



Effect of Deficit Sprinkler Irrigation on the
Biophysical Behavior of the Vegetative Stage of
Banana (*Musa Paradisiaca*) William Variety.

Marlon Fernando Monge Freile,
Wilver Humberto Santana Alvarado and
Ana Rut Álvarez Sánchez

EasyChair preprints are intended for rapid
dissemination of research results and are
integrated with the rest of EasyChair.

May 15, 2022

Efecto del riego deficitario por aspersión sobre el comportamiento biofísico de la etapa vegetativa del cultivo de banano (*Musa paradisiaca*) variedad William.

Effect of deficit sprinkler irrigation on the biophysical behavior of the vegetative stage of banana (*Musa paradisiaca*) William variety

¹ Marlon Fernando Monge Freile^{1*}, ² Wilver Humberto Santana Alvarado¹,
³ Ana Rut Álvarez Sánchez¹.

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito. Km 1 ½ vía a Santo Domingo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

* **Corresponding autor:** mmongef@uteq.edu.ec.

Marlon Fernando Monge Freile 1, <https://orcid.org/0000-0001-5397-910X>, E-mail: mmongef@uteq.edu.ec

Wilver Humberto Santana Alvarado 2, <https://orcid.org/0000-0002-6735-1257>, E-mail: wsantanaa@uteq.edu.ec

Ana Rut Álvarez Sánchez 3, <https://orcid.org/0000-0003-2780-8600>, E-mail: aalvarezs@uteq.edu.ec

Resumen

Se determina la respuesta productiva del cultivo de banano (*Musa paradisiaca*) de la variedad William. Se aplicó un diseño de bloques completamente al Azar (BCA) cuatro tratamientos en cuatro repeticiones, las parcelas tuvieron un área de 81 m² y una distancia por parcela de 6 metros considerándose como unidad experimental a 16 plantas. Para la comparación de medias entre tratamientos se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). La aplicación de fertilizante se realizó bajo un programa por ciclos en la fase vegetativa, se aplicó un fungicida para control de sigatoka negra. En todos los tratamientos se pudo apreciar una tendencia al incremento de altura en función de la edad del cultivo, entre los que se destaca T4: Lámina 100% de la ETc (evapotranspiración capilar) que mostró

plantas con mayor altura en todas las evaluaciones realizadas entre la semana 5 y 18, pasando de 35.92 cm en la primera evaluación a 206.92 cm en la última evaluación, reflejando un incremento en la altura de 476.10%. Por otra parte, en T1: 40 % de la ETc se presentaron plantas de menor altura desde la semana 9 hasta la 18, pasando de 69.42 a 175.25 cm.

Palabras Clave: Riego deficitario, eficiencia, emisión foliar, etapa vegetativa, banano

Abstract

The productive response of the banana crop (*Musa paradisiaca*) of the William variety is determined. A completely randomized block design (BCA) was applied with four treatments in four repetitions, the plots had an area of 81 m² and a distance of 6 meters per plot, considering 16 plants as the experimental unit. For the comparison of means between treatments, the Tukey test was obtained ($p \leq 0.05$). Fertilizer application was carried out under a cycle program in the vegetative phase. A fungicide was applied to control black sigatoka. In all treatments it was possible to appreciate a tendency to increase height depending on the age of the crop, among which T4 stands out: 100% sheet of ETc that showed plants with greater height in all the evaluations carried out between week 5 and 18, going from 35.92 cm in the first evaluation to 206.92 cm in the last evaluation, reflecting an increase in height of 476.10%. On the other hand, in T1: 40 % of the ETc, plants of lower height were presented from week 9 to 18, going from 69.42 to 175.25 cm.

Keywords: Deficit irrigation, efficiency, foliar emission, vegetative stage, banana.

I. INTRODUCCIÓN

El banano (*Musa paradisiaca*) Es una planta de gran valor alimenticio, económico y sociocultural, pertenece al género *Musa* de la familia de las musáceas, es ampliamente cultivada en las regiones tropicales del mundo además ocupa el cuarto lugar en los alimentos más importantes, después del arroz, el trigo y el maíz (1).

Hoy en día, la agricultura de regadío se desarrollará bajo condiciones de escasez de agua. El suministro insuficiente de agua para el riego será la norma y no la excepción, y la gestión del riego pasará de centrarse en la producción por unidad de superficie a maximizar la producción por unidad de agua consumida, la productividad del agua. Para hacer frente a la escasez de suministros, el riego deficitario, definido como la aplicación

de agua por debajo de los requisitos totales de agua del cultivo (evapotranspiración), es una herramienta importante para lograr el objetivo de reducir el uso de agua de riego. La eficiencia de aplicación de riego por aspersión es alta (70 a 85%), en efecto, se requiere por unidad de superficie menor cantidad de agua y es posible aplicarla de acuerdo a las necesidades de las plantas, esto es significativo cuando el agua es un factor limitante para una agricultura, además permite aplicar fertilizantes con el agua de riego, lo que se traduce en un ahorro de mano de obra (3).

Si bien el riego deficitario se practica ampliamente en millones de hectáreas por varias razones, desde el diseño inadecuado de la red hasta la expansión excesiva del riego en relación con los suministros de captación, no ha recibido suficiente atención en la investigación.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente es importante la evaluación del efecto de riego deficitario controlado como una alternativa de manejo del riego eficiente por aspersión, determinando el nivel de humedad óptimo del suelo sin perjuicio al comportamiento biofísico del cultivo de banano.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el campus La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, situada en el kilómetro 7 ½ de la vía Quevedo – El Empalme, recinto San Felipe, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, con coordenadas geográficas 01°08’37” de latitud Sur y 79°50’22” de longitud, una Altitud 73 msnm. El periodo experimental tiene una duración de 126 días.

En la tabla 1, se detallan las condiciones agroclimáticas donde se llevó a cabo la presente investigación.

Tabla 1. Condiciones agroclimáticas del sitio experimental

| | |
|------------------|------------------------------|
| Altitud | 73 msnm |
| Temperatura | 24.87 °C |
| Precipitación | 2223.85 mm año ⁻¹ |
| Humedad relativa | 85.48% |
| Heliofanía | 898.66 |
| Topografía | regular |

Fuente: INIAP (2019)

Elaboración: Autora.

Diseño experimental

Se realizó una investigación de tipo experimental, puesto que se manejaron diferentes tratamientos, para posteriormente evaluar su efecto en aspectos agronómicos del cultivo a través de la evaluación de las variables de respuesta, alineadas a los objetivos de la investigación.

Tratamientos evaluados

Se estudiaron cuatro tratamientos, de los cuales tres correspondieron a láminas de riego de riego deficitario controlado, y una al testigo representado por la lámina del riego al 100%:

Tabla 2. Descripción de los tratamientos estudiados

| Nº | Tratamientos | Lámina de agua |
|----|--------------|-----------------|
| 1 | T1 | 40 % de la ETc |
| 2 | T2 | 60 % de la ETc |
| 3 | T3 | 80 % de la ETc |
| 4 | T4 | 100 % de la ETc |

Diseño experimental y análisis estadístico

Se aplicó un diseño de bloques completamente al Azar (BCA) cuatro tratamientos en cuatro repeticiones, considerándose como unidad experimental a 16 plantas. Para la comparación de medias entre tratamientos se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Se utilizó el diseño bloques completamente al azar teniendo en consideración el factor topográfico, que es regular por una pendiente mínima. Las parcelas tuvieron un área de 81 m² y una distancia por parcela de 6 metros. Cada parcela tiene 16 unidades experimentales con una distancia de siembra de 3 m entre hilera y planta, con un total de 192 plantas en el ensayo. A esto se evaluó las variables de estudio a 4 unidades por parcela completamente al azar.

Tabla 3. Esquema del análisis de varianza utilizado en la investigación

| Fuentes de variación | Fórmula | Grados de libertad |
|----------------------|---------|--------------------|
| Tratamiento | t-1 | 3 |
| Bloques | r-1 | 3 |

| | | |
|-------|-------------|----|
| Error | (r-1) (t-1) | 9 |
| Total | tr-1 | 15 |

El modelo matemático del diseño experimental aplicado es:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Una observación del tratamiento i en el bloque j

μ = La media general del experimento

α_i = El efecto de los tratamientos

β_j = El efecto de los bloques

ϵ_{ij} = El efecto del error

Manejo del experimento

Preparación del área experimental

Para la implementación del ensayo, se procedió a delimitar el sitio experimental, siguiendo las características descritas en la Tabla 4:

Tabla 4. Descripción de las características del lote utilizado en el ensayo

| Características | Descripción |
|---------------------------------|---------------------|
| Tamaño del lote | 2016 m ² |
| Cantidad de plantas | 192 |
| Plantas por unidad experimental | 16 |
| Distancia entre líneas de riego | 6 m |
| Separación entre aspersores | 6 m |
| Unidades experimentales | 12 |
| Número de tratamientos | 4 |
| Número de repeticiones | 3 |
| Área del tratamiento | 81 2 |

Evapotranspiración potencial

Se determinó a través de los datos proporcionado por Departamento de meteorología de la EET Pichilingue del INIAP. Se realizó este cálculo diariamente. Se determinó este parámetro con la siguiente ecuación:

Evitar las palabras repetidas en un mismo párrafo.

$$ET_0 = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a - c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

Donde:

ET₀: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

R_n: Energía de radiación neta.

G: Flujo de calor en el suelo.

e_s - e_a: Déficit de presión de vapor

ρ_a: Densidad media del aire a presión constante.

C_p: Calor específico del aire

Δ: Pendiente de la curva de presión de la saturación de vapor

γ: Constante psicométrica.

r_s: Resistencia superficial total y aerodinámica.

r_a = Resistencia aerodinámica.

Evapotranspiración potencial

Se usó el método del tanque evaporímetro clase "A". Este método se ha utilizado extensamente en el área de riego, cuando no se tiene suficiente información climática, el más conocido es el tipo "A", es circular y tiene un diámetro de 121 cm, una profundidad de 25,5 cm y el nivel del agua que se debe mantener de 6 a 8 cm debajo del borde. La ET del cultivo de referencia se calcula con la siguiente ecuación:

$$ET_0 = K_p * E_p$$

Donde:

ET₀ = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

K_p = Coeficiente del tanque evaporímetro que depende de la humedad relativa mínima de la velocidad promedio de viento en 24 horas y del tipo de cobertura que se encuentra alrededor del tanque.

E_p = Evaporación medida en el tanque evaporímetro (mm/día).

III. RESULTADOS

Altura de planta

En la Figura 1, se presenta la evolución de la altura de plantas en el cultivo de banano variedad Williams en respuesta a la aplicación de riego deficitario por aspersión. En todos los tratamientos se pudo apreciar una tendencia al incremento de altura en función de la edad del cultivo, entre los que se destaca T4: Lámina 100% de la ETc que mostró plantas con mayor altura en todas las evaluaciones realizadas entre la semana 5 y 18, pasando de 35.92 cm en la primera evaluación a 206.92 cm en la última evaluación, reflejando un incremento en la altura de 476.10%. Por otra parte, en T1: 40 % de la ETc se presentaron plantas de menor altura desde la semana 9 hasta la 18, pasando de 69.42 a 175.25 cm.

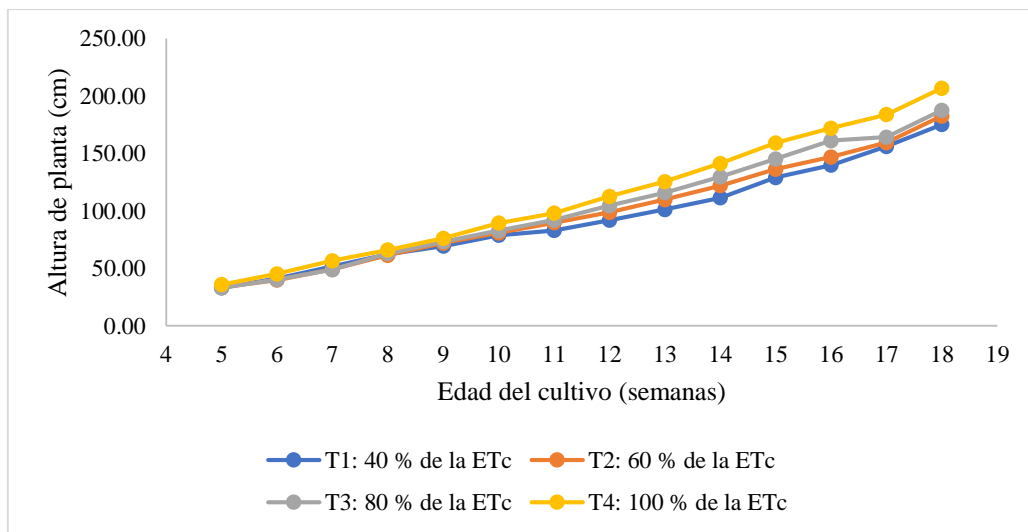


Figura 1. Incremento de la altura de plantas en el cultivo de banano variedad Williams a la aplicación de distintas láminas de riego deficitario

En la Tabla 5 se presentan los promedios de la altura de plantas de banano variedad Williams al final del ensayo, evidenciándose que los tratamientos no alcanzaron el nivel de significancia estadística, con un coeficiente de variación de 9.75 %. Las láminas de riego en estudio registraron promedios entre 175.25 y 206.92 cm, correspondiendo el mayor valor a T4: 100 % de la ETc, mientras que el menor promedio se presentó en T1: 40 % de la ETc.

Tabla 5. Altura de plantas en el cultivo de banano variedad Williams a la aplicación de riego deficitario por aspersión

| Tratamientos | Altura de planta (cm) |
|--------------------|-----------------------|
| T1: 40 % de la ETc | 175.25 A |
| T2: 60 % de la ETc | 182.58 A |
| T3: 80 % de la ETc | 187.58 A |

| | |
|--------------------------------------|----------|
| T4: 100 % de la ETc | 206.92 A |
| Promedio | 188.08 |
| Coefficiente de variación (%) | 9.75 |

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

Diámetro del fuste

La evolución del engrose del fuste se presenta en la Figura 2, evidenciándose que en T4: 100 % de la ETc, las plantas mostraron un mayor desarrollo del fuste, iniciando en una media de 12.46 cm en la semana 5 a 64.29 cm en la semana 18 de edad del cultivo. En T2: 60 % de la ETc se registró menor diámetro del fuste de la semana 5 a la semana 9, mientras que para las siguientes semanas de evaluación se pudo observar que en T1: 40 % de la ETc se presentó menor diámetro del fuste.

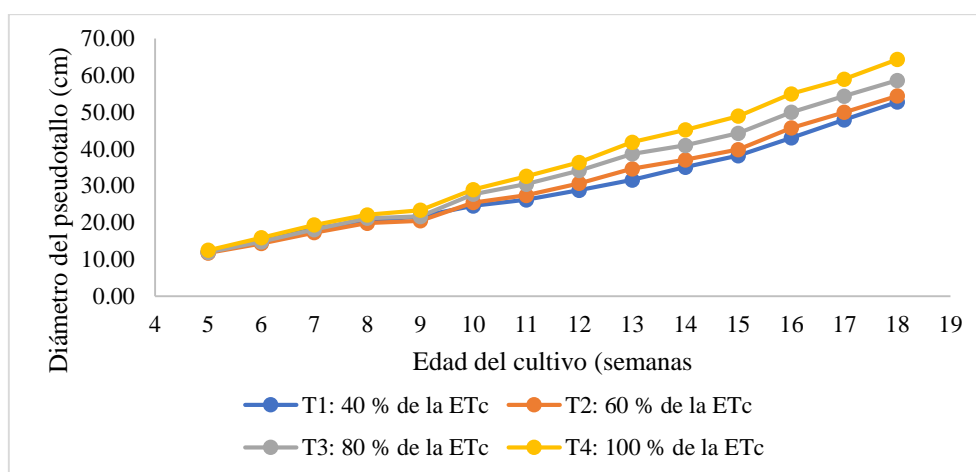


Figura 1. Incremento del diámetro del fuste en el cultivo de banano variedad Williams a la aplicación de distintas láminas de riego deficitario

Los promedios reflejados en la Tabla 6 corresponden al diámetro final del fuste en el cultivo de banano variedad Williams en respuesta a la aplicación de diferentes láminas de riego. El análisis de varianza determinó que los tratamientos no registraron significancia estadística, con un coeficiente de variación de 10.88%. Los tratamientos presentaron promedios entre 52.75 y 64.29 cm de diámetro del fuste, de manera que el mayor valor se presentó en T4: 100 % de la ETc, y el menor diámetro se presentó en T1: 40 % de la ETc.

Tabla 1. Diámetro del fuste en el cultivo de banano variedad Williams a la aplicación de riego deficitario por aspersión

| Tratamientos | Diámetro del fuste (cm) |
|--------------|-------------------------|
|--------------|-------------------------|

| | |
|--------------------------------------|---------|
| T1: 40 % de la ETc | 52.75 A |
| T2: 60 % de la ETc | 54.38 A |
| T3: 80 % de la ETc | 58.58 A |
| T4: 100 % de la ETc | 64.29 A |
| Promedio | 57.50 |
| Coefficiente de variación (%) | 10.88 |

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey

($p \leq 0.05$)

Total, de hojas por planta

En la Tabla 7 se presentan los promedios del total de hojas por planta, cuyo análisis de varianza reflejó que los tratamientos en estudio alcanzaron significancia estadística en el nivel 0.05. En T4: 100 % de la ETc se registró mayor número de hojas por planta, con 26.33 hojas, en igualdad estadística con T3: 80 % de la ETc y T2: 60 % de la ETc que presentaron valores de 25.73 y 25.55 hojas por planta, respectivamente. El tratamiento de mayor promedio superó significativamente a T1: 40 % de la ETc que registró 24.63 hojas por planta.

Tabla 2. Total, de hojas por planta en el cultivo de banano variedad Williams a la aplicación de riego deficitario por aspersión

| Tratamientos | Total, de hojas por planta |
|--------------------------------------|----------------------------|
| T1: 40 % de la ETc | 24.63 B |
| T2: 60 % de la ETc | 25.55 Ab |
| T3: 80 % de la ETc | 25.73 Ab |
| T4: 100 % de la ETc | 26.33 A |
| Promedio | 25.56 |
| Coefficiente de variación (%) | 2.10 |

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey

($p \leq 0.05$)

Emisión foliar

Los promedios presentados en la Tabla 8 corresponden a la emisión foliar al final del ensayo en el cultivo de banano variedad Williams en respuesta a los tratamientos estudiados. Los tratamientos no alcanzaron el nivel de significancia estadística, con promedios entre 1.18 y 1.43 de emisión foliar por semana. El mayor promedio se registró en T1: 40 % de la ETc, mientras que el menor promedio para esta variable se obtuvo en T2: 60 % de la ETc.



Tabla 8. Emisión foliar en el cultivo de banano variedad Williams a la aplicación de riego deficitario por aspersión

| Tratamientos | Emisión foliar |
|--------------------------------------|-----------------------|
| T1: 40 % de la ETc | 1.43 a |
| T2: 60 % de la ETc | 1.18 a |
| T3: 80 % de la ETc | 1.22 a |
| T4: 100 % de la ETc | 1.33 a |
| Promedio | 1.29 |
| Coefficiente de variación (%) | 16.57 |

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

Peso radicular (g)

En la Tabla 9 se presentan los promedios del peso radicular de las plantas de banano bajo la aplicación de distintas dosis de riego deficitario. De acuerdo al análisis de varianza, los tratamientos alcanzaron alta significancia estadística, con un coeficiente de 7.93%. En T4: 100 % de la ETc se registró mayor peso radicular, con 996.33 g, superando estadísticamente a los demás tratamientos que presentaron valores entre 590.00 y 722.56 g. El menor promedio se presentó en T3: 80 % de la ETc.

Tabla 3. Peso radicular en el cultivo de banano variedad Williams a la aplicación de riego deficitario por aspersión

| Tratamientos | Peso radicular (g) |
|--------------------------------------|---------------------------|
| T1: 40 % de la ETc | 722.56 b |
| T2: 60 % de la ETc | 613.33 b |
| T3: 80 % de la ETc | 590.00 b |
| T4: 100 % de la ETc | 996.33 a |
| Promedio | 730.56 |
| Coefficiente de variación (%) | 7.93 |

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

Eficiencia del uso del agua sobre el desarrollo vegetativo del cultivo en las diferentes láminas de riego deficitario

Los resultados del registro de la cantidad de agua suministrada y absorbida por el cultivo bajo cada tratamiento se presentan en la Tabla 10. El mayor volumen total de agua aplicada al cultivo se presentó en la T4: 100 % de la ETc, ascendiendo a 1158.77 m³ ha⁻¹, de los cuales 1139.46 m³ ha⁻¹ corresponden al agua aplicada con el riego en un tiempo de 575 minutos, y los 19.31 m³ ha⁻¹ restantes corresponden a la precipitación acumulada registrada. Los valores más bajos se registraron en T1: 40 % de la ETc, con 510.76 m³ ha⁻¹ de volumen total aplicado. En este último tratamiento, mediante la aplicación de riego se aportó 491.45 m³ ha⁻¹, lo que fue el resultado del funcionamiento de 248 minutos del sistema de riego utilizado en el ensayo.

Tabla 10. Cantidad de agua consumida para regar el cultivo de banano variedad Williams bajo la aplicación de riego deficitario por aspersión

| Tratamientos | Tiempo (min) | Lámina aplicada (mm ha ⁻¹) | Volumen consumido (m ³) | Volumen por hectárea (m ³ ha ⁻¹) | Volumen total aplicado (m ³ ha ⁻¹) |
|---------------------|--------------|--|-------------------------------------|---|---|
| T1: 40 % de la ETc | 248 | 49.15 | 11.94 | 491.45 | 510.76 |
| T2: 60 % de la ETc | 357 | 70.75 | 17.19 | 707.46 | 726.77 |
| T3: 80 % de la ETc | 466 | 92.35 | 22.44 | 923.46 | 942.77 |
| T4: 100 % de la ETc | 575 | 113.95 | 27.69 | 1139.46 | 1158.77 |

Volumen total aplicado= Volumen por hectárea + Precipitación; Precipitación= 19.31 m³ ha⁻¹

Los valores de coeficiente de eficiencia del uso del agua en función del comportamiento biofísico de las distintas láminas de riego se presentan en la Tabla 11. El análisis de varianza determinó que los coeficientes alcanzados respecto por los tratamientos, para la eficiencia en función de la altura y número de hojas por planta al final del ensayo registraron 99% de significancia, mientras que para la eficiencia en función del diámetro del fuste y peso radicular alcanzaron el 95% de significancia. Los coeficientes de variación fueron de 13.64, 11.62, 8.66 y 28.71 % para la eficiencia del uso del agua en función del diámetro del fuste, altura de planta, número de hojas por planta y peso radicular, respectivamente.

En lo correspondiente al coeficiente de eficiencia del uso del agua en función de diámetro del fuste, altura de planta y número de hojas por planta, se registró mayor promedio en

T1: 40 % de la ETc, con promedios de 0.10, 0.34 y 0.05, respectivamente. Este tratamiento mostró diferencias significativas por encima de los demás tratamientos que registraron valores que oscilaron entre 0.06 y 0.07 para la eficiencia en función del diámetro del fuste, de 0.18 a 0.25 en función de la altura al final del ensayo, mientras que los valores fluctuaron entre 0.02 y 0.03 en función del total de hojas por planta.

Para el coeficiente del peso radicular, los tratamientos presentaron valores entre 0.64 y 1.41, correspondiendo el mayor promedio a T1: 40 % de la ETc y el menor promedio a T4: 100 % de la ETc. En todas las evaluaciones de coeficiente de eficiencia, se registraron los promedios más bajos en T4: 100 % de la ETc.

Tabla 4. Coeficiente de eficiencia de las láminas de riego en función del comportamiento biofísico del cultivo de banano variedad Williams bajo riego deficitario por aspersión

| Tratamientos | Coeficiente de eficiencia | | | |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------|-----------------|----------------|
| | Diámetro del fusto | Altura de planta | Número de hojas | Peso radicular |
| T1: 40 % de la ETc | 0.10 a | 0.34 a | 0.05 a | 1.41 a |
| T2: 60 % de la ETc | 0.07 b | 0.25 b | 0.03 b | 1.04 a |
| T3: 80 % de la ETc | 0.06 b | 0.20 b | 0.03 b | 0.74 a |
| T4: 100 % de la ETc | 0.06 b | 0.18 b | 0.02 c | 0.64 a |
| Promedio | 0.07 | 0.24 | 0.03 | 0.96 |
| Coeficiente de variación (%) | 13.64 | 11.62 | 8.66 | 28.71 |

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

Costo del agua utilizada en las láminas de riego deficitario

En la Tabla 12 se presentan los costos de cada lámina de riego en estudio aplicada al cultivo de banano variedad Williams. El aplicarse riego al cultivo, bajo T4: 100 % de la ETc se presentó el mayor costo incurrido por el volumen de agua, con \$ 5.58 por hectárea, a consecuencia de un mayor volumen de agua aplicado al cultivo. Los demás tratamientos presentaron costos que fluctuaron entre \$ 2.41 y \$ 4.52, reflejando una disminución del costo por concepto del volumen de agua que osciló entre 18.96 y 56.87%.

Tabla 5. Costos de las láminas de riego deficitario

| Tratamientos | Volumen por hectárea (m ³ ha ⁻¹) | Costo (\$) | Disminución de costo (%) |
|---------------------|--|---------------|-----------------------------|
| T1: 40 % de la ETc | 491.45 | 2.41 | 56.87 |
| T2: 60 % de la ETc | 707.46 | 3.47 | 37.91 |
| T3: 80 % de la ETc | 923.46 | 4.52 | 18.96 |
| T4: 100 % de la ETc | 1139.46 | 5.58 | – |

IV. DISCUSIÓN

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 puede llegar a ser deficiente o sobredimensionado (12). El aprovechamiento del agua en los sistemas de producción agrícola es un tema que cada vez llama más la atención a las personas vinculadas de forma directa o indirecta a esta actividad, principalmente en el cultivo de banano, ya que es uno de los cultivos que mayor cantidad de agua demandan (43). Es por ello, que se ha tratado de racionalizar el uso del agua con miras a garantizar la sostenibilidad de los sistemas productivos, por lo que la aplicación de riego deficitario controlado es una opción que ha mostrado viabilidad en ciertas regiones del mundo (44).

Los resultados del presente estudio aportan información sobre el estrés hídrico controlado en el cultivo de banano variedad Williams a través de la aplicación de riego por aspersión en diferentes láminas teniendo como referencia la ETc. En lo correspondiente a los indicadores biofísicos, la reducción del recurso hídrico al cultivo ocasionó reducción en las dimensiones de las plantas, así como en su desarrollo radicular, lo que puede estar relacionado con la exigencia del cultivo de banano, ya que según Herrera (44), el cultivo de banano es uno de los más exigentes en agua, por lo que necesita que la reposición del agua evapotranspirada sea adecuada (3), de manera que no se comprometa el crecimiento y desarrollo del cultivo, ya que se podría estar comprometiendo a futuro la producción (6).

Los resultados obtenidos para los parámetros biofísicos, concuerdan con los reportados por Santistevan (11) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), quien al evaluar láminas de riego de 40, 60, 80, 100 y 120 % de la ET_c, pudo apreciar que la altura siguió una tendencia directamente proporcional a la lámina de riego aplicada, pasando de 81.93, 160.40 y 238.48 en lámina al 40% de la ET_c, a valores de 93.48, 169.95 y 245.55 cm al aplicarse la lámina de riego al 100% de la ET_c, evidenciándose una repuesta similar en cuanto a los indicadores de rendimiento como peso de la mazorca, relación grano-tusa, peso de 100 semillas, y correspondientemente la producción por hectárea. Esto podría estar relacionado con una mayor captación del agua en láminas superiores, que permiten un mayor aprovechamiento por parte de las plantas para sus procesos metabólicos, lo que se ve reflejado en un mayor desarrollo y producción. Sin embargo, de acuerdo a Rocha (45), se debe tener en cuenta en la aplicación idónea en función del agua evapotranspirada, puesto que riegos desmedidos ocasionaría encharcamientos que podrían constituir fuente de diseminación de enfermedades fúngicas, y transporte de nemátodos (44).

Es ampliamente reconocido que la producción agrícola requiere del conocimiento de las condiciones edáficas (43) y de las necesidades hídricas del cultivo en cuestión (46). Es ampliamente reconocido que, en gran parte de las plantaciones bananeras en Ecuador, se tienen recomendaciones generales en cuanto al riego (32), pero existen pocos trabajos específicos en los que se aborden condiciones particulares tanto del cultivar, así como del agroecosistema de interés (10). De esto se deduce la importancia del reconocimiento del efecto del riego deficitario controlado como una estrategia de conservación y aprovechamiento eficiente del agua, sin poner en riesgos los niveles de producción.

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 (12). En la presente investigación se pudo apreciar que la eficiencia biofísica fue mayor en función del incremento de la dosis de riego aplicada en el cultivo, sin embargo, la evaluación productiva complementaria de parámetros productivos, de manera que se fundamenta la importancia de la lámina de riego que ha reflejado mejor respuesta en el presente estudio. Esto concuerda con León-Mejía et al. (38), quienes indican que la evaluación de la

eficiencia tanto biofísica como productiva es necesaria para una correcta identificación de los beneficios de las láminas de riego en estudio, detallando además en su estudio sobre el efecto de láminas de riego (40,60, 80, 100 y 120% de la ETc) en el cultivo de pimiento, registraron una eficiencia de 37.69 kg m⁻³, con la lámina del 40% de la ETc, sin embargo, al comparar con los demás láminas el coeficiente de eficiencia fue mayor con el 100% de la ETc, siendo el riego bajo esa dosis, un 19.33% más eficiente que la lámina más baja.

En el presente estudio se obtuvieron resultados que concuerdan con los de Santistevan (11), quien con una lámina del 120% de la ETc del cultivo de maíz logró registrar una eficiencia de 16.60% en la producción en comparación de la lámina del 40% de la ETc. Por su parte, Cuadra & García (41), en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) lograron determinar coeficientes de eficiencia biofísica que se incrementaron en función de la dosis de riego que pasó de 1.5 a 2.5 L planta⁻¹, con valores que ascendieron a 21.20 y 8.93 % para la altura de planta y diámetro del tallo, mientras que, para la producción de flores y frutos, estos valores fueron de 37.46 y 40.61 %, respectivamente.

Con la determinación de los costos de las láminas de riego, considerando únicamente la valoración económica del volumen de agua utilizado, reflejó que el aumento de un 150.00% del volumen de agua al regar al 100% de la ETc respecto a la lámina del 40% de la ETc, se incurrió en un mayor costo, pero al tener plantas que presentaron mayores valores de indicadores biofísicos, si se obtuviera un mayor rendimiento, se justificaría el aumento del costo de producción al tenerse mayor rendimiento. Los resultados obtenidos concuerdan con los evidenciados por Valdivieso (13), en el cultivo de maíz bajo un sistema de riego por goteo, que al evaluar láminas de riego, pudo apreciar que al incrementar la dosis de riego de una lámina del 75% de la ETc hasta el 100% de la ETc, el costo de producción se incrementó apenas en un 0.33%, pero el rendimiento se potenció en un 5%, reflejando una relación B/C de 1.14 lo que tradujo en una utilidad de \$0.14 por cada dólar invertido bajo este tratamiento.

Finalmente, se puede puntualizar que en el presente estudio se manifiestan resultados que muestran que el cultivo de banano variedad Williams, no fue afectado significativamente en esta etapa de estudio por las láminas de riego, por lo que se podría racionalizar la aplicación de riego en esta etapa. Pero es importante que se conduzca investigaciones que

expongan su efecto a partir de emergencia de la bellota, puesto que desde ese instante hasta la cosecha podría existir un efecto significativo que posiblemente comprometería la producción del cultivo (3).

Martínez (7), en su estudio sobre el efecto del riego deficitario controlado en la productividad del banano, pudo emitir algunos criterios en cuanto a la aplicabilidad del riego deficitario controlado en el cultivo de banano. Este autor pudo apreciar que, de acuerdo a su análisis de los componentes del rendimiento y el porcentaje de afectación de la productividad por tratamientos, reflejó que en sentido general todas las variantes que fueron afectadas por el déficit hídrico en algunas fases de su ciclo de vida, con una merma de su productividad con relación al testigo, lo cual indica la sensibilidad del cultivo al déficit de agua. Además, sus resultados indican que también la última fase a partir del 90% floración hasta el final de la cosecha, resultan altamente sensibles al riego deficitario, por lo que no es aconsejable afectar el riego en esta etapa.

V. CONCLUSIONES

La aplicación de las diferentes láminas de riego deficitario controlado no mostró efectos significativos en la altura de planta, diámetro del fuste, total de hojas de por planta y emisión foliar, teniéndose valores más altos en T4: 100 % de la ETc, siendo este tratamiento el que generó más peso radicular.

Las plantas tratadas con T1: 40 % de la ETc, mostraron mayor eficiencia del uso del agua en función de los parámetros biofísicos evaluados, sin embargo, presentó valores más bajos en todas las variables biofísicas, lo que podría conducir a menores niveles de rendimiento.

En T4: 100 % de la ETc se presentó mayor costo del agua utilizada a consecuencia de la aplicación de mayor volumen de agua aplicada al cultivo de banano variedad Williams.

VI. AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a la UNIVERSIDAD TECNICA ESTATAL DE QUEVEDO por darnos la facilidad de realizar este proyecto en sus predios, y concedernos los materiales y prestarnos los laboratorios para realizar las pruebas químicas.

VII. CONFLICTO DE INTERESES

NINGUNO.

VIII. REFERENCIAS

1. Mariscal A. Problemas de la comercialización de banano (*Musa paradisiaca*) en el Ecuador. Universidad Técnica de Babahoyo. Babahoyo-Ecuador. 2020; 33 p.
2. Pineda J. Evaluación de diferentes métodos de aplicación de fungicidas y extractos botánicos para el control de pudrición de corona de banano. Universidad Técnica de Machala. Machala-Ecuador. 2021; 52 p.
3. Caicedo O, Balmaseda C, Proaño J. Programación del riego del banano (*Musa paradisiaca*) en finca San José 2, Los Ríos, Ecuador. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2015; 24(2): 1-8.
4. Correa K. Evaluación de la evapotranspiración del cultivo de banano utilizando la ecuación de la FAO Penman-Monteith. Universidad de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador. 2015; 52 p.
5. Torres-Jaramillo J. Sistemas de siembra utilizado en el cultivo de banano (*Musa paradisiaca*), en la hacienda la Gema del cantón Baba. Universidad Técnica de Babahoyo. Babahoyo-Ecuador. 2019; 37 p.
6. González J. Evaluación de interplante como alternativa de renovación para el manejo del cultivo de banano (*Musa AAA Simmonds*) bajo condiciones edafoclimáticas de Apartadó-Antioquia. Universidad de Córdoba. Montería-Colombia. 2021; 74 p.
7. Martínez V. Efecto del riego deficitario controlado en la productividad del banano. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2014; 22(2): 51-55.
8. Villalba J. Utilización de fundas impregnadas con Neem-X, para el manejo del trips en orito en el recinto Argentina del cantón Cumandá. Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. 2017; 51 p.
9. Moreira-Romero Á. Consideraciones actuales sobre ablandamiento del agua. Revista Científica Dominio de las Ciencias. 2016; 2(4): 334-345.
10. Toro-Trujillo A, Arteaga-Ramírez R, Vázquez-Peña M, Ibáñez-Castillo L. Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia. Tecnología y ciencias del agua. 2016; 7(6): 105-122.

11. Santistevan N. Efecto de láminas de riego en la producción de maíz (*Zea mays* L), en Río Nuevo, Santa Elena. Universidad Estatal Península de Santa Elena. La Libertad-Ecuador. 2015; 101 p.
12. Tandazo J, Caicedo O, Salas C, Sánchez V. Calidad del riego por aspersión subfoliar en *Theobroma cacao* L. en la finca San Vicente, Los Ríos, Ecuador. Revista La Técnica. 2018; (20): 1-10.
13. Valdivieso V. Efecto de cuatro láminas de riego por goteo sobre la producción del cultivo de maíz duro (*Zea mays*), según la evaporación del tanque evaporímetro clase a. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador. 2013; 206 p.
14. Alcívar B. Evaluación de varios fungicidas y un entomopatógeno para el control de Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en banano orgánico. Universidad Técnica de Machala. Machala-Ecuador. 2014; 57 p.
15. Tomalá I. Análisis de los costos de producción del banano orito orgánico en el cantón Bucay de la provincia del Guayas para la exportación en el mercado de Estados Unidos. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador. 2020; 116 p.
16. Banchón J. Diseño de un sistema de riego por aspersión en cultivo de banano para la finca "El Garrido" ubicada en Calichana, cantón Pasaje, provincia de El Oro. Universidad Estatal Península de Santa Elena. La Libertad-Ecuador. 2021; 106 p.
17. Bucheli R. Impacto potencial en las exportaciones de Banano y Camarón ecuatoriano hacia la Unión Europea 2015-2019, dada la suscripción de un acuerdo comercial entre ambas partes. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador. 2015; 96 p.
18. Capa B, Alaña T, Benitez R. Importancia de la producción de banano orgánico, caso: Provincia El Oro, Ecuador. Revista Universidad y Sociedad. 2016; 8(3): 64-71.
19. Muñiz L, Vinueza M, Ayón G, Curimilma O. El comercio justo como alternativa para desarrollar estrategias en beneficio de los productores. Revista Científica Dominio de las Ciencias. 2019; 5(3): 589-602.
20. Palomeque J, Lalangui J. Propuesta de una ruta turística bananera en base a la historia regional, provincia El Oro, Ecuador. Revista Universidad y Sociedad. 2016; 8(3): 141-150.
21. Peñafiel P. Incidencia de la suscripción del acuerdo comercial entre Ecuador y la Unión Europea. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador. 2016; 89 p.

22. Rojas B, Jaime J. Barreras arancelarias y no arancelarias como restricciones al comercio internacional. *Revista Venezolana de Gerencia*. 2018; 23(83): 543-562.
23. Vásquez W, Racines M, Moncayo P, Viera W, Seraquive M. Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de banano orgánico (*Musa acuminata*) en el Ecuador. *Enfoque UTE*. 2019; 10(4): 57-66.
24. Ciro H, Montoya M, Millán L. Caracterización de propiedades mecánicas del banano (Cavendish Valery). *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 2005; 58(2): 2975-2988.
25. Barrera J, G A, Cayón E. Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (*Musa AAB Simmonds*) en dos sistemas de producción. *Acta Agronómica*. 2014; 59(1): 20-29.
26. Ascencio-Moreno J, Hinojosa-Ramos M, Ruiz-Barzola O, Jiménez-Feijoó M, Galindo-Villardón M, Ramos-Barberán M. Multivariate analyses to determine fungicide efficacy on Ecuadorian bananas for consumption. *Revista Multidisciplinaria de Investigación*. 2020; 4(34): 49-66.
27. Tigasi C. Cultivo de alta densidad en banano (*Musa paradisiaca* Var. Cavendish). Universidad Técnica de Cotopaxi. La Maná-Ecuador. 2017; 66 p.
28. Álvarez E, León S, Sánchez M, Cusme B. Evaluación socioeconómica de la producción de plátano en la zona norte de la Provincia de Los Ríos. *Journal of Business and Entrepreneurial Studies*. 2020; 4(2): 86-95.
29. Herrera A. Control de la pudrición de corona de la fruta de banano a diferentes dosis de extracto etanólico de canela. Universidad Técnica de Machala. Machala-Ecuador. 2021; 60 p.
30. Ormaza M. Influencia de tres niveles de carbamida sobre la inducción de hijuelos de plátano (*Musa AAB Simmonds*) en el Valle del río Carrizal. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta-Ecuador. 2017; 59 p.
31. Msogoya T, Mwakisitu J. Effect of thidiazuron on in vivo shoot proliferation of popular banana (*Musa spp.* L) cultivars in Tanzania. *Journal of Applied Biosciences*. 2014; 81: 7214-7220.
32. Cedeño G, Suárez C, Vera D, Fadda C, Jarvis D, De Santis P. Detección temprana de resistencia a *Mycosphaerella fijiensis* en genotipos locales de Musáceas en Ecuador. *Scientia Agropecuaria*. 2017; 8(1): 29-42.

33. Cedeño-García G, Guzmán-Cedeño Á, Zambrano-Lucero H, Vera-Macías L, Valdivieso-López C, López-Álava G. Efecto de la densidad de siembra y riego complementario en la morfo-fenología, rendimiento, rentabilidad y eficiencia de la fertilización del plátano. *Scientia Agropecuaria*. 2020;(11(4): 483-492).
34. Abanto C, Araújo W, Chagas P, Siqueira R, Chagas E, Paulichi M, et al. Determinación de evapotranspiración y coeficiente de cultivo de *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh para su domesticación y conservación en suelos de tierra firme. *Serie horticultura*. 2020; 26(3): 175-188.
35. Santos F, Montenegro A, Silva J, Rodrigues E. Determinação do consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 2009; 4(3): 304-310.
36. Scholz-Berça A, Grandizoli-Mendonça T, Fonseca-Souza C. Influence of organic mulching on drip irrigation management of cabbage cultivation. *Ambiente e Água*. 2019; 14(4): 1-11.
37. Murga-Orrillo H, Farias-Araújo W, Ribeiro-Rocha P, Tadashi-Sakazaki T, Silva-Dionisio L, Polo-Vargas A. Evaporação e coeficiente de cultivo do feijão caupi cultivado em solo do cerrado submetido à cobertura morta. *Irriga*. 2016; 21(1): 172-187.
38. León-Mejía Á, Arzube-Mayorga M, Orrala-Borbor N, Drouet-Candell A. Efecto del riego deficitario controlado en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) utilizando la tina de evaporación clase a, en río Verde, Santa Elena, Ecuador. *Journal of Science and Research*. 2019; 5(1): 114-124.
39. Prado J. Eficiencia del uso del agua en la producción del cultivo de banano (*Musa AAA*) en la parroquia El Cambio provincia de El Oro. Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil-Ecuador. 2021.
40. Peña R. Riego parcial por goteo a niveles de humedad del suelo, en la papa (*Solanum spp.*) variedad Victoria, Riobamba, Ecuador. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 2018; 132 p.
41. Cuadra F, García D. Evaluación de tres láminas de riego por goteo y dosis de biofertilizante EM-5 (Sutocho) sobre el crecimiento, desarrollo y producción de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill) cv. Shanty, UNA, 2016. Universidad Nacional Agraria. Managua-Nicaragua. 2016; 61 p.
42. Palacios A. Análisis económico de los servicios y usos del agua en Ecuador. Universidad de Alcalá. Alcalá-España. 2019; 21 p.

43. Barrera S, Barrezueta R, García M. Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*. 2020; 3: 182-190.
44. Herrera R. Incidencia de la programación del riego en la producción de banano de la finca Santa Martha. Universidad Agraria del Ecuador. Milagro-Ecuador. 2020; 66 p.
45. Rocha L. Identificación de nemátodos fitoparásitos asociados al cultivo de rosa (*Rosa sp.*), en el sector Lasso provincia de Cotopaxi. Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. 2018; 62 p.
46. Santacruz G, Santacruz E. Evaluación del desempeño del riego por aspersión en lotes con cultivo de banana en Chiapas, México. *Siembra*. 2020; 7(2): 1–13.