipo de suelo con poca probabilidad de que se desarrolle salinidad y un bajo peligro de alcalinidad.

Tabla 5. Calidad química del agua en el río Suchiate

Muestreo	T (°C)	pH	C.E. (dS m ⁻¹)	Cationes (meq L ⁻¹)			Aniones (meq L ⁻¹)			
				Ca	Mg	Na	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄
1	30	7,86	0,069	0,29	0,41	2,0	1,3	0,4	0,90	0,09
2	28	6,82	0,140	0,4	0,5	0,39	0,90	0,00	0,39	0,05

En relación con la evapotranspiración potencial (ETP), el mes de mayo presenta el máximo valor con

206 mm (Tabla 6), que es superior a los calculados por varios métodos en otras regiones del mundo.

Tabla 6. Cálculo de la evapotranspiración potencial del banano (gran enano) por el método de Thornthwaite. Soconusco, Chiapas.

Mes	Duración (días)	T (°C)	$\left[\frac{T}{5}\right]^{1.514}$	a	ETP (cm)	Duración del fotoperiodo	ETP (ajustado) (cm)
Enero	31	27,3	13,06	4,4	14,67	0,97	14,23
Febrero	28	27,4	13,14	4,4	14,90	0,91	13,56
Marzo	31	27,9	13,50	4,4	16,14	1,03	16,62
Abril	30	28,9	14,24	4,4	18,85	1,04	19,60
Mayo	31	28,8	14,17	4,4	18,56	1,11	20,60
Junio	30	28,6	14,02	4,4	18,00	1,08	19,44
Julio	31	28,4	13,87	4,4	17,45	1,12	19,54
Agosto	31	28,1	13,65	4,4	16,66	1,08	17,99
Septiembre	30	27,9	13,5	4,4	16,14	1,02	16,46
Octubre	31	28,6	14,02	4,4	18,00	1,01	18,18
Noviembre	30	28,7	14,10	4,4	18,28	0,95	17,37
Diciembre	31	28,2	13,72	4,4	16,92	0,97	16,41
Suma	365		164,99		204,57		210

Los valores estimados de evapotranspiración real (ETR), permiten observar que ésta alcanza los valores máximos en el mes de octubre con 262,4 mm

(Tabla 7). Los meses de agosto a octubre son el período en el que la planta presenta una mayor actividad fotosintética.

Tabla 7. Cálculo de la evapotranspiración real del banano (gran enano) por el método de Blaney-Criddle modificado por Phelan. Soconusco, Chiapas.

Mes	T (°C)	$\frac{(T+17,8)}{21,8}$	P (%)	f (cm)	kt	f x kt	kc	ETR (cm)	ETR' (cm)	ETR (acumulado) (cm)
Enero	27,3	2,07	7,94	16,43	1,08	17,74	0,4	7,10	8,52	8,52
Febrero	27,4	2,07	7,37	15,28	1,09	16,66	0,4	6,66	8,00	16,52
Marzo	27,9	2,10	8,44	17,69	1,10	19,46	0,45	8,76	10,52	27,03
Abril	28,9	2,14	8,45	18,10	1,14	20,64	0,50	10,32	12,39	39,42
Mayo	28,8	2,14	8,98	19,20	1,14	21,88	0,60	13,13	15,76	55,19
Junio	28,6	2,13	8,80	18,73	1,13	21,17	0,70	14,82	17,79	72,98
Julio	28,4	2,12	9,03	19,14	1,12	21,43	0,85	18,22	21,87	94,85
Agosto	28,1	2,11	8,83	18,59	1,11	20,64	1,0	20,64	24,78	119,63
Septiembre	27,9	2,10	8,27	17,34	1,11	19,24	1,10	21,17	25,42	145,04
Octubre	28,6	2,13	8,26	17,58	1,13	19,87	1,10	21,85	26,24	171,28
Noviembre	28,7	2,13	7,75	16,53	1,13	18,68	0,90	16,81	20,19	191,46
Diciembre	28,2	2,11	7,88	16,63	1,12	18,62	0,80	14,90	17,89	209,35
Suma				211,23				174,37	209,35	

El máximo requerimiento de riego se presenta en el mes de noviembre con un valor de 5,87 mm día⁻¹ y el mínimo se presenta en el mes de mayo con un valor de 2,03 mm día⁻¹. Bajo las condiciones analizadas, el cultivo del banano requiere de riego en todos los meses del año (Tabla 8). Por lo tanto, en una plantación con una densidad de siembra de 1.800 plantas ha⁻¹, los requerimientos hídricos mensuales son alrededor de 1.350 m³ ha⁻¹. En El Salvador se estima que un nivel de precipitación de 150 a 180 mm por mes es

suficiente para cubrir los requerimientos de agua de la planta, sin embargo, se considera conveniente proveer mediante riego esta lámina de agua en la época seca (Rodríguez & Guerrero, 2002). En Nicaragua la falta de riego en la mayoría de las unidades de producción provoca dos estaciones bien marcadas en la producción de banano (IICA & JICA, 2004). En Honduras se encontró que el racimo de banano (variedad gran enano) aumentaba de peso cuando se empleaban láminas de riego por arriba de los 66 mm semanales (Arscott

et al., 1965) y en Venezuela se estimó que con 8,5 mm día⁻¹ se tienen rendimientos aceptables (Wagner & Haddad, 1985). En la Florida (USA), se estimó que

el cultivo del banano requiere de 102 a 105 mm de agua por mes para su desarrollo normal y producción de frutos (Crane & Balardi, 1998).

Tabla 8. Cálculo del requerimiento de riego mensual del banano (gran enano). Región del Soconusco, Chiapas.

Mes	ETR* (cm)	ETR (acumulado) (cm)	Precipitación pluvial (mm)	Precipitación pluvial efectiva (mm) ¹	Requerimiento de riego mensual (mm)	Requerimiento de riego acumulado (mm)
Enero	8,52	8,52	0,0	0,00	85,20	85,2
Febrero	8,00	16,52	2,7	2,565	77,43	162,63
Marzo	10,52	27,03	11,28	10,716	94,44	257,06
Abril	12,39	39,42	33,94	31,790	92,09	349,16
Mayo	15,76	55,19	126,7	94,68	62,96	412,12
Junio	17,79	72,98	179,82	101,99	75,89	488,01
Julio	21,87	94,85	206,1	103,3	115,44	603,45
Agosto	24,78	119,63	172,4	101,62	146,15	749,60
Septiembre	25,42	145,04	253,2	105,66	148,49	898,09
Octubre	26,24	171,28	124,9	93,71	168,67	1.066,76
Noviembre	20,19	191,46	27,93	25,55	*176,30	1.243,06
Diciembre	17,89	209,35	3,2	3,040	175,83	1.418,90
<i>Suma</i>	<i>209,35</i>				<i>1.418,90</i>	

Diversos estudios demuestran que la falta de agua en el periodo de floración limita el desarrollo de las hojas y el número de frutos, del mismo modo en el periodo de formación del racimo, afecta el tamaño de los frutos y su calidad comercial se reduce (Doorenbos & Kassam, 1980). Eso permite ver la importancia del riego en el banano y, por lo tanto, asegurar que el agua aplicada llegue al suelo y a las plantas. De aquí la importancia de someter a una constante evaluación hidráulica a los diferentes métodos de riego.

En relación con la evaluación hidráulica del riego por aspersión sobre el dosel, puede verse que la uniformidad de aplicación de la lámina de riego se reduce en un 66,8% en presencia del cultivo. Los CU

obtenidos en presencia de cultivo fueron de 41,73% y el CUc resultó ser de 71,36 en ausencia de cultivo (Tabla 9). En riego por aspersión para otros cultivos, como el algodón, se encontraron valores de uniformidad de distribución que van de 70% a 73% y de CUc que van de 70,12% a 90,06% (Buendía *et al.*, 2004; Dieter *et al.*, 2014). El valor de CUc establecido como mínimo para cultivos comerciales de alta rentabilidad debe ser mayor a 80% (ASCE, 1978; Christiansen 1942; Puppo & Currie, 2001; Tarjuelo, 1999; Tarjuelo *et al.*, 1999). La pérdida de agua es considerable tanto en presencia como en ausencia de cultivo, esto genera una baja eficiencia de aplicación en la lámina de riego, esta última resultó mayor en presencia de cultivo.

Tabla 9. Evaluación hidráulica del riego por aspersión sobre el dosel

Parámetro (%)	Con cultivo	Sin cultivo
CUc	47,73	71,36
U _d	26,11	50,81
Pa	40,02	43,48
Ea	59,97	56,51

Los resultados de las pruebas para el riego por aspersión subfoliar muestran que, a medida que se aumenta la separación entre líneas regantes y entre aspersores, la uniformidad de aplicación se reduce en forma sensible (Tabla 10). En ninguna de las tres separaciones entre regantes y aspersores analizadas, tanto en presencia como en ausencia del cultivo, se cumple con los valores límites establecidos para una evaluación.

En una plantación de banano en Ecuador se encontraron valores de CUc y UD mayores a 95%

y 93%, respectivamente, aunque en esa investigación se señala que ello no garantiza que la lámina aplicada esté humedeciendo adecuadamente la profundidad requerida por el cultivo y, por tanto, esté bien regada (Caicedo *et al.*, 2015). En Cuba se determinaron CUc de 71% para un determinado tipo de aspersor con separaciones que van de 6,75 m entre laterales y 7 m entre aspersores en una disposición triangular (Rodríguez *et al.*, 2007). En una plantación en Colombia se determinaron valores de CUc que van desde 35% a 70 % (Guzmán, 2010).

Tabla 10. Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar

Parámetro (%)	Con cultivo		Sin cultivo Sa= 11,25 m Sr= 11,25 m
	Prueba 1 Sa= 11,25 m Sr= 11,00 m	Prueba 2 Sa= 12,5 m Sr= 11,25 m	
CUc	67,35	54,45	60,1
U _d	54,43	44,66	44,72
Pa	45,57	58,14	60,91
Ea	54,42	41,85	39,08

En evaluaciones de sistemas de riego en palma aceitera utilizando aspersores giratorios, se encontraron eficiencias muy bajas, con coeficientes de uniformidad entre 55% y 65%, uniformidad de distribución entre 40% y 50% y eficiencia de aplicación entre 30% y 40% (González, 2000), valores similares se encontraron para el mismo cultivo en Argentina (Barrios *et al.*, 2003).

Al comparar los resultados para las dos modalidades de riego por aspersión, se observa que la unifor-

midad de aplicación mediante el riego por aspersión subfoliar es mucho mayor que en el riego por aspersión sobre el follaje, en presencia del cultivo. Por lo que, si se desea emplear el sistema de riego por aspersión para el cultivo del banano, a pesar de los resultados obtenidos, este debe ser el de aspersión subfoliar. Es recomendable reducir la separación entre aspersores y líneas regantes, aunque esto impactaría en los costos de inversión.

Por otro lado, los resultados permiten inferir que es necesario tener presente que la uniformidad

de aplicación en lotes comerciales (no en lotes experimentales) depende de cómo se diseñó e instaló el sistema de riego, de las condiciones bajo las cuales opera y del manejo (lavado de equipos y eliminación de la obstrucción de las boquillas de los aspersores) que se le dé al sistema.

Conclusiones

En general, las condiciones edáficas cumplen con los requerimientos del cultivo del banano, se requiere poner adecuada atención a las de los lotes 2 y 4 que presentan suelos arcillosos.

La calidad del agua de riego, clasificada como C1S1 y con niveles de sodio (RAS) permisibles,

cumple con los valores óptimos recomendados para su uso en el riego del cultivo del banano.

En la zona estudiada, el banano (variedad gran enano) presenta altas tasas de evapotranspiración mensual, del orden de los 26 cm y requiere de riego durante los doce meses del año. El requerimiento de riego promedio anual es de 1.418,9 mm anuales.

La evaluación hidráulica demostró la baja eficiencia de aplicación de los sistemas de riego por aspersión evaluados. De una lámina de riego de 100 mm, sólo en el mejor de los casos, 54 mm llegan al suelo, ello para la menor separación entre aspersores y regantes, en presencia de cultivo. Así se concluye que, en caso de optar por el riego por aspersión para el banano, el de aspersión subfoliar es el que mejores resultados presenta.

Referencias

- Aceves-Navarro E. (2011). *El ensalitramiento de los suelos bajo riego*. Colegio de Postgraduados. México: Mundi Prensa.
- Aguilera, M., & Martínez, R. (1986). *Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera* (3ra. ed.). Chapingo, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Aidarov, P., Golovánov, I., & Mamáev, M. (1985). *El riego*. Moscú: Ed. Mir.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO.
- Álvarez, F. (1981). *Cultivo de la platanera*. Madrid, España: MAE
- Araújo, J. J. D., Mendonca, V., Pereira, M. F. S., & Souza, M. D. F. (2018). Agronomic characteristics of the pacovan organic banana in irrigation systems in the Açurim valley. *Revista Caatinga*, 31(2), 370-378. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n213rc>
- Arscott, G., Bhangoo, S., & Karon, L. (1965). Irrigation investigation of the Giant Cavendish banana. I. Consumption of water applied to banana plantings in the upper, Aguan Valley, Honduras as influenced by temperature and humidity. *Tropical Agriculture*, 42, 139-144.
- ASCE - American Society of Civil Engineers. (1978). Describing irrigation efficiency and uniformity. On-farm Irrigation Committee of the Irrigation and Drainage Division of the ASCE. *Proceedings of the ASCE*, 104, IR1, 35-41.
- Ayers, R.S., & Wescot, D.W. (1987). *La calidad del agua en la agricultura*. Cuadernos de Riego y Drenaje No. 29. Roma: FAO.
- Barrera León, J., Barrezueta Unda, S., & García Batista, R. M. (2020). Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(1), 182-190.
- Barrios, R., Arteaga, A., Florentino, A., & Amaya, G. (2003). Evaluación de sistemas de subirrigación y de aspersión en suelos cultivados con palma aceitera. *UDO Agrícola*, 3(1), 39-46
- Bassoi, L. H., Teixeira, A. H. D. C., Lima Filho, J. M. P., Silva, E. E. G. D., Ramos, C. M. C., & Sedyama, G. C. (2004). Guidelines for irrigation scheduling of banana crop in São Francisco Valley, Brazil. II-Water consumption, crop coefficient, and physiological behavior. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(3), 464-467. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000300022>
- Buendía, J., Palacios, E., Chávez, J., & Rojas, B. (2004). Impacto del funcionamiento de los sis-

- temas de riego presurizados en la productividad de ocho cultivos, en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 38, 477-486
- Caicedo Camposano, O., Balmaseda Espinosa, C., & Proaño Saraguro, J. (2015). Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar en banano (*Musa paradisiaca*) en la finca San José 2, provincia de Los Ríos, Ecuador. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1), 38-43.
- Chapman, H. D., Pratt, P. F., Vanselow, A. P., Bradford, G. R., Whiting, L. D., & Contin, A. (1973). *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. México: Trillas.
- Christiansen, J. (1942). Hydraulics of sprinkling systems of irrigation. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 107, 221-239.
- Cigales, M., & Pérez, O. (2011). Variabilidad de suelos y requerimiento hídrico del cultivo de banano en una localidad del Pacífico de México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 15(3), 21-31.
- Crane, J. H., & Balerdi, C. F. (1998). *Los plátanos en Florida*. Gainesville: University of Florida.
- Da Silva, A. J. P., Coelho, E. F., Miranda, J. H. D., & Workman, S. R. (2009). Estimating water application efficiency for drip irrigation emitter patterns on banana. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(7), 730-737. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000700013>
- Del Valle, H. (1992). *Prácticas de relaciones agua-suelo-planta-atmósfera*. Chapingo, Texcoco, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Dieter, J., Sampaio, S. C., Vogel, G., Boas, M. A. V., Frigo, E. P., & Junior, A. M. (2014). Performance of lateral move type sprinkler irrigation system. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 12(3&4), 325-328. <https://doi.org/10.1234/4.2014.5406>
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1980). *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos* (No. 631.587 338.16). Roma: FAO.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. (1980). *Las necesidades de agua de los cultivos*. Roma: FAO.
- ECOSUR - El Colegio de la Frontera Sur (1999). *Agricultura integrada, ganadería y desarrollo rural de la región del Soconusco, Chiapas, México*. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. México: ECOSUR.
- Eid T., & Maklad, T. (2019). The effects of irrigation water amounts and spraying some amino acids on vegetative growth, fruit and yield of banana plants and water use efficiency under drip irrigation system in clay loam soils. 2(4), 1-32. <https://doi.org/10.21608/asajs.2019.52885>
- Garrido-Ramírez, E. R., Hernández-Gómez, E., & Noriega-Cantú, D. H. 2011. *Manual de producción de banano para la región del Soconusco. Estrategias para el manejo de la sigatoka negra*. Folleto para productores N° 10. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas.
- González, D. (2000). *Evaluación de tres sistemas de riego por aspersión en palma aceitera en las agropecuarias "El Zamuro" y "El Águila", estado Monagas*. Universidad de Oriente. Maturín, Monagas.
- Guzmán Gutiérrez, S. M. (2010). *Evaluación de la productividad del agua en el cultivo de banano (Musa Spp) para la región del Magdalena por medio de la variación de tres coeficientes de cultivo (kc)*. Universidad Nacional de Colombia.
- IICA & JICA, (2004). *Banano, cadena agroindustrial*. Nicaragua.
- Liu, H. J., Cohen, S., Tanny, J., Lemcoff, J. H., & Huang, G. (2008). Estimation of banana (*Musa sp.*) plant transpiration using a standard 20 cm pan in a greenhouse. *Irrigation and drainage systems*, 22(3-4), 311-323. <https://doi.org/10.1007/s10795-008-9058-2>
- Mansour, H. A., Abd El-Hady, M., Eldardiry, E. I., & Aziz, A. M. (2019). Wheat crop yield and water use as influenced by sprinkler irrigation uniformity. *Plant Archives*, 19(2), 2296-2303.
- Martínez, R. (1991). *Riego localizado: diseño y evaluación* (1ra. ed.). Chapingo, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Mohamed, A. Z., Peters, R. T., Zhu, X., & Sarwar, A. (2019). Adjusting irrigation uniformity

- coefficients for unimportant variability on a small scale. *Agricultural Water Management*, 213, 1078-1083. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.017>
- Palacios, O., & Aceves, E. (1970). *Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola*. Chapingo: Colegio de Postgraduados-Escuela Nacional de Agricultura.
- Pulido, R., & Del Valle, H. (1985). *Instructivo para el análisis de suelos y aguas para riego*. México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Puppo, F., & Currie, H. (2001). Evaluación a través de coeficiente de variación de la lámina de aplicación del riego por aspersión en equipo de avance frontal. Obtenido de: <http://www.unne.edu.ar/cyt/2001/5-Agrarias/A-002.pdf>
- Rodríguez, M., & Guerrero, M. (2002). *Guía técnica del banano*. San Salvador, El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.
- Rodríguez, M., Rey, R., Torralba, V., Puig, O., Acevedo, R. (2007). Riego por aspersión de baja intensidad en el cultivo del banano con el empleo del miniaspersor Mamkad 2255 “pruebas de campo”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(2), 73-77.
- Salazar-Morera, R. (2019). *Diseño de un sistema de riego por aspersión aplicado al modelo productivo de Agrícola Industrial Sukia SA*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Sattler, R., & Marcelino, L. (1983). *Manual técnico de producción de plátano*. Panamá.
- Shah, I., Suryanarayana T., & Parekh F. (2017). Determination of crop water requirement and irrigation scheduling for banana. *International Journal for Scientific Research & Development*, 4(11), 327-330.
- Simmonds, N. W. (1973). *Los plátanos*. Barcelona, España: Blume.
- Soto, M. (1991). *Bananos: cultivo y comercialización* (3ra. ed.). San José, Costa Rica: Ed. LILSA.
- Tamagi, J. T., Uribe-Opazo, M. A., Vilas Boas, M. A., Johann, J. A., & Guedes, L. P. (2018). Spatial variability of the water depth applied by fixed sprinkler irrigation systems. *Engenharia Agrícola*, 38(2), 188-196. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n2p188-196/2018>
- Tarjuelo, M. (1999). *El riego por aspersión y su tecnología*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Tarjuelo, M., Montero, J., Carrión, A., Honrubia, T., & Calvo, A. (1999). Irrigation uniformity with medium size sprinklers: influence of wind and other factors on water distribution. *Transactions of the ASAE*, 42, 677-689.
- Tijerina, L. (1999). Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. *Terra*, 17 (3), 237-245.
- Vargas-Contreras, G., & Rodríguez-Rodríguez, A. (2000). Influencia de las aguas de riego en los procesos de salinización y sodificación de suelos en cultivos de bananos y tomates (I. Canarias). *Edafología*, 7(3), 129-13.
- Wagner, M., & Haddad, O. (1985). Influencia de diferentes frecuencias de riego en el comportamiento de tres clones de musáceas. *Agricultura Tropical*, 35 (4-6), 91-103.
- Zhang, Y., Guo, J., Sun, B., Fang, H., Zhu, D., & Wang, H. (2019). Modeling and Dynamic-Simulating the Water Distribution of a Fixed Spray-Plate Sprinkler on a Lateral-Move Sprinkler Irrigation System. *Water*, 11(11), 2296. <https://doi.org/10.3390/w11112296>