



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ
CARRERA AGRONOMÍA

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

**EVALUACIÓN DEL CENIRRÓMETRO COMO
METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN DEL RIEGO
EN BANANO (*Musa acuminata* AAA)**

AUTORA
GONZALEZ BRIONES MILENA DAGMAR

TUTOR
GAVILÁNEZ LUNA FREDDY, Ph.D.

MILAGRO, ECUADOR

2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ
CARRERA AGRONOMIA

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **PhD. GAVILÁNEZ LUNA FREDDY**; docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DEL CENIRRÓMETRO COMO METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN BANANO (*Musa acuminata* AAA)”**, realizado por la estudiante **GONZALEZ BRIONES MILENA DAGMAR** con cédula de identidad N° 0950977710 de la carrera de **INGENIERÍA AGRONOMIA**, Unidad Académica Milagro, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo

Atentamente,

Ing. Gavilánez Luna Freddy PhD

Tutor

Milagro, 20 septiembre del 2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ
CARRERA AGRONOMIA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la sustentación del trabajo de titulación: “**EVALUACIÓN DEL CENIRRÓMETRO COMO METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN BANANO (*Musa acuminata* AAA)**”, realizado por la estudiante **GONZALEZ BRIONES MILENA DAGMAR**; el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Navarrete Cornejo Alexandra, M.Sc
PRESIDENTE

Ing. Flores Cadena Cristian, M.Sc
Examinador Principal

Ph.D Gavilánez Luna Freddy
Examinador Principal

Milagro, 20 septiembre del 2024

DEDICATORIA

Dedico este logro en primer lugar a Dios, por haberme dado salud, la fortaleza y entendimiento para haber llegado a este momento de mi vida profesional. A mi familia que son mi esposo Miguel y mis hijas Sofia y Belén, quienes son mi apoyo inquebrantable y motivación constante para seguir adelante, incluso en medio de las adversidades diaria que enfrentamos como seres humanos. A mis padres y hermanos, quienes han sido mi pilar fundamental y mi fuente de inspiración.

A los docentes, cuyo compromiso y dedicación diaria enriquecen nuestra comunidad científica y académica, les agradezco por su innovación y por compartir este logro con amor y comprensión. Su labor es esencial para el crecimiento y éxito de cada estudiante.

A mis amigos de la universidad y en especial a Tannya, quienes estuvieron a mi lado apoyándome en este camino, les doy gracias de todo corazón. Su amistad y respaldo han sido invaluable en este logro alcanzado.

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente;
no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará
contigo en donde quiera que vayas”

La Biblia. Josué 1:9

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Agraria del Ecuador por brindarme la oportunidad de ingresar y especializarme. Este logro permitirá aportar al país con los conocimientos adquiridos en esta noble institución.

También quiero expresar mi gratitud a mi tutor Ing. Freddy Gavilánez Luna PhD, quien compartió sus conocimientos y experiencias vividas en el área del cultivo de banano, colaborando activamente con mi estudio durante mi estancia en la universidad.

Asimismo, a los productores de fincas que abrieron sus puertas y recibieron con gran expectativa las inspecciones técnicas y recomendaciones, en beneficio de todos.

“En todo tiempo ama el amigo, y es como un
hermano en tiempo de angustia”
La Biblia. Proverbios 17:17

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, GONZÁLEZ BRIONES MILENA DAGMAR, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre “EVALUACIÓN DEL CENIRRÓMETRO COMO METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN BANANO (*Musa acuminata* AAA)” para optar el título de INGENIERO AGRÓNOMO, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Milagro, 20 septiembre del 2024

GONZALEZ BRIONES MILENA DAGMAR

CC: 0950977710

RESUMEN

La capacidad de almacenamiento de nutrientes y agua en el suelo varía según su contenido de carbono orgánico y porosidad. Cuando el agua disponible se agota, se llega al límite inferior de almacenamiento. Para abordar esta cuestión es fundamental evaluar la metodología del cenirómetro como alternativa para programar el riego, tomando como referencia el manejo con tina de evaporación (clase A) y tensiómetros. Estos métodos buscan mejorar la eficiencia en la irrigación de plantaciones de banano. En un estudio específico, se evaluaron diversas variables productivas como el peso del racimo, el diámetro del banano, la merma y el ratio. Además, se midió el volumen de agua de riego utilizado durante un período de 12 semanas. El experimento se llevó a cabo en un suelo franco limoso con una composición de 18% de arena, 58% de limo y 22% de arcilla. Los resultados mostraron una LFA (Límite de Fluidez de Agua) de 20 mm y una Ec (Evapotranspiración del Cultivo) de 21.66 mm. Para medir el caudal, se utilizaron 15 aspersores, y se obtuvo una infiltración básica de 11.33 mm/h. En comparación con la tina de evaporación y los tensiómetros, el cenirómetro demostró un valor de 252.6 mm en las 12 semanas de estudio. En conclusión, el uso del cenirómetro en suelos de textura franco limosa permite reducir los requerimientos de riego a 21 mm por semana para el desarrollo del banano en el cantón Milagro, especialmente en plantaciones no tecnificadas.

Palabras claves: banano, cenirómetro, evapotranspiración, suelo, tina

ABSTRACT

The storage capacity of nutrients and water in the soil varies according to its organic carbon content and porosity. When the available water runs out, the lower storage limit is reached. To address this problem, it is essential to evaluate the centimetric methodology as an alternative to schedule irrigation, taking as a reference the management with evaporation tanks (class A) and tensiometers.

These methods seek to improve the irrigation efficiency of banana plantations. In a specific study, various productive variables such as bunch weight, banana diameter, loss and ratio were evaluated. In addition, the volume of irrigation water used was measured over a 12-week period. The experiment was carried out on a silt loam soil with a composition of 18% sand, 58% silt and 22% clay. The results showed a LFA (Limit of Water Flow) of 20 mm and an E_c (Crop Evapotranspiration) of 21.66 mm. For flow measurement, 15 sprinklers were used, obtaining a basic infiltration rate of 11.33 mm/h. In comparison with the evaporation tank and the tensiometers, the centimeter yielded a value of 252.6 mm in the 12 weeks of study. In conclusion, the use of the centimeter in silt loam soils allows reducing irrigation requirements to 21 mm per week for banana development in Milagro canton, especially in non-technical plantations.

Keywords: banana, centirrometer, evapotranspiration, soil, tank

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Antecedentes del problema.....	12
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	13
1.3 Justificación de la investigación	13
1.4 Delimitación de la investigación	14
1.5 Objetivo general	14
1.6 Objetivos específicos	14
1.7 Hipótesis o idea a defender.....	14
2. MARCO TEÓRICO	15
2.1 Estado del arte	15
2.2 Bases científicas y teóricas de la temática.....	18
2.3 Marco legal.....	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1 Enfoque de la investigación.....	29
3.2 Metodología.....	29
4. RESULTADOS.....	34
5. DISCUSIÓN	40
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metodologías de riego a evaluarse.....	30
Tabla 2. Láminas de riego aplicadas según las metodologías de evaluación	36
Tabla 3. Valores de la variable peso de racimo (kg)	36
Tabla 4. Valores de la variable diámetro del fruto (cm)	37
Tabla 5. Valores de la variable merma en banano (%)	38
Tabla 6. Valores de la variable ratio del banano	39
Tabla 7. Promedios de la variable peso (kg) de racimo cosechados por planta ..	52
Tabla 8. Prueba t de Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales, de la variable número de frutos	52
Tabla 9. Promedios de la variable diámetro de banano (cm)	53
Tabla 10. Prueba t de Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales, de la variable diámetro de banano (cm)	53
Tabla 11. Promedios de la variable merma (Kg)	54
Tabla 12. Prueba t de Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales, de la variable merma (%)	54
Tabla 13. Promedios de la variable ratio (Kg)	55
Tabla 14. Prueba t de Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales, de la variable ratio (Kg)	55
Tabla 15. Evaporación del mes de octubre 2023	56
Tabla 16. Evaporación del mes de noviembre 2023	57
Tabla 17. Evaporación del mes de diciembre 2023.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Croquis de ubicación de la finca	30
Figura 2. Determinación de las constantes hídricas mediante el Triángulo de Sawton	34
Figura 3. Ubicación geográfica del sitio experimental	51
Figura 4. Diseño experimental comparativo en campo	51
Figura 5. Instalación de método de tina de evaporación	59
Figura 6. Observación del método de tina de evaporación	59
Figura 7. Evaluación del aspersor e instalación del cenirrómetro	60
Figura 8. Lectura del cenirrómetro	60
Figura 9. Observación del cenirrómetro dentro de la plantación	61
Figura 10. Lectura de evaporación.....	61
Figura 11. Observación y peso del racimo del banano	62
Figura 12. Observación del diámetro del banano.....	62
Figura 13. Observación del diámetro y merma del banano.....	63

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

El banano es uno de los cultivos perennes de amplia difusión, que ocupa un área de 160.6 miles de has (Márquez, 2020) y amplio gestor de mano de obra directa e indirecta, que requiere cuidados rigurosos en cuanto a su mantenimiento. Entre estos cuidados se encuentra el riego, cuya actividad no bien manejada, puede afectar su normal desarrollo e incidir en los niveles de producción de la especie.

El banano es un cultivo sensible a las condiciones de estrés, ya sea por falta o por exceso de humedad, que deben ser remediadas con programaciones de riego que dosifiquen las necesidades de agua en el momento y en el volumen adecuado. En este sentido se considera importante la temática propuesta, que permita avalar una metodología como la del cenirrómetro (Aguilar,2021).

Como el uso del agua para riego ha aumentado drásticamente en los últimos años, han surgido métodos y tecnologías para gestionar mejor el agua y la energía con el fin de producir más alimentos. Reflejando este incremento (4,6%) en el área cosechada de banano en el año 2023 fueron 175 mil hectáreas, registradas con relación al año 2022, plantaciones ubicadas en la región Costa, destacando las provincias de Los Ríos (37,7%), Guayas (31%), y El Oro (20,2%), generando una producción anual de 7,2 millones de toneladas, lo que representa un incremento de 17,8% con respecto al año 2023 (ESPAC, 2024).

En Ecuador, se han realizado muchos estudios de balance hídrico con ETo calculada a través de diferentes métodos modificados; por lo que la información respecto al manejo del riego en la literatura es bastante escasa. Si bien el manejo del riego se realiza mayoritariamente con sistemas presurizados que pueden ofrecer la oportunidad de un mejor manejo de las dosis de agua, es una situación que no se aprovecha al máximo (Cando, et al., 2024). En este sentido, será oportuno aprovechar un sistema de riego en el cual se pueda controlar los volúmenes de riego, aplicando alternativas de programación basados en el método de la tina de evaporación.

El Cenirrómetro se basa en ser un modelo conceptual que considera al suelo como un reservorio de agua. La capacidad de almacenamiento del suelo varía según su contenido de carbono orgánico y su porosidad. Cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, alcanza su máxima capacidad de

almacenamiento. Sin embargo, cuando el agua disponible se agota, se alcanza el límite inferior de almacenamiento (Gonzalez, 2024).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

Al igual que en la mayoría de los productores a nivel nacional, en las fincas bananeras comúnmente no se maneja el riego con vistas a lograr una mejor eficiencia. Las dosificaciones de agua que se aplican se hacen bajo un carácter prácticamente estricto, con volúmenes de agua y frecuencias de irrigación prácticamente constantes; de allí que, se apliquen dosis que en algunos casos pueden ser deficientes o en otros en excesos.

Tanto la aplicación de riego en déficit, como la que se aplica en exceso, causan efectos negativos en la producción del banano. Una dosis de agua en déficit limita la real capacidad productiva y restringe el proceso de evapotranspiración. El riego en exceso produce falta de oxígeno en el sistema radicular, con lo cual se interfiere en el transporte de nutrientes desde el suelo hacia la planta. Adicionalmente, los excesos hídricos son causantes de problemas de contaminación, ya que arrastran los productos agroquímicos aplicados hacia las fuentes subterráneas de agua, creando posteriormente problemas restricción de uso de agua y eutrofización.

Esta falta de manejo optimizado del riego es generalizada, aun en la zona agrícola del cantón Milagro, en donde también se dosifica la irrigación bajo consideraciones inamovibles y sin considerar la demanda hídrica del cultivo ni tampoco la capacidad de almacenamiento que tienen los suelos.

1.2.2 Formulación del problema

¿La metodología del cenirómetro es una alternativa que puede utilizarse para el manejo y programación del riego en banano?

1.3 Justificación de la investigación

El desarrollo de la actual propuesta busca mejorar la eficiencia del riego en banano aplicando una metodología relativamente sencilla y económica en su manejo. Para ello, la evaluación del método del cenirómetro será fundamental en el sentido de tener una opción del manejo de la irrigación totalmente confiable, dado que integra los factores planta, suelo y atmósfera.

Se justifica también desde la perspectiva del uso sustentable del recurso, pues abastecer las dosis adecuadas de riego a un cultivo permite preservar el

recurso, tanto en el ámbito del volumen como en el de contaminación de los acuíferos.

1.4 Delimitación de la investigación

Este estudio se desarrolló en el contexto espacio – temporal siguiente:

- **Espacio:** Bananera “Santa Ana”, sector La Violeta del cantón Milagro, provincia del Guayas, coordenadas UTM 17S: 663034.65 E - 9766244.61 S.
- **Tiempo:** El tiempo de la investigación fue de 6 meses.
- **Población:** La población beneficiada de los resultados de este estudio está representada por el personal de la bananera “Santa Ana” y estudiantes de agronomía.

1.5 Objetivo general

Evaluar la metodología del cenirrómetro como alternativa de programación de riego, tomando de referencia el manejo con tina de evaporación y tensiómetros, para mejorar la eficiencia en la irrigación del cultivo de banano.

1.6 Objetivos específicos

- Analizar las características físicas del suelo que inciden en la dosificación del riego y que son requeridas para la aplicación de la metodología del cenirrómetro.
- Establecer el riego en el cultivo de banano considerando la relación planta – suelo – ambiente, mediante el uso de la tina de evaporación y de tensiómetros.
- Determinar la metodología del cenirrómetro con los resultados obtenidos en el manejo de riego con tina de evaporación y tensiómetros mediante variables productivas (peso del racimo, diámetro del banano, merma y ratio).

1.7 Hipótesis o idea a defender

De acuerdo con la base bibliográfica respectiva, se considera que la metodología del cenirrómetro pudo ser una alternativa para un manejo de mayor eficiencia en el riego del cultivo de banano, teniendo en cuenta la evaporación presente en este cultivo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

En la literatura científica, la validación del cenirrómetro como alternativa para la programación de riego es escasa. Sin embargo, Gavilánez y Farías (2019) realizaron un estudio comparativo entre esta metodología y el procedimiento de la tina de evaporación clase A en el cultivo de cacao. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre ambas alternativas en términos de variables como el número de frutos por planta, el diámetro y la longitud de los frutos, así como el rendimiento de granos secos. Durante seis meses de evaluación, se estableció una demanda de 256 mm de agua utilizando el cenirrómetro, en contraste con la metodología de la tina de evaporación con tensiómetros, que arrojó una demanda de 293.3 mm

En el estudio realizado por Santacruz y Santacruz (2020), se examinó el método de riego por aspersión aplicado al cultivo de banano. El objetivo principal fue evaluar su funcionamiento y analizar las cuantificaciones relacionadas con este sistema, con el propósito de asegurar su correcto desempeño y prevenir posibles problemas futuros. Además, se consideraron dos parámetros críticos: la alcalinidad y el pH del agua de riego. Estos factores pueden tener un impacto significativo en el desarrollo de las plantas de banano y en la formación de sus racimos. Por lo tanto, comprender y controlar adecuadamente estos aspectos es esencial para optimizar la producción y la calidad del cultivo.

En el estudio realizado por Rivera et al. (2020), se investigó el efecto del riego deficitario aplicado durante las etapas inicial y de desarrollo del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en un suelo franco arenoso con las siguientes características: 48% de arena, 3% de arcilla, densidad aparente de 1.40 g/cm³ y capacidad de campo de 4.3%. Los resultados indicaron diferencias significativas ($p < 0.05$) tanto en el desarrollo vegetativo de las plantas como en su producción debido a la reducción del número de frutos causada por el riego deficitario. Es importante destacar que la disminución de la lámina de riego puede afectar negativamente la producción final del cultivo.

En el estudio citado por Naranjo et al. (2021), se destacó que el riego por aspersión en el cultivo de banano es un sistema beneficioso desde una perspectiva económica. Durante todo el ciclo de vida del cultivo, la irrigación desempeña un papel crucial. Se ha determinado que el requerimiento adecuado de agua para el

cultivo de banano es de 1 418,19 mm anuales. Además, es importante considerar que la falta de irrigación suficiente puede provocar la compactación del suelo y la pérdida de agua esencial para el desarrollo óptimo de las plantas.

Fernández, et al. (2021), en su estudio de evaluar la aplicación del riego deficitario de un cultivo en suelo franco, cuyas raíces alcanzan los 80 centímetros de profundidad (horizonte A: 12.8% arcilla, 41.6% limo, 37.6% arena; horizonte b: 20.8% arcilla, 36.8% limo, 31.4% arena). En esta práctica se analizaron variables vegetativas y productivas mediante el análisis de varianza y la separación de medias por Tukey (0.05), además del ajuste de tendencia por regresión en las variables consumo de agua y uso eficiente del agua entre los tratamientos y el rendimiento. Observando que, se puede ahorrar hasta 6.6 L/planta en 50 días del cultivo, conjuntamente el uso eficiente del agua en la reducción de la lámina de riego no afecta el rendimiento y con la mayor eficiencia del agua. por tanto, no se encontró diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) en cada parámetro. Concluyendo y recomendando que lograr una producción agrícola (en cada etapa vegetativa) con menor cantidad de agua que la requerida es fundamental para zonas de escasez.

Aguilar (2021) en su trabajo de investigación sobre el intervalo de riego en sistema de irrigación subfoliar aplicando fertirriego y fertilización edáfica en la producción de banano en Pasaje (El Oro), seleccionando cuatro módulos de riego (testigo; 2 riego por semana + 2h + fertilización edáfica; 2 riego por semana + 2h + fertirriego; 1 riego por semana + 3h + fertirriego + fertilización edáfica), evaluó las variables productivas (peso de racimo, número de manos, largo de dedo, grado de mano del sol, entre otros). Indicó que, con 2 riegos por semana de 2 horas y la asociación de fertirrigación, es la técnica que mayor productividad efectiva genera en suelos franco arenosos.

En el informe realizado por Lasprilla et al. (2022), se detalló la metodología del cenirómetro como una herramienta fundamental para evaluar las necesidades de riego en diversos cultivos. Esta técnica se basa en la medición de la evaporación del agua en los campos cultivados utilizando el tanque clase A. El objetivo primordial consiste en lograr una interacción eficiente entre el suelo, la planta y la atmósfera, con el propósito de optimizar la irrigación. Los resultados obtenidos demostraron que, mediante parámetros hídricos, es posible calcular y verificar la evaporación. Además, este estudio sugiere que la implementación de esta técnica

podría contribuir significativamente a reducir el consumo de agua como recurso. Asimismo, se observó un control adecuado de plagas y una disminución en el uso de agroquímicos.

Yohanani et al. (2022) presentaron un enfoque de modelado automático para estimar la evapotranspiración en grandes invernaderos de banano. Según sus observaciones, las variables que influyen en la evapotranspiración son la radiación solar, la velocidad del viento, la temperatura del aire y la humedad relativa. Estos entornos protegidos permiten obtener estimaciones fiables de la evapotranspiración. Además, la envoltura de plástico alrededor del fruto en campo abierto no afecta significativamente su calidad, ya que se mantienen los niveles de nitrógeno y zinc, lo que preserva la salud fisiológica del fruto debido a una menor demanda de evaporación en condiciones de sombra. Esto, a su vez, mejora la conducta estomática y la asimilación de dióxido de carbono, optimizando el uso del agua.

En su estudio, Lozano (2023) investigó el desempeño del sistema de riego subfoliar en diferentes lotes de plantaciones de banano. Sus hallazgos indican que la textura del suelo tiene un impacto significativo en la capacidad de retención de agua y nutrientes en este tipo de cultivos. Entre los resultados, se encontró que la proporción de arena (54%) y limo (35%) en el suelo es adecuada para las plantaciones de banano, ya que favorece el crecimiento radicular y mejora la resistencia al estrés hídrico. Además, Lozano determinó que la lámina de riego óptima para este cultivo es de aproximadamente 4.4 mm/día, con un reporte semanal de 25 mm utilizando el método de riego por aspersión, considerando un tiempo de pluviosidad de 4.5 mm/hora

En el estudio de Torres (2024) sobre la demanda hídrica del cultivo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* jacq.) en etapa adulta (10 y 15 años) en zonas con condiciones agroclimáticas homogéneas, se utilizó la información de evaporación del cenirrómetro. Este dispositivo, un envase plástico de 26 a 30 cm de diámetro y 35 a 40 cm de altura con capacidad de 5 galones o 19.35 litros, se asimiló a la evapotranspiración potencial. Los resultados mostraron que este cultivo presenta un promedio de 4.2 mm/día, con un comportamiento de aumento durante los meses de mayor escasez de recursos hídricos. Además, la diferencia en la evapotranspiración acumulada anual, que asciende a 146 mm, indica un consumo hídrico superior para las palmas de 10 años, las cuales son regadas diariamente.

Estos hallazgos sugieren que mantener el contenido de humedad del suelo cerca o alejado de la capacidad de campo influye significativamente en el consumo de agua, por ende, en la estimación del coeficiente del cultivo.

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1 Características agronómicas del banano

Balaji, et al., (2020), enseñan que el banano es una planta herbácea, incluso es conocido en diferentes terminologías como hierba perenne de gran tamaño, no posee un tallo leñoso, pero si su pseudotallo es posible su altura aproximadamente de 4 metros a 7 metros de altura.

2.2.1.1 Taxonomía

Referente sobre la taxonomía, de acuerdo con el Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI, 2023), es la siguiente:

Reino Plantae
 División Angiospermae
 Subdivisión Angiospermaphyta
 Clase Monocotiledónea
 Orden Zingiberales
 Suborden Zingiberineae
 Familia Musaceae
 Sub-Familia Musoideae
 Tribu Musaceae
 Genero Musa

Entre la literatura encontrada, enseñan Jeensae, et al. (2021) que el banano pertenece a la familia de las Musaceae, aunque en este género se han descubierto 60 especies de banano comestible aproximadamente y su especie corresponde a *Musa acuminata* con el genoma A lo que hace referente al nombre científico *Musa acuminata* AAA.

La taxonomía del banano se ve afectada por el cruzamiento de diferentes especies en este cultivo. A lo largo del tiempo, se han producido hibridaciones entre *Musa acuminata* Colla (con un genoma A) y *Musa balbisiana* Colla (con un genoma B). Estas especies pertenecen a la familia Musaceae y se han propagado asexualmente debido a estos cruces (Gaëtan, et. al, 2022).

2.2.1.2 Clima

El clima en el cultivo de banano es de suma importancia, por lo que Belupú (2022), menciona que, para el desarrollo de la planta y su fruto, teniendo en cuenta con una temperatura optima esta entre los 20° y 30° donde se encuentra excelentes rendimientos. A comparación de temperaturas bajas presenta inconvenientes la planta que afecta su desarrollo, hay que tener en consideración la ubicación referente a la humedad y precipitaciones, de ello se requiere desde 120 a 200 mm asociado al riego en temporal de sequía.

Teniendo en cuenta el clima en que se desarrolla, se menciona en parte de la región costa del país, es una de las regiones de clima cálido-se y tropical-húmedo lo cual es factor determinante que influye de manera que el recurso hídrico del cultivo, además que es un factor determinante en el suelo debido al cambio climático hace el requerimiento del recurso hídrico (Lecarnaque, 2024).

Un buen clima es propicio para el desarrollo del cultivo de banano, siendo así en nuestro país contamos con un clima propicio como es tropical húmedo con una temperatura de 18.5°C aproximadamente, lo cual es beneficioso para el grado de exportación de la fruta y su progreso no se ve afectado por esta temperatura. A pesar de que en el país tenemos 2 estaciones del año, este cambio climático es una condición poco afectable al proceso de desarrollo de la fruta, ya que se encuentra durante todo el año (Gómez, 2021).

Para Mata, et al., (2021), una de las ventajas del clima para el desarrollo del banano es un crecimiento productivo, a pesar de los cambios climáticos que se presentan en las diferentes localidades del país, es adaptable para estas condiciones lo cual el cultivo puede seguir con su ciclo hasta el momento de la cosecha, así como estas plantaciones necesitan de un clima también pasan por un sin número de normas que certifican la calidad del banano de exportación.

Nuestro país es muy aprovechable en factores beneficiosos como suelos fértiles, policultivos y un clima favorable es un conjunto de condiciones que ayuda a los cultivos a un mejor desarrollo de este. Por ello el desarrollo del cultivo de banano debido a las favorables condiciones climáticas tiene una alta demanda en producción y es un producto predominante del país, siendo un clima tropical en condiciones beneficiosas (Candelario, 2021).

2.2.1.3 Drenaje hídrico

El drenaje hídrico es un sistema diseñado para eliminar el exceso de agua acumulado en el suelo durante el riego. Es fundamental que los cultivos cuenten con un drenaje adecuado para prevenir inundaciones futuras y minimizar las pérdidas de cultivo. Además, el drenaje hídrico facilita la remoción de sales y previene la sobre salinización del suelo (Singh, 2019).

Un requerimiento importante para el desarrollo de todo cultivo en especial, para una bananera teniendo en cuenta que el drenaje hídrico implica a una excelente aireación. En caso de suelos compactados no son recomendables para bananeras a pesar del drenaje previo que se realiza, un suelo apto y un drenaje óptimo brindara mejor desarrollo a la planta y producción de este (Aguilar, 2021).

Al igual de importante que es el riego a su vez el drenaje es de gran ayuda al cultivo, por lo que esta realización debe ser tecnificada y a la vez prediseñada antes de establecer el cultivo para que no interfiera al momento de sembrar con su distanciamiento. Además de que debe estar adecuado para las condiciones de precipitaciones, esto ayudara que el cultivo no tenga exceso de agua con las precipitaciones presentes en la temporada de lluvias (Solano, 2024).

2.2.2 Métodos para medir la evapotranspiración

2.2.2.1 Tanque evaporímetro clase A

La evapotranspiración podría ser definido por diversos métodos, entre los cuales se hablará del tanque evaporímetro clase A, que consiste en estimar la evapotranspiración en base a la utilización de la fórmula de Penman Monteith:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + y \frac{900}{T + 273} u^2 (e_s - e_a)}{\Delta + y(1 + 0.34u^2)}$$

El objetivo de esta fórmula conjunto con el tanque evaporímetro, hay que tener en cuenta el coeficiente del tanque así también provee medidas referenciales sobre radiación, viento, temperatura y humedad; sobre el efecto evaporativo, radiación solar y almacenamiento de calor en el agua contenida del tanque (Ortiz, et al., 2018).

Álvarez, et al. (2021) mencionan lo siguiente: El tanque de evaporación clase A logra ser evaluado mediante las láminas de riego del cultivo determinado, en conjunto a ecuaciones de cálculos lo cual ayuda a medir la evaporación del cultivo en determinados días que se lleva a cabo el ensayo. Por ello se instala el tanque

de clase A con la finalidad de realizar el efecto invernadero y verificarla cantidad de agua a aplicar al cultivo con referencia con la siguiente ecuación:

$$Lamina = \frac{Etp * C * A}{n_r}$$

Este método del tanque evaporímetro clase A, consiste en lograr predecir los efectos del clima en relación con la evapotranspiración del cultivo, teniendo en cuenta las necesidades hídricas del cultivo. Para poder obtener estos resultados el tanque debe contar con una base de unos 15cm de la superficie y para tomar los datos o lectura del tanque debe ser de entre los 5 y 7cm por debajo del borde del tanque (Arce, et al., 2018).

Siguiendo la propuesta de Grassi, el tanque evaporímetro incorpora datos meteorológicos relevantes para la evaporación, junto con las mediciones de agua en el mismo tanque. Estos datos son esenciales para realizar los cálculos establecidos (Villazón, et al., 2021).

2.2.2.2 Tina de evaporación clase A

En cuanto la tina de evaporación clase A, es un recipiente que adapta los efectos meteorológicos, que indican la evaporación del cultivo diariamente, teniendo un registro del requerimiento hídrico de la planta con sus diferentes estados fenológicos, y con la ecuación de cálculo siendo la siguiente:

$$d = \frac{Etv * Kt * Kc * Kl}{RL * CUD} T$$

d = Lámina de riego

Etv= Tasa de evaporación medido en la tina clase A.

Kt= Coeficiente de tina

Kc= Coeficiente de cultivo según etapa fenológica

Kl= Coeficiente de localización del riego.

T= Tratamiento en porcentaje %

CUD= Coeficiente de uniformidad de distribución de caudales

RL= Requerimiento de lavado

Con estos requerimientos se pueden adquirir la evaporación mediante la tina clase A, un método más que se necesita para obtener de maneras más económicas para calcular la evaporación (León, et al., 2019).

El mismo autor comenta que, la tina de evaporación clase A se considera para su lectura el riego que debe efectuarse en el cultivo, posteriormente se verificara las lecturas de la medida que se obtenga en la tina previos al riego, con ello se observa la evaporación del agua presente den el terreno del ensayo. Al momento de la instalación de la tina de evaporación, hay que tener en consideración que tiene una base para poner colocar la tina, la tina debe tener un agujero a los 5cm desde la parte superior de este método y hasta ahí colocarle agua, aparte de un cercado para evitar los animales alteren nuestros resultados.

2.2.3 Características físicas del suelo relacionadas al riego

2.2.3.1 Densidad

Reichardt y Timm (2020) alude que, el suelo está formado por tres fases: sólida, líquida, gaseosa; la fase sólida está formada por materia orgánica y partículas minerales, el resto del espacio del suelo está formado por poros del suelo ocupados por líquido y gaseoso, es decir, por partes de agua y aire.

La densidad del suelo, en gran medida, se define por su porosidad. Esta porosidad varía según la compactación del suelo y su capacidad para retener agua. A su vez, esta porosidad afecta el crecimiento de las raíces de los cultivos. La densidad se modifica cuando las partículas sólidas y el espacio poroso están determinados por la presencia de materia orgánica (Méndez, 2020).

2.2.3.2 Porosidad

Para Bagnall, et al. (2022), la porosidad del suelo se refiere a la cantidad de espacio poroso presente en el suelo, que está formado por pequeños poros. Estos poros permiten la integración del agua con el suelo y están ocupados por moléculas de aire. En términos más precisos, la porosidad representa la capacidad máxima de retención de agua que el suelo puede alcanzar. Los valores típicos de porosidad para diferentes tipos de suelo son los siguientes: arena (30%), suelo franco (50%) y arcilla (65%). La porosidad se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$Pr = \left\{ 1 - \left(\frac{da}{dr} \right) \right\} 100 \quad Pr = \left(\frac{dr - da}{dr} \right) 100$$

La insuficiencia de un suelo para el desarrollo de las plantas tiene efectos negativos, especialmente en las propiedades de estructura y porosidad. Esta deficiencia limita la adaptabilidad del suelo al cultivo y afecta el crecimiento de las raíces, que son responsables de la absorción de nutrientes. Además, se observa

un aumento en la densidad aparente del suelo y la erosión debido a la saturación de agua (Sanchez, 2020).

La porosidad del suelo es un parámetro que nos permite evaluar la cantidad de espacio poroso presente en el terreno. Este espacio poroso está relacionado con la materia orgánica y la textura del suelo. Aunque la porosidad es observable hasta una profundidad de aproximadamente 30 cm, es en esta capa donde, gracias al proceso de arado, se descompacta el suelo y se obtiene una muestra más representativa de la porosidad (Peralta, et al., 2021).

2.2.3.3 Capacidad de campo

La capacidad de campo hace referencia a la contención de agua, es referente a una textura mineral y materia orgánica. Para ello la CC se lograría cuantificar los horizontes del suelo, por ello se puede observar alrededor de 48 horas después de previo riego y su drenaje del agua, si existe retención del recurso hídrico (Fong, 2019).

Para mantener un campo en su capacidad óptima para el cultivo, es fundamental mantener una humedad adecuada sin llegar a saturar las plantas. Esto se logra mediante un sistema de riego eficiente, especialmente en el caso de sistemas de aspersión que simulan la lluvia y proporcionan la humedad necesaria para el cultivo (Villazante, 2022).

2.2.3.4 Punto de marchitez

El punto de marchitez es el índice donde cuando un cultivo debido a que no recibe la suficiente dosis de recurso hídrico, esto podría ocasionar una marchitez irrevocable cuando el agua se satura durante 12 horas (Carrasco, 2022).

Este indicador permite observar el porcentaje hasta donde es su límite de extracción de agua en un cultivo, una vez que la planta se encuentre en este nivel, es probable que tengan a marchitarse por no contar con agua y es poco probable su recuperación. Este factor depende del clima, si existen altas temperaturas de radiación solar y el cultivo no cuente con la humedad correspondiente o se encuentre al límite de la saturación la planta se marchitará y morirá la planta (Núñez, et al., 2020).

El valor del punto de marchitez varía según el cultivo y las condiciones climáticas. Además, el potencial hídrico del suelo se encuentra alrededor de 15 atmósferas. Cuando el suelo alcanza este estado, la planta no puede asimilar eficientemente el recurso hídrico y llega a un punto crítico donde podría morir. Por

lo tanto, si el agua en el suelo llega a esta saturación, se compromete la salud del suelo al no satisfacer los requerimientos específicos de cada cultivo (López, et al., 2022).

2.2.3.5 Umbral de riego

El agua que no es aprovechable porque el agua admisible por la planta por falta de riego, necesitando una energía para facilitar el acceso del recurso hídrico para poder extraerla, es por ello el umbral de riego se refiere es lo que la planta puede obtener sin inconvenientes siendo así agua fácilmente disponible (Ojeda, et al., 2018).

Por lo general, este porcentaje se expresa como la humedad aprovechable que el cultivo utiliza sin que la producción se vea afectada. En el caso del riego auxiliar, se consume aproximadamente el 50% de la cantidad de absorción del recurso hídrico (Vélez, 2021).

2.2.3.6 Lámina disponible y fácilmente aprovechable

La disponibilidad de agua en el suelo se refiere a la cantidad de agua presente en el suelo, específicamente los recursos hídricos disponibles para el cultivo. Esta disponibilidad se expresa en metros cúbicos (m³) en relación a una hectárea de superficie de suelo (Argote, 2020).

En el caso que el agua no se encuentre disponible para el cultivo, esto requiere una energía para su extracción por lo que en este caso solo se debería regar o utilizar el recurso hídrico cuando se lo requiera; lo que es denominado lamina fácilmente aprovechable, aunque la planta puede asimilar y extraer sin inconvenientes el agua fácilmente aprovechable (Ojeda, et al, 2018).

2.2.4 Sistemas de riego en banano

2.2.4.1 Riego por aspersión

El riego por aspersión es un método eficiente para gestionar el agua en agricultura. Este sistema distribuye uniformemente el agua mediante aspersores que permiten ajustar la intensidad y el patrón de riego, imitando el efecto de la lluvia. Además, es importante considerar la velocidad del viento, ya que afecta la distribución del agua y su eficacia en el riego (Reyes, 2023).

El riego por aspersión simula el efecto de la lluvia, con una eficacia que oscila entre el 75% y el 95%. Su objetivo principal es infiltrar el suelo mediante gotas que caen de manera constante en áreas específicas. Una de las ventajas clave es la capacidad de ajustar el accesorio de riego según las necesidades específicas y en

el momento requerido. Además, este método es adecuado para todo tipo de suelos (Cobeña, 2021).

El riego por aspersión además de la eficiencia que brinda, se debe tener en cuenta el diseño adecuado de sus componentes como tuberías y accesorios de riego como los aspersores, aunque no es regulable la velocidad del agua con la que se conduce a través de la tubería (Cisneros, et al., 2024).

En los últimos 50 años se ha ido mejorando esta alternativa de riego, siendo una óptima opción, aunque en aquellas épocas las tuberías eran recubiertas de aluminio y la implementación de los aspersores fue una solución favorable, con esto hubo una mejor distribución de agua a todo el cultivo (Dávila, 2022).

Es de gran importancia el sistema de aspersión, gracias a este método ha sido una solución beneficiosa ya que no requiere de una precisión exacta para el riego y se puede adaptar de la forma que se desea regar y hacer el efecto lluvia adecuado para el cultivo además de facilitar la mecanización (Barreiro y Cheme, 2022).

El riego por aspersión es un sistema que simula la lluvia al dispersar el agua a través de aspersores. Estos aspersores pueden ajustarse según las necesidades de la planta y la uniformidad deseada. El método cubre parcialmente el suelo al dirigir el agua desde una tubería hacia el aspersor, que libera gotas que alcanzan la planta a una distancia considerable (Caiza y Cuchipe, 2022).

El riego por aspersión se considera una tecnología que utiliza la metodología de efecto de lluvia. Su efectividad oscila entre el 80% y el 90%, proporcionando una distribución uniforme de la humedad en el suelo. Esto, a su vez, mejora el anclaje radicular y favorece el desarrollo óptimo de las plantas (Restrepo, 2020).

2.2.4.2 Riego superficial

El método de riego superficial es muy distinto, ya que la distribución del agua se basa en la disposición del agua en los canales que conducirían el cauce del agua que es llevado por gravedad hacia el cultivo, por ello debe ser un terreno plano sin ninguna obstrucción para evitar una desigualdad de riego en el terreno, sus canales deben estar limpios para evitar problemas de riego (Chávez et al., 2020).

Parra, et al. (2022), menciona lo siguiente: Es uno de los riegos dirigido por canales y por su cauce lo cual distribuye uniformemente siempre y cuando no existan obstáculos en todo el cultivo, una gran ventaja es la facilidad de instalación del sistema, fácil mantenimiento.

El riego superficial tiene inconvenientes en uniformidad y eficiencia. Si hay obstáculos, el agua puede no llegar a todas las zonas de riego (Guerrero, 2021). Se recomienda usar terrenos planos o suelos arenosos para este tipo de riego, pero es importante considerar posibles alteraciones del suelo que afecten a las raíces del cultivo.

El riego superficial se lleva a cabo mediante la utilización de una bomba para impulsar el agua a través de tuberías. La eficacia del riego depende de la pendiente del terreno, ya que esto afecta la distribución de la humedad. En áreas sin obstáculos, es más sencillo regar toda la superficie. Además, la infiltración del agua en el suelo es crucial para garantizar que las plantas tengan acceso al recurso hídrico, especialmente en días de altas temperaturas (Ortiz, 2020).

El riego superficial puede sufrir pérdidas por infiltración profunda en ciertas áreas del terreno. Esto ocurre cuando la textura del suelo y su porosidad se ven afectadas por factores externos, también conocidos como percolación. En esta situación, el agua que se infiltra queda por debajo de las raíces. Aunque podría presentar inconvenientes por escurrimiento del agua ya que no podría cubrir todo el terreno con agua y zonas sin poder regar, con todas estas situaciones la planta se le reduce el agua disponible en cada una de ellas (Herrera y Prado, 2022).

Este método consiste en aplicar agua al terreno de forma parcial delimitando por surcos que son los que separan las parcelas y retienen más cantidad de agua hasta regar la otra parte de la parcela, por ello al aplicar el agua al suelo por gravedad se distribuye uniformemente teniendo en cuenta que no existan obstáculos, es favorable si el terreno tiene una pendiente permitirá mejor cauce al agua, así que el caudal sea bajo mientras no tenga obstrucción podrá seguir su cauce con facilidad (Barreiro, 2020).

El riego superficial consiste en distribuir agua a través de canales abiertos sin obstrucciones. Este método se utiliza para retener el agua en las parcelas y lograr un mejor riego en todo el terreno del cultivo. Aunque requiere grandes volúmenes de agua, su efectividad es del 60-70%. Sin embargo, parte del agua se infiltra y sufre percolación en la escorrentía, por lo que es importante mantener la limpieza para evitar obstáculos (Kumar y Sarangi, 2022).

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución del Ecuador

Art. 318, se indica que: " El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua. La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias. El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios. El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que 36 garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley.

Art. 411. El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua. Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

Art. 412, se indica que: " La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque eco sistémico (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).

2.3.2 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del agua

Artículo 1.- Naturaleza jurídica. Los recursos hídricos son parte del patrimonio natural del Estado y serán de su competencia exclusiva, la misma que se ejercerá concurrentemente entre el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, de conformidad con la Ley.

El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria

Art. 3. – Objeto de la ley. El objeto de la presente Ley es garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el sumak kawsay o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014, p. 4).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

De acuerdo con el planteamiento de este ensayo, se ha considerado que éste es de tipo experimental, pues se ha propuesto la comparación de una metodología de riego, por ello permitió controlar la humedad y evaporación del suelo con la programación del riego utilizando un equipo sencillo como del cenirrómetro, cuyo procedimiento se fundamenta en el uso de la tina de evaporación tipo A. Junto a esta metodología se utilizaron tensiómetros para el control de humedad en el suelo. Este estudio también tiene características descriptivas, porque se evaluaron variables productivas de la especie.

3.1.2 Diseño de investigación

Igual como toda investigación aplicada, este estudio tiene una fase teórica basada en bibliografía pertinente a la temática, que ha permitido establecer los métodos a evaluar en la fase empírica del mismo. Es decir, hay un fundamento bibliográfico sobre el manejo del riego utilizando la tina de evaporación clase A, sobre el cual se basó la utilización del cenirrómetro, cuyo efecto fue valorado con índices de producción del cultivo de banano.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables de estudio

3.2.1.1 Variable independiente: según la propuesta de comparación que se ha realizado, se tiene como variable independiente al método de riego, siendo uno de ellos el de Tina de evaporación y el segundo basado en el uso del cenirrómetro.

3.2.1.2 Variable dependiente: Como variables de respuesta se obtuvo a las de característica productiva: peso del racimo, diámetro del banano, merma y ratio. Además, también se tuvo como variable de respuesta a los volúmenes de agua de riego utilizados durante el proceso.

3.2.2 Tratamientos

Para la actual propuesta, los tratamientos de este experimento fueron referidos a las metodologías de riego a comparar. Éstas son las que se describen en la tabla 1.

Tabla 1.

Metodologías de riego a evaluarse

N°	Tratamientos
1	Método con el Cenirómetro
2	Método con tina de evaporación clase A y tensiómetros

En las dos metodologías se trata de integrar a los factores suelos, planta y ambiente, de tal forma que se pueda obtener láminas de riego en función de la demanda hídrica de planta y de la capacidad de retención del suelo.

3.2.3 Diseño experimental

La investigación se desarrolló bajo una distribución completamente al azar, seleccionando cuatro lotes (módulos de riego) desde donde se evaluaron las variables de respuesta. Para estas últimas se consideraron plantas en estado “pronta a floración” en un número de 15 plantas por lote. Es decir, en todo el ensayo se generarán 30 observaciones por cada metodología de riego. Nótese que el estudio tuvo una duración de 12 semanas, que es el tiempo en que una “bellota” se convierte en racimo comercial (Orrego, 2021). El croquis referencial del estudio puede observarse en la figura 1.

Figura 1.

Croquis de ubicación de la finca

Gonzalez, 2024

3.2.4 Recolección de datos

3.2.4.1 Recursos

El trabajo estuvo presente el Ing. Freddy Gavilánez y la autora, además con la utilización de la tina de evaporación clase A, GPS, libreta de apuntes.

3.2.4.2 Métodos y técnicas

Dentro de los métodos teóricos, este estudio toma de base a los métodos deductivo e inductivo. El primero aplicado a la búsqueda y centrado de información bibliográfica que sirve para establecer los parámetros de la investigación, y el segundo, para la difusión de los resultados que se obtengan al final de la prueba.

3.2.4.3 Características físicas del suelo

Entre las características físicas, para llevar a efecto este trabajo se requirió el conocimiento de la condición textural del suelo y del contenido de materia orgánica. En este sentido, se tomará una muestra compuesta de 0.5 kg en los lotes en donde se aplicó la metodología del cenirómetro, desde donde se obtuvo el contenido de arcilla, limo y arena, aplicando el método de Bouyoucos.

3.2.4.4 Método del cenirómetro

Para la aplicación de este procedimiento se utilizó un recipiente plástico blanco de medidas: 16.65 cm de diámetro en la base, 19.20 cm de diámetro en la parte superior y 19.25 cm de altura. En éste se realizará una perforación de 1 cm a los 5 cm desde la parte superior, para definir el nivel constante de agua. Este recipiente sirvió para medir la evaporación dentro del área de estudio, considerando que en él se produce un 9% más que en la tina clase A (Cruz y Torres, 1995). Por lo tanto, de acuerdo con este último procedimiento (Allen, et al., 2006), la evapotranspiración del cultivo estará dada por la expresión 1 siguiente:

$$ET_c = 0.91 \times E_c \times K_{TAN} \times K_c \quad (1)$$

Los datos del coeficiente de cultivo K_c fueron obtenidos de la bibliografía propuesta por Allen *et al.* (2006).

Con los datos de textura y aplicando el modelo de predicción de Saxton y Rawls (2006), además del contenido de materia orgánica, se definieron los valores de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Da). Con esta información y la de profundidad radicular (Z_r), así como del umbral de riego (U_r), la lámina fácilmente aprovechable (LFA) se estableció con la expresión 2.

$$LFA = \frac{U_r \times (CC - PMP) \times Da \times Zr}{100} \quad (2)$$

Al igualar las ecuaciones 1 y 2, la evaporación del cenirómetro permitió establecer la dosis de riego a reponer en cada aplicación, definiendo una marca en el recipiente desde la perforación ubicada a 5 cm de la parte superior. Esta expresión que hace posible definir la marcación es la siguiente:

$$E_C = \frac{U_r \times (CC - PMP) \times Da \times Zr}{91 \times K_{TAN} \times K_C} \quad (3)$$

3.2.4.5 Método de la tina de evaporación clase A

Se utilizó el método de la tina de evaporación en relación para observar la evaporación del suelo del siguiente ensayo. Consiste en una tina que se utiliza para medir la evaporación del agua en la atmósfera. Está constituido por una tina 1.21 m de diámetro y 25.5 cm de profundidad, con un área aproximadamente de 1.41 metros cuadrados, la cual debe ser colocada sobre una base que está encima del suelo a una distancia de 3 a 5 cm que permita libre circulación del viento con esta facilidad se puedan obtener resultados exactos.

El tanque se llena de agua y diariamente se tomaron lecturas de evaporación con ayuda del lector micrométrico, teniendo en cuenta la humedad, viento, y otras condiciones que determinan la evaporación (Valera, et al, 2014).

3.2.4.6 Medidor de humedad del suelo (Método del tensiómetro)

Para este estudio se utilizó el método del tensiómetro para medir la retención de agua presente en las raíces de las plantas, que permitirá demostrar con que velocidad el cultivo extrae el agua y a su vez cual es la intensidad con la que se estaría secando el suelo. Así se podría estimar la frecuencia más adecuada para el riego. Constituido por una previa instalación del equipo, se lo expone a una prueba preliminar que se realizará en una lámina de riego por 3 horas aproximadamente luego de esto se procederá hacer una calicata y determinar la profundidad de humedad presente en el suelo del cultivo.

El tensiómetro se empleó teniendo en cuenta la humedad del cultivo, por ello al momento de su instalación se considerará la profundidad radicular (100 cm). Se colocaron dos tensiómetros a dos profundidades, uno a 30 cm y el otro a 60 cm; utilizándose la primera profundidad para la decisión del riego y la segunda para valorar las pérdidas por percolación (Medina, 2000; Tarjuelo, 1999).

3.2.4.7 Variable de producción a medir

Peso del racimo (kg)

En base del ensayo propuesto, se logró evaluar si existen diferencias entre los métodos mencionados, por ello al finalizar las 12 semanas que lleva el racimo se pesará el racimo comercial (sin vástago) para encontrar alguna diferencia.

Diámetro del banano (cm)

Se verificó el diámetro del banano con la utilización de un calibrador, lo cual permite determinar su diámetro si está establecido bajo unos parámetros para exportación. Para esta variable se considerarán 10 unidades de banano, desde donde se obtuvo un promedio.

Merma (%)

Una vez completadas las semanas de cosecha en banano comercial entre las 10 a 12 semanas, se verificó, mediante una balanza (peso: kg), la relación entre los frutos de banano que califica para la exportación y los frutos restantes como merma o rechazo.

Ratio

Para conocer su ratio del banano, se procedió a realizar esta actividad una vez completada la semana de cosecha, donde se relacionó el número de cajas (peso de 20 kg) empacadas (además de controlar la calidad) y el número de racimos obtenidos durante el tiempo de cosecha.

3.2.5 Análisis estadístico

Para la valoración estadística de los datos se aplicó la prueba T Student, considerando varianzas iguales y, utilizando para ello Microsoft Excel.

4. RESULTADOS

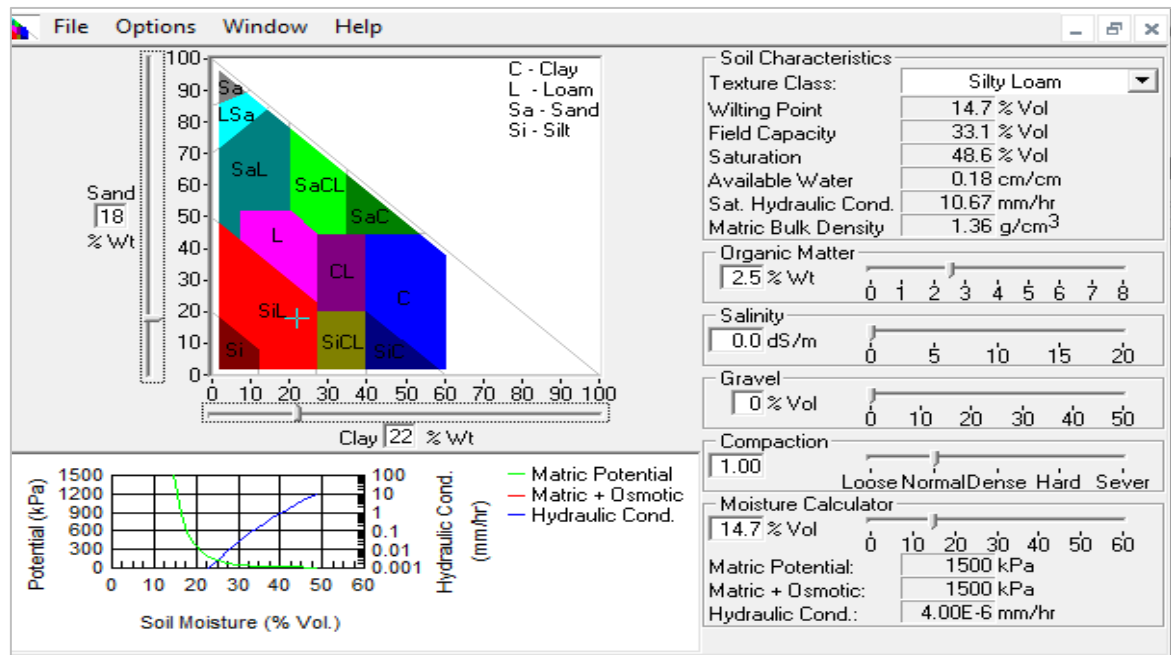
4.1 Características físicas del suelo que inciden en la dosificación del riego y que son requeridas para la aplicación de la metodología del cenirómetro

El suelo en donde se llevó a cabo el estudio presente, mostró un 18% de arena, 58% de limo y 22% de arcilla; además, registró un contenido de materia orgánica de 1.9%.

Identificados los valores textuales del suelo, con esos resultados se utilizó el software "Soil Water Characteristics", con el cual se pudo establecer un valor de 33.1% de capacidad de campo (CC), 14.7% de marchitez permanente y una densidad aparente de 1.36 g/cm³. Estos resultados pueden observarse en la figura 2:

Figura 2.

Determinación de las constantes hídricas mediante el Triángulo de Sawton



Gonzalez, 2024

Con estos datos y aplicando la expresión 2, la lámina fácilmente aprovechable para el cultivo se definió en el siguiente valor:

$$LFA = \frac{0.20 \times (33.1 - 14.7) \times 1.36 \times 400}{100} = 20 \text{ mm}$$

Con umbral de riego del 20%, capacidad de campo de 33.1%, punto de marchitez permanente de 14.7%, densidad aparente de 1.36 g/cm³ y profundidad

radicular de 400 mm, se estableció una programación de riego eficiente; durante el periodo experimental (7 días útiles), se determinó un LFA de 20 mm. Este enfoque permite optimizar el uso del agua, asegurando que el cultivo reciba la cantidad adecuada de humedad sin desperdiciar recursos hídricos. Además, la combinación de estos parámetros permite mantener las condiciones óptimas del suelo, favoreciendo el crecimiento y desarrollo saludable de las plantas de banano.

Al final, la marca referencial delimitada en el cenirómetro se estableció con la expresión 3, definiéndose el siguiente valor:

$$E_c = \frac{0.20 \times (33.1 - 14.7) \times 1.36 \times 400}{91 \times 0.85 \times 1.2} = 21.6 \text{ mm}$$

4.2 Riego en el cultivo de banano considerando la relación planta – suelo – ambiente, mediante el uso de la tina de evaporación y de tensiómetros.

Para la evaluación de los aspersores del sistema de riego, se escogieron 15 aspersores para medir el caudal de cada aspersor dentro del módulo inmerso en el ensayo. Los accesorios de riego fueron evaluados durante 20 segundos cada uno. Para conocer la precipitación horaria fue preciso conocer el distanciamiento entre laterales (8,20 m) y el distanciamiento entre aspersores (9,20 m). En este caso, la lámina de aplicación del aspersor se estableció en el siguiente valor:

$$Ph = \frac{Q}{da * dl}$$

$$Ph = \frac{855 \text{ l/hr}}{9.20\text{m} * 8.20\text{m}}$$

$$Ph = 11.3 \text{ mm/h}$$

En la tabla 2 se detallan las láminas de riego aplicadas por semana en las dos metodologías de evaluación. En el caso de la dosificación del riego mediante el cenirómetro, la lámina total de agua aplicada, durante las 12 semanas de evaluación fue 252.6 mm; un valor muy similar a los registrado en el manejo del riego mediante tina de evaporación y tensiómetro, en el cual se obtuvo un valor de 258.3 mm.

Tabla 2.

Láminas de riego aplicadas según las metodologías de evaluación

Semana	Cenirrómetro	Tina + tensiómetro
1	21,6	23,1
2	21,7	20,4
3	20,3	21
4	19,6	20,9
5	22,4	19,9
6	21	22,1
7	23,1	23,4
8	19,6	20,9
9	21	23
10	20,3	19,9
11	20,3	22,7
12	21,7	21
	252,6	258,3

Gonzalez, 2024

4.3 Determinación de la metodología mediante variables productivas.

4.3.1 Peso del racimo (kg)

Durante la cosecha, se logró observar el peso del racimo comercial, encontrando que, con el uso de Cenirrómetro como alternativa de programación de riego, se obtuvo un promedio de 25,74 kg; mientras que, la tina y tensiómetro alcanzó 21.29 kg.

Tabla 3.

Valores de la variable peso de racimo (kg)

Semana	Tina + Tensiómetro	Cenirrómetro
1	27.06	29.81
2	25.00	28.01
3	19.08	21.52
4	11.09	14.17
5	24.35	28.12
6	29.09	32.83
7	24.05	29.11

8	22.70	25.04
9	21.23	26.40
10	17.50	21.80
11	23..39	28.68
12	20.70	26.49
13	17.00	23.90
14	21.07	28.11
15	18.07	22.04
Promedio	21.29	25.74
Varianza	20.63	20.25
Estadístico t	2.61	
P (T<=t) dos colas	0.0144	

Gonzalez, 2024

4.3.2 Diámetro del banano

Después de la limpieza del racimo, se pudo constatar con la ayuda de un calibrador, para determinar el diámetro de fruto (bajo parámetros de exportación), en 10 frutos de forma aleatoria; encontrados que en plantas con uso de tina y tensiómetro alcanzó un promedio de 3,27 cm; diferente efecto obtuvo en plantaciones con cenirrómetro que alcanzó los 4,11 cm.

Tabla 4.

Valores de la variable diámetro del fruto (cm)

Semana	Tina + Tensiómetro	Cenirrómetro
1	2.95	3.92
2	3.15	4.19
3	3.35	3.95
4	3.45	4.02
5	3.25	3.63
6	3.25	4.05
7	2.95	4.21
8	3.45	4.37
9	3.15	4.07
10	3.35	3.94
11	3.55	3.95

12	3.35	4.17
13	3.55	4.24
14	3.15	4.92
15	3.12	4.02
Promedios	3.27	4.11
Varianza	0.0009	0.0008
Estadístico t	19.63	
P (T<=t) dos colas	0.0006	

Gonzalez, 2024

4.3.3 Merma (%)

Una vez cosechado, limpiado y empacado en su respectiva caja (20 kg aprox.), se pudo constatar la merma (%) que produce los frutos obtenidos de forma aleatoria; encontrados que en plantaciones que se aplica de tina y tensiómetro alcanzó un promedio de 29%; diferente efecto obtuvo en plantaciones con cenirómetro que alcanzó los 23%.

Tabla 5.

Valores de la variable merma en banano (%)

Semana	Tina + Tensiómetro	Cenirómetro
1	0.30	0.23
2	0.28	0.24
3	0.29	0.23
4	0.31	0.22
5	0.28	0.20
6	0.29	0.22
7	0.30	0.23
8	0.31	0.23
9	0.28	0.23
10	0.30	0.22
11	0.29	0.23
12	0.30	0.22
13	0.29	0.23
14	0.29	0.23
15	0.30	0.23

Promedios	29%	23%
Varianza	0.0009	0.0008
Estadístico t	19.63	
P (T<=t) dos colas	0.0033	

Gonzalez, 2024

4.3.4 Ratio

Una vez cosechado, limpiado y empacado, se pudo constatar el ratio del banano; encontrados que en plantaciones con uso de tina y tensiómetro alcanzó un promedio de 1.12; diferente efecto mayor obtuvo en plantaciones con cenirrómetro que alcanzó los 1.24.

Tabla 6.

Valores de la variable ratio del banano

Semana	Tina + Tensiómetro	Cenirrómetro
1	1.14	1.22
2	1.08	1.25
3	1.14	1.23
4	1.11	1.26
5	1.12	1.27
6	1.17	1.24
7	1.13	1.28
8	1.13	1.21
9	1.17	1.24
10	1.12	1.23
11	1.13	1.25
12	1.08	1.24
13	1.12	1.22
14	1.09	1.26
15	1.11	1.24
Promedios	1.12	1.24
Varianza	0.001	0.001
Estadístico t	-13.93	
P (T<=t) dos colas	0.0041	

Gonzalez, 2024

5. DISCUSIÓN

Los datos obtenidos mediante el cenirrómetro se comparan con los de otro método de medición, como la tina de evaporación + tensiómetro, con el objetivo de evaluar la evaporación diaria. En este análisis, se observa que la evaporación registrada por el cenirrómetro (252.6 mm en 12 semanas) es menor que la medida en la tina de evaporación + tensiómetro (258.3 mm en 12 semanas), tal como señala el estudio de Gavilánez y Farias (2019), esta información resulta valiosa para la gestión eficiente del riego en el cultivo del banano, permitiendo ajustar las prácticas de riego según las necesidades hídricas específicas de la planta.

“En este proyecto de plantación perenne, específicamente en el cultivo de banano, se comparan los datos de evaporación durante las 12 semanas más críticas del período de octubre a diciembre. Se registró una lámina de riego semanal promedio de 21 mm utilizando un cenirrómetro, en contraste con la tina de evaporación + tensiómetro, que alcanzó 21.67 mm. Estos resultados concuerdan con el estudio realizado por Torres (2024) sobre la demanda hídrica en el cultivo de palma de aceite, otro ejemplo de plantación perenne en zonas con condiciones agroclimáticas homogéneas. En dicho estudio, se observó que la palma de aceite presenta un promedio de consumo de agua de 4.2 mm/día, con un aumento durante los meses de mayor escasez de recursos hídricos. Este hallazgo sugiere que mantener el contenido de humedad del suelo cerca o alejado de la capacidad de campo tiene un impacto significativo en el consumo de agua.

De manera similar, el presente estudio arroja resultados afines a los obtenidos por Lozano (2023), quien investigó el desempeño del sistema de riego subfoliar en distintos lotes de plantaciones de banano. Los hallazgos indican que el suelo es adecuado para este cultivo, favoreciendo el crecimiento radicular y mejorando la resistencia al estrés hídrico. La lámina de riego óptima para el banano se sitúa en 4.4 mm/día, con un aporte semanal de 25 mm mediante el método de riego por aspersión, considerando una pluviosidad de 4.5 mm/hora.

El análisis estadístico realizado en este estudio demuestra que el uso del cenirrómetro se aproxima a los valores obtenidos mediante la tina de evaporación y el tensiómetro. Esto implica que no necesariamente el uso del cenirrómetro resulta en un mejor rendimiento, lo cual difiere de los resultados previamente registrados. Los datos recopilados en esta investigación sugieren que tanto el

cenirrómetro como la tina de evaporación no afectan significativamente los resultados de producción. De hecho, se observó un mejor rendimiento y una mayor eficiencia en el uso del agua al emplear estas herramientas. En concordancia con el estudio de Fernández, et al. (2021), se concluye que la variación en la lámina de riego no influye en los resultados de producción; por el contrario, contribuye a una mejor optimización del uso del agua en el manejo de las plantaciones de banano. Además, según lo expresado por Torres (2024), la disparidad observada no necesariamente se debe a la edad del cultivo, sino más bien al régimen de humedad al que se somete cada plantación

En el análisis de las variables productivas (peso del racimo, diámetro del fruto, merma y ratio), se observó que la mayor productividad se obtuvo mediante el uso del cenirrómetro. Los resultados indican un peso promedio del racimo de 25.74 kg y un diámetro del fruto de 4.11 cm. Además, se registró una merma del 23% y ratio de 1.12. Estos hallazgos son consistentes con los expuestos por Aguilar (2021) en suelos franco arenosos. El riego adecuado y la aplicación de un tiempo de riego óptimo incrementaron el peso del racimo hasta un 30% en comparación con un riego deficitario. Esto demuestra la relevancia del agua en los procesos metabólicos y la producción de banano. Asimismo, se destaca que el intervalo de riego influye en el peso del fruto y su rendimiento, maximizando el aprovechamiento del recurso hídrico

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En las muestras localizadas correspondientes, se identificó una textura franco limosa con la siguiente composición: 18% de arena, 58% de limo y 22% de arcilla. Además, se registró un contenido de materia orgánica del 1.9%, una capacidad de campo (CC) del 33.1%, una marchitez permanente del 14.7% y una densidad aparente de 1.36 g/cm³.

Esta metodología para mejorar el rendimiento agronómico y la producción en el cultivo del banano se basó en el uso del cenirrómetro. Los resultados indican que es posible reducir los requerimientos de riego (21 mm) en el desarrollo del cultivo en el Cantón Milagro, Provincia del Guayas.

6.2 Recomendaciones

Se aconseja realizar muestreos de suelo periódicos en ubicaciones específicas para obtener referencias precisas sobre los cambios en el suelo debido al cultivo de banano. Esto permitirá identificar eficazmente las deficiencias o requerimientos del suelo.

En el sector La Violeta del cantón Milagro, se recomienda instalar un cenirrómetro para medir la evaporación diaria en milímetros y un pluviómetro para registrar la precipitación. Estos datos permitirán tomar decisiones informadas sobre la aplicación de riegos durante la época seca.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, H. (2021). Incidencia del intervalo de riego en sistema de irrigación subfoliar, aplicando fertirriego y fertilización edáfica en la producción de banano (Tesis de pregrado). *Universidad Técnica de Machala*.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *FAO*, 298.
- Álvarez, J., Fischer, G., & Vélez, J. E. (2021). Análisis de la producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el ciclo de cosechas en invernadero con diferentes láminas de riego. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 45(174), 109-121, <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1239>.
- Arce, C., Reza, J., Martínez, J., Espinosa, K., & Ramos, E. (2018). Desarrollo de un tanque evaporimétrico automatizado de bajo coste para la programación del riego en tiempo real. *XXXVI Congreso Nacional de Regos, Valladolid*.
- Argote, J. H. (2020). Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el cultivo de papa Canchan mediante riego por goteo subterráneo. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4584>.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Registro oficial 449.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2014). Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del agua. *Asamblea Nacional. R.O. Suplemento 305 de 06-ago-2014. Quito, Ecuador*.
- Bagnall, D., & al., e. (2022). Selecting soil hydraulic properties as indicators of soil health: Measurement response to management and site characteristics. *Soil Science Society of America Journal* 86(5), 1206-1226, <https://doi.org/10.1002/saj2.20428>.
- Balaji, A., Purushothaman, R., Udhayasankar, R., Vijayaraj, S., & Karthikeyan, B. (2020). Study on Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Banana Fiber-Reinforced Epoxy Composites. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion* 6(60), <https://doi.org/10.1007/s40735-020-00357-8>.

- Barreiro, C. A. (2020). Universidad Agraria del Ecuador. *Análisis del comportamiento agronómico del cultivo de tabaco bajo dos métodos de riego, finca El Palmar, El Empalme provincia del Guayas.*
- Barreiro, P. S., & Cheme, E. V. (2022). Estimación de la huella hídrica en cultivos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en CIIDEA ESPAM MFL. *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix Lopez*, <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1936>.
- Belupú, C. I. (2022). Propuesta de una plataforma de agricultura inteligente basada en IoT para el monitoreo de las condiciones climáticas del cultivo de banano (Tesis doctoral). *Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Perú*, <https://hdl.handle.net/11042/6143>.
- Caiza, J. M., & Cuchipe, L. A. (2022). Diseño agronómico e hidráulico para la implementación de un sistema de riego por aspersion en el cultivo de banano (*Mussa paradisiaca*) en el cantón La Maná recinto San Eduardo. *Universidad Técnica de Cotopaxi*, <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8592>.
- Candelario, L. E. (2021). Estudio de la producción de banano orgánico en el Ecuador con énfasis en la exportación. *Universidad Técnica de Babahoyo*, Recuperado de: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9375>.
- Cando, J. F., Espinosa, J. A., Bastidas, W. A., & Montúfar, C. L. (2024). Determinación de la brecha hídrica en la distribución de caudales a partir de la cuantificación de la demanda hídrica por uso de suelo. Estudio de caso del canal de riego Tumbaco, Pichincha, Ecuador. *Revista Siembra 11(1)*, e6264, <https://doi.org/10.29166/siembra.v11i1.6264>.
- Carrasco, A. (2022). Efecto de los incendios forestales en las propiedades del suelo (Tesis de grado). *Universidad Autónoma Chapingo*, <https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/1549>.
- Chávez, C., Limón, I., Espinoza, B., López, J. A., Bárcenas, E., & Trejo, J. (2020). Water-Use Efficiency and Productivity Improvements in Surface Irrigation Systems. *MDPI-Agronomy 10(11)*, 1759, <https://doi.org/10.3390/agronomy10111759>.
- Cisneros, E., Duarte, C., González, F., & Riverol, L. (2024). Evaluación hidráulica del aspersor de impacto modelo RC-FARM. *Revista Ingeniería Agrícola 14(1)*, <https://cu-id.com/2284/v14n1e03>.

- Cobeña, C. A. (2021). Efecto de la mecanización y fertilización en la serie de suelos Pichilingue sobre el comportamiento agronómico de plantas de maíz híbrido INIAP H-554. *Universidad Técnica de Quevedo*.
- Cruz, R., & Torres, J. (1995). Serie divulgativa No. 3: El cenirrometro. *Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña)*.
- Dávila, D. E. (2022). Evaluación técnica de un sistema de riego por aspersion para el cultivo de banano (*Musa paradisiaca*) en la Hacienda Elpaban, Ecuador. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano*, <https://bdigital.zamorano.edu/items/2d3bbee0-2cc4-42f0-a3c2-613f32e859c5>.
- ESPAC. (2024). Boletín técnico, abril 2024. *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria - ESPAC*, Recuperado de: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Boletin_tecnico_ESPAC_2023.pdf.
- Fajardo, P., & Cadenas, R. (2022). Huella de carbono del cultivo de banano (*Musa paradisiaca*) en la hacienda La Victoria, provincia de El Oro. *ProSciences: Revista De Producción, ciencias E Investigación* 6(45), 167-178, <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol6iss45.2022pp167-178>.
- Fernández, R. D., Heredia, M. R., Moreira, J. R., Apolo, J. A., Caicedo, O., & Cabrera, R. P. (2021). Efecto del riego deficitario aplicado en etapa inicial del cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) en un suelo franco. *Revista Ciencia y Tecnología* 14(1), 55-60, <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8397290.pdf>.
- Fong, L. F. (2019). Efectos de factores topográficos sobre la profundidad de suelos y la estructura vertical de su textura, capacidad de campo y almacenes de carbono en el noroeste de Baja California (Tesis de maestria). *Centro de Investigación científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California*, <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/3017>.
- Gaëtan, D., Guillaume, M., Valentin, G., Marilyne, S., & et., a. (2022). The banana genome hub: a community database for genomics in the Musaceae. *Horticulture Research* 9, uhac221, <https://doi.org/10.1093/hr/uhac221>.
- Gavilánez, F., & Farias, S. (2019). Método del Cenirrómetro como alternativa de programación de riego por aspersion en el cultivo de cacao (*Theobroma*

- cacao). *Acta Agronómica* 68, 29-33, <https://doi.org/10.15446/acag.v68n1.70370>.
- Gómez, R. A. (2021). Análisis multicriterio para determinar la fertilización del cultivo de banano (*Musa acuminata* AAA) en la hacienda La Chepa (Tesis de pregrado). *Universidad Agraria del Ecuador*.
- Gonzalez, K. R. (2024). Huella hídrica en el proceso productivo del banano (*Musa* AAA) en la hacienda "Don Segundo 2", El Triunfo, Guayas. *Universidad Agraria del Ecuador*.
- Guerrero, J. (2021). Calidad y eficiencia del agua para irrigación en los sistemas agrícolas convencionales con énfasis en los cultivos de aguacate en la región Andino Colombiana. *Universidad de Pamplona, Colombia*, <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/6186>.
- Herrera, E. A., & Prado, G. E. (2022). Evaluación de la eficiencia del uso del recurso hídrico aplicando métodos de riego convencionales y no convencionales, en cultivos de maíz Pachía (*Zea Mays*), en el distrito La Yarada - Los Palos Tacna-2021. *Universidad Privada de Tacna*, <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2620>.
- Jeensae, R., Kongsiri, N., Fluch, S., & al., e. (2021). Cultivar specific gene pool may play an important role in *Musa acuminata* Colla evolution. *Genet Resour Crop Evol* 68, 1589-1601, <https://doi.org/10.1007/s10722-020-01088-y>.
- Kumar, A., & Sarangi, A. (2022). Flow measuring devices in surface irrigation for enhancing agricultural water productivity. *Current Science* 122(10), 1135.
- Lasprilla, R., Mejia, S., Torres, E., & Mondragon, V. (2022). ¿Influyen las casas de malla en la evapotranspiración de referencia (ET_o)? *Acta Agronómica* 71(1), 47-54, <https://doi.org/10.15446/acag.v71n1.96491>.
- Lecarnaque, C. A. (2024). Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de la *Musa acuminata* - AAA piurana, 2000-2019. *Revista de Investigación Científica de la Universidad Nacional de Frontera* 2(2), 137-145, <https://aypate.revista.unf.edu.pe/index.php/aypate/article/view/49>.
- León, A., Arzube, M., Orrala, N., & Drouet, A. (2020). Efecto del riego deficitario controlado en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) utilizando la tina de evaporación calse A, en Río Verde, Santa Elena, Ecuador. *Journal of*

- Science and Research: Revista Ciencia e Investigación* 5(1), 114-124, <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7372778.pdf>.
- López, R., Fuentes, S., Poblete, C., Quintulen, V., & Medina, L. (2022). Site-Specific Evaluation of Canopy Resistance Models for Estimating Evapotranspiration over a Drip-Irrigated Potato Crop in Southern Chile under Water-Limited Conditions. *MDPI - Water* 14(13), 2041, <https://doi.org/10.3390/w14132041>.
- Lozano, J. L. (2023). Evaluación del desempeño del sistema de riego subfoliar en diferentes lotes del cultivo de banano (*Musa sp*), cantón La Troncal (Tesis de pregrado). *Universidad Agraria del Ecuador*.
- Márquez, J. (2021). Boletín Técnico Encuesta de superficie y Producción Agropecuaria Continua, mayo 2021. *INEC*, Recuperado de: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Boletin%20Tecnico%20ESPAC%202020.pdf.
- Mata, D., Suatunce, P., & Poveda, R. (2021). Análisis económico del banano orgánico y convencional en la provincia Los Ríos, Ecuador. *Revista Avances* 23(4), 419-430.
- Medina, J. (2000). Riego por goteo: teoría y práctica (p. 155). Madrid, España. *Ediciones Mundi-Prensa*.
- Méndez, D. L. (2020). Caracterización fisicoquímico del suelo y agua con fines de diseño de riego por aspersión para el cultivo de alfalfa, en la localidad de Vilcabamba, Huari, Ancash – 2018. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*.
- Naranjo, J., Vera, M., & Mora, A. (2021). Acumulaciones de hierro en agroecosistemas bananeros (Milagro, Ecuador): Una revisión bibliográfica de algunos factores que intervienen en la salud y nutrición del cultivo. *Revista Siembra* 8(2), e2680, <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2680>.
- NCBI. (2023). *Mapa de vida*. Obtenido de Centro Nacional de Información Biotecnológica NCBI: <http://lifemap-ncbi.univ-lyon1.fr/>
- Núñez, F., Escobosa, I., Cárdenas, V., Santillano, J., Ruelas, J., Preciado, P., & Díaz, J. (2020). Tensión de humedad del suelo, crecimiento, eficiencia en el uso del agua y rendimiento de maíz cultivado en el noroeste de México. *Terra Latinoamericana* 38(4), 805-815, <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.763>.

- Ojeda, A., Leod, C., Aguila, K., & Pino, M. T. (2018). Bases para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo del calafate in situ, para adaptación al manejo agronómico. *Inf. INIA Campanaike* 79, 1-6.
- Orrego, R. E. (2021). Seguimiento de las labores agronómicas del cultivo de banano Musa AAA Simmonds tipo exportación del grupo Banaexport S.A.S. *Universidad de Cordoba, Montería, Colombia*.
- Ortiz, E. D. (2020). Efecto de cuatro láminas de riego por goteo superficial y sub superficial en el rendimiento del cultivo maíz morado (zea mays l.) En el centro de investigación y experimentación – UNASAM, Cañasbamba – Yungay, 2017. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*, <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4222>.
- Ortiz, R., Tamayo, C., Chile, M., & Méndez, A. (2018). Coeficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia para el valle de Tumbaco. *Revista Siembra* 5(1), 16-25, <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1424>.
- Parra, V. J., Silva, J. S., Peña, F. R., Román, D. A., & León, J. E. (2022). Requerimientos hídricos para el cultivo de fréjol variedad Calima en Riobamba, Ecuador. *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental* 43(1), 25-37, <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v43n1/1680-0338-riha-43-01-25.pdf>.
- Peralta, G., Alvarez, C., & Taboada, M. A. (2021). Soil compaction alleviation by deep non-inversion tillage and crop yield responses in no tilled soils of the Pampas region of Argentina. A meta-analysis. *Soil and Tillage Research* 211, 105022, <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105022>.
- Reichardt, K., & Timm, L. C. (2020). The Soil as a Water Reservoir for Plants. *Soil, Plant and Atmosphere*. 1, 15-48, https://doi.org/10.1007/978-3-030-19322-5_3.
- Restrepo, J. E. (2020). Sistema de monitoreo de variables agroclimáticas para los cultivos de aguacate Hass en el Valle del Cauca (Tesis de grado). *Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium. Cali, Colombia*, <https://repository.unicatolica.edu.co/handle/20.500.12237/1937>.
- Reyes, F. A. (2023). Propuesta para el manejo del riego en fincas cacaoteras y bananeras mediante el análisis de las tasas de infiltración del suelo. *Universidad Agraria del Ecuador*.

- Rivera, R. D., Moreira, J. R., Moreira, C. G., & Cevallos, J. R. (2020). Respuesta del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L) al riego deficitario en la etapa inicial y de desarrollo en un suelo franco. *Revista ESPAMCIENCIA* 11(2), 88-94, https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i2.210.
- Sanchez, S. E. (2020). Efecto de la enmienda biocarbon+biol y sio2 en un suelo franco arenoso sobre el desarrollo vegetativo de musa sp. *Universdiad Técnica de Machala*, Recuperado de: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16148>.
- Sankaran, V., & Sabu, M. (2023). Significance of seed morphology and anatomy in the systematics of Musaceae . *OXFORD Academic - Botanical Journal of the Linnean Society* 201(1), 1-35, <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boac017>.
- Santacruz, G., & Santacruz, E. (2020). Evaluación del desempeño del riego por aspersión en lotes con cultivo de banana en Chiapas, México. *Revista Siembra* 7(2), 1-13, <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.1712>.
- Saxton, K., & Rawls, W. (2006). Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 159-1578, <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2005.0117>.
- Singh, A. (2019). Poor-drainage-induced salinization of agricultural lands: Management through structural measures. *Land Use Policy* 82, 457-463, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.032>.
- Solano, M. V. (2024). Estudio del impacto de los sistemas de riego en el desarrollo sostenible de la producción agropecuaria en la comuna Cerezal Bellavista, Santa Elena, Ecuador (Tesis de maestría). *Universidad Estatal Península de Santa Elena*.
- Tapia, C. S., Román, D. A., Guilcapi, E. D., González, K. M., & Granja, D. F. (2023). Comparación de tres métodos de riego del uso consuntivo (kc) en la Estación Experimental Tunshi. *Polo del conocimiento: Revista científico-profesional* 8(5), 1347-1367.
- Tarjuelo, J. (1999). El riego por aspersión y su tecnología (p. 33). Madrid, España. *Ediciones Mundi Prensa*.
- Torres, F. L. (2024). Zonificación de la demanda hídrica del cultivo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*. Jacq) bajo las condiciones agroclimáticas del departamento del Cesar (Tesis de maestría). *Universidad Nacional de Colombia*.

- Valera, C., Rázuri, L. R., Rosales, J. G., Jaimez, R., Proaño, J., & Mora, A. (2014). Programación y manejo del riego localizado en invernadero mediante tres métodos de estimación de la evapotranspiración en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.). *Agricultura Andina* 20, 39-52.
- Vélez, H. (2021). Determinación de las curvas de retención de humedad de un suelo mediante diferentes metodologías para su aplicación en el manejo del riego (tesis de maestría). *Universidad Politécnica de Valencia, España*, <http://hdl.handle.net/10251/177694>.
- Villazante, D. G. (2022). Diseño de un sistema de riego autónomo e inteligente con capacidad de monitorear variables climáticas. *Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia*.
- Villazón, J. A., Noris, P., Vásquez, R., Gutiérrez, G., & Cobo, Y. (2021). Coeficiente K_p del tanque evaporímetro clase "A" para la estimación de la evapotranspiración de referencia. *IDESIA* 39(3), 111-115, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000300111> .
- Yohanani, E., Frisch, A., Lukyanov, V., Cohen, S., Teitel, M., & Tanny, J. (2022). Estimating Evapotranspiration of Screenhouse Banana Plantations Using Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression Models. *MDPI - Water* 14(7), 1130, <https://doi.org/10.3390/w14071130>.

ANEXOS

Figura 3.

Ubicación geográfica del sitio experimental



Fuente: Google, 2024

Figura 4.

Diseño experimental comparativo en campo

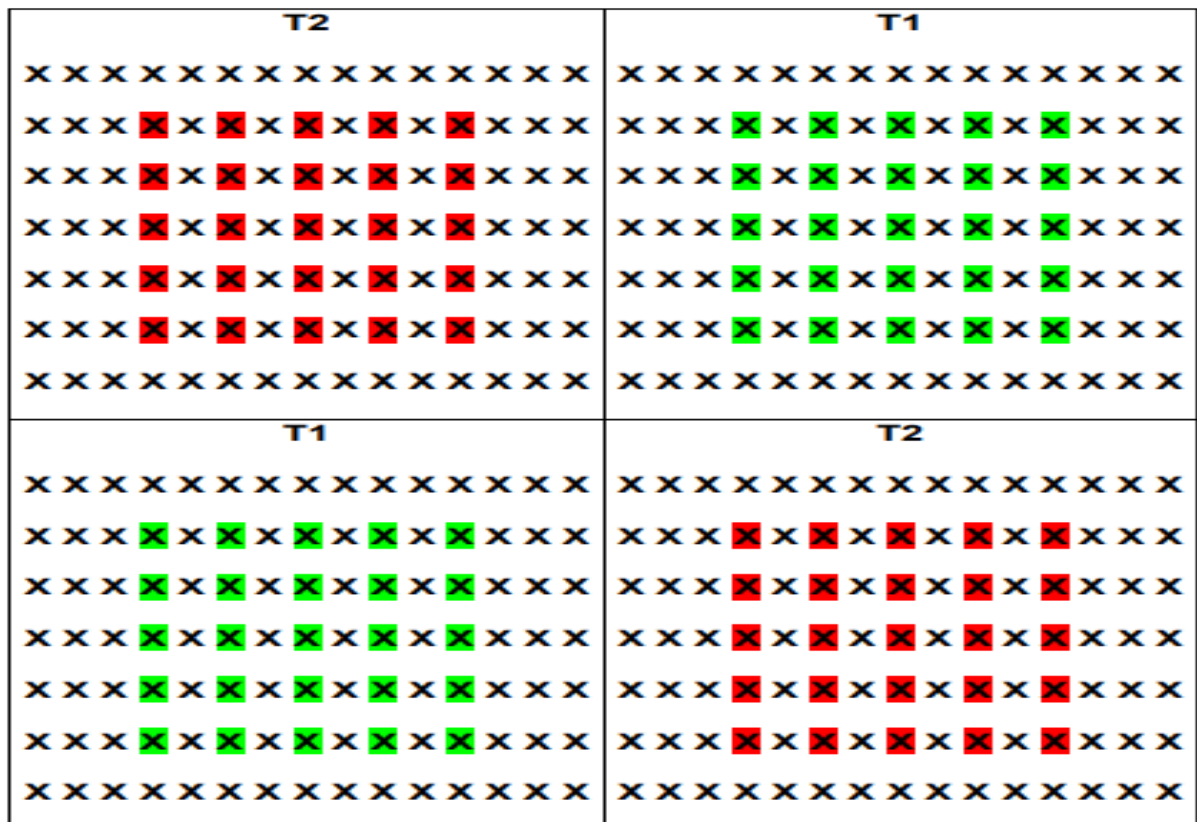


Tabla 7.

Promedios de la variable peso (kg) de racimo cosechados por planta

N°-	TINA + TENSÍOMETRO	CENIRRÓMETRO
1	27.06	29.81
2	25.00	28.01
3	19.08	21.52
4	11.09	14.17
5	24.35	28.12
6	29.09	32.83
7	24.05	29.11
8	22.70	25.04
9	21.23	26.40
10	17.50	21.80
11	23..39	28.68
12	20.70	26.49
13	17.00	23.90
14	21.07	28.11
15	18.07	22.04
PROMEDIOS	21.29	25.74

Gonzalez, 2024

Tabla 8.

Prueba t de Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales, de la variable peso de racimo.

Estadígrafo	Métodos	
	Cenirrómetro	Tina + Tensiómetro
Medias	21.29	25.74
Varianzas	20.25	20.63
Valor t	2,61	
P-valor	0,0144	

Gonzalez, 2024

Tabla 9.

Promedios de la variable diámetro de banano (cm)

N°-	TINA + TENSÍOMETRO	CENIRRÓMETRO
1	2.95	3.92
2	3.15	4.19
3	3.35	3.95
4	3.45	4.02
5	3.25	3.63
6	3.25	4.05
7	2.95	4.21
8	3.45	4.37
9	3.15	4.07
10	3.35	3.94
11	3.55	3.95
12	3.35	4.17
13	3.55	4.24
14	3.15	4.92
15	3.12	4.02
PROMEDIOS	3.27	4.11

Gonzalez, 2024

Tabla 10.

Prueba t de Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales, de la variable diámetro de banano (cm)

	TINA + TENSÍOMETRO	CENIRRÓMETRO	F calc.	F tabla
Media	3,27	4,11		
Varianza	0.037	0.081	3,80	2,48
Observaciones	15,00	15,00		
Estadístico t	-9,52			
P(T<=t) una cola	0,04			
Valor crítico de t (una cola)	1,70			
P(T<=t) dos colas	0,001			
Valor crítico de t (dos colas)	2,05			

Gonzalez, 2024

Tabla 11.

Promedios de la variable merma (%)

N°-	TINA + TENSÍOMETRO	CENIRRÓMETRO
1	0.30	0.23
2	0.28	0.24
3	0.29	0.23
4	0.31	0.22
5	0.28	0.20
6	0.29	0.22
7	0.30	0.23
8	0.31	0.23
9	0.28	0.23
10	0.30	0.22
11	0.29	0.23
12	0.30	0.22
13	0.29	0.23
14	0.29	0.23
15	0.30	0.23
PROMEDIOS	29%	23%

Gonzalez, 2024

Tabla 12.

Prueba t de Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales, de la variable merma (%)

	TINA + TENSÍOMETRO	CENIRRÓMETRO	F calc	F tabla
Media	0.294	0,226		
Varianza	0.0009	0.0008	0,71	2,48
Observaciones	15,00	15,00		
Varianza agrupada	0.0009			
Estadístico t	19,63			
P(T<=t) una cola	0,0033			
Valor crítico de t (una cola)	1,70			
P(T<=t) dos colas	0,0006			
Valor crítico de t (dos colas)	2,05			

Gonzalez, 2024

Tabla 13.

Promedios de la variable ratio del banano

N°-	TINA + TENSÍOMETRO	CENIRRÓMETRO
1	1.14	1.22
2	1.08	1.25
3	1.14	1.23
4	1.11	1.26
5	1.12	1.27
6	1.17	1.24
7	1.13	1.28
8	1.13	1.21
9	1.17	1.24
10	1.12	1.23
11	1.13	1.25
12	1.08	1.24
13	1.12	1.22
14	1.09	1.26
15	1.11	1.24

Gonzalez, 2024

Tabla 14.

Prueba t de Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales, de la variable ratio del banano

	TINA + TENSÍOMETRO	CENIRRÓMETRO	F calc	F tabla
Media	1.12	1.24		
Varianza	0.001	0.001	0,72	2,48
Observaciones	15,00	15,00		
Varianza agrupada	0.001			
Estadístico t	-13,93			
P(T<=t) una cola	0,0023			
Valor crítico de t (una cola)	1,70			
P(T<=t) dos colas	0,0041			
Valor crítico de t (dos colas)	2,05			

Gonzalez, 2024

Tabla 15.

Evaporación del mes de octubre 2023

REPORTE MENSUAL DEL 21 AL 31 DE OCTUBRE DEL 2023		
SEMANAS	FECHA	DATOS EVAPORACION
SEMANA 1	21/10/2023	0
	22/10/2023	1
SEMANA 2	23/10/2023	2
	24/10/2023	1
	25/10/2023	0
	26/10/2023	1
	27/10/2023	2
	28/10/2023	1
	29/10/2023	0
SEMANA 3	30/10/2023	2
	31/10/2023	2
Total		12

Tabla 16.

Evaporación del mes de noviembre 2023

REPORTE MENSUAL DEL 01 AL 30 DE NOVIEMBRE DEL 2023		
SEMANAS	FECHA	DATOS
		EVAPORACION
SEMANA 4	01/11/2023	0
	02/11/2023	1
	03/11/2023	2
	04/11/2023	0
	05/11/2023	1
SEMANA 5	06/11/2023	2
	07/11/2023	1
	08/11/2023	0
	09/11/2023	1
	10/11/2023	2
	11/11/2023	1
	12/11/2023	0
SEMANA 6	13/11/2023	2
	14/11/2023	2
	15/11/2023	1
	16/11/2023	1
	17/11/2023	2
	18/11/2023	0
	19/11/2023	1
SEMANA 7	20/11/2023	3
	21/11/2023	2
	22/11/2023	2
	23/11/2023	1
	24/11/2023	1
	25/11/2023	0
	26/11/2023	2
SEMANA 8	27/11/2023	1
	28/11/2023	2
	29/11/2023	2
	30/11/2023	0
TOTAL		36

Tabla 17.

Evaporación del mes de diciembre 2023

REPORTE MENSUAL DEL 01 AL 28 DE DICIEMBRE DEL 2023		
SEMANAS	FECHA	DATOS EVAPORACION
SEMANA 8	1/12/2023	1
	2/12/2023	2
	3/12/2023	2
SEMANA 9	4/12/2023	0
	5/12/2023	3
	6/12/2023	2
	7/12/2023	1
	8/12/2023	0
	9/12/2023	1
	10/12/2023	3
SEMANA 10	11/12/2023	1
	12/12/2023	0
	13/12/2023	3
	14/12/2023	2
	15/12/2023	1
	16/12/2023	1
	17/12/2023	2
SEMANA 11	18/12/2023	0
	19/12/2023	1
	20/12/2023	2
	21/12/2023	2
	22/12/2023	2
	23/12/2023	1
	24/12/2023	1
SEMANA 12	25/12/2023	0
	26/12/2023	2
	27/12/2023	0
	28/12/2023	1
	29/12/2023	1
Total		38

El intervalo de riego se lo empleó cada 3 días, una vez conociéndose le evapotranspiración se procedió a regar el módulo en el cual se llevó a cabo esta metodología.

Figura 5.

Instalación de método de tina de evaporación



Figura 6.

Observación del método de tina de evaporación



Figura 7.

Evaluación del aspersor e instalación del cenirómetro



Figura 8.

Lectura del cenirómetro



Figura 9.

Observación del cenirrómetro dentro de la plantación



Figura 10.

Lectura de evaporación



Figura 11.

Observación y peso del racimo del banano



Figura 12.

Observación del diámetro del banano



Figura 13.

Observación del diámetro y merma del banano donde se empleó cenirrómetro

