



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA
Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

Balance hídrico como medio de gestión del uso del agua para mejorar la productividad en el cultivo de banano (*Musa Paradisiaca*) en el Ecuador.

AUTOR:

Anthony Alexander Gamboa Barrio

TUTOR:

Ing. Agr. Marlon Víctor Hugo Pazos Roldán, *M.Sc.*

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

Los balances hídricos se realizan utilizando datos de precipitaciones reales o simulados e información climática para calcular las necesidades de agua de un área específica; existen diferentes tipos de balance hídrico: climático, agroclimático, hidrológico, agroforestal, de cuenca, de drenaje y de riego. La presente investigación se desarrolló como componente no experimental de carácter bibliográfico, mediante una técnica de análisis, síntesis y resumen de la información obtenida. Por lo anteriormente detallado se determinó que el balance hídrico permite la integración de variables climáticas para determinar las necesidades de riego durante un período de tiempo con el fin de planificar, diseñar u operar la disponibilidad de agua en un área determinada. El balance hídrico es uno de los aspectos más importantes, ya que afecta directamente al crecimiento y desarrollo del cultivo de banano. Los factores que afectan el equilibrio hídrico del cultivo de banano son diversos y varían según la región y la época del año; dos de los principales factores son: la precipitación y la temperatura. Para determinar el balance hídrico es necesario conocer el aporte de agua (de riego (R), medido en volumen) y el rendimiento hídrico del cultivo (evapotranspiración estimada (ETc), pérdida de agua) por evaporación de cualquier superficie de evapotranspiración más la transpiración del cultivo de banano y a través del drenaje (D), la cantidad de agua que se filtra en el suelo por gravedad. La cantidad de agua requerida para el ideal crecimiento y buen desarrollo de los órganos en el cultivo del banano, son láminas de 2000 mm de ancho, teniendo en cuenta la temperatura promedio de 27 grados, la cantidad promedio de riego diario es de 5.5 mm.

Palabras claves: Evapotranspiración, coeficiente de cultivo, riego, banano

SUMMARY

Water balances are performed using real or simulated precipitation data and climate information to calculate the water needs of a specific area; There are different types of water balance: climatic, agroclimatic, hydrological, agroforestry, basin, drainage and irrigation. This research was developed as a non-experimental component of a bibliographic nature, through a technique of analysis, synthesis and summary of the information obtained. From what was previously detailed, it was determined that the water balance allows the integration of climatic variables to determine irrigation needs during a period of time in order to plan, design or operate the availability of water in a given area. The water balance is one of the most important aspects, since it directly affects the growth and development of the banana crop. The factors that affect the water balance of banana cultivation are diverse and vary depending on the region and time of year; Two of the main factors are: precipitation and temperature. To determine the water balance, it is necessary to know the water contribution (irrigation (R), measured in volume) and the water yield of the crop (estimated evapotranspiration (ET_c), water loss) due to evaporation of any evapotranspiration surface plus transpiration. of the banana crop and through drainage (D), the amount of water that seeps into the soil by gravity. The amount of water required for the ideal growth and good development of the organs in banana cultivation is 2000 mm wide sheets, taking into account the average temperature of 27 degrees, the average amount of daily irrigation is 5.5 mm.

Keywords: Evapotranspiration, crop coefficient, irrigation, banana

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.5. Objetivo general.....	3
1.6. Objetivos específicos.....	3
1.7. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	3
2. DESARROLLO.....	4
2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	4
2.1.1. Necesidades hídricas del cultivo de banano.....	4
2.1.2. Estrategias de manejo eficiente del agua en el cultivo de banano.....	6
2.1.3. Balance hídrico.....	6
2.1.3.1. Importancia del balance hídrico en el cultivo de banano	6
2.1.3.2. Factores que influyen en el balance hídrico en el cultivo de banano.....	7
2.1.3.3. Principales parámetros del balance hídrico para mejorar la productividad en el cultivo de banano.....	9
2.1.3.3.1. Precipitación: P	9
2.1.3.3.2. Evapotranspiración de referencia: ETo.....	10
2.1.3.3.3. Coeficiente del cultivo: Kc.	11
2.1.3.3.4. Evapotranspiración del cultivo: ETc.....	12
2.1.3.4. Estimación de necesidades hídricas del cultivo de banano.....	13
2.1.3.5. Metodologías para estimar el balance hídrico	14
2.1.3.5.1. Ecuación de Penman-Ponteith (PME)	15

2.2	METODOLOGÍA	16
2.3.	RESULTADOS.....	17
2.4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	18
3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	19
3.1.	CONCLUSIONES	19
3.2.	RECOMENDACIONES.....	20
4.	REFERENCIAS Y ANEXOS	21
4.1.	REFERENCIAS	21
4.2.	ANEXOS	26

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Coeficiente del cultivo de banano según la FAO.....	13
Tabla 2. Necesidades hídricas del cultivo de banano en la zona de Babahoyo.....	14

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Cultivo de banano.....	26
Figura 2. Riego por aspersión en el cultivo de banano.....	26
Figura 3. Estrés hídrico en el cultivo de banano.....	27
Figura 4. Evapotranspiración en el cultivo de banano.....	27

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El banano (*Musa Paradisiaca*) es originario de Asia y su producción está muy extendida en todas las regiones tropicales y algunas subtropicales del mundo; tiene importancia económica y social en más de 80 países; Ecuador es uno de los mayores productores y exportadores de banano del mundo, debido al enorme volumen de ventas, este rubro de ventas ha traído importantes ingresos al país, y el producto se cita como la principal fuente de divisas del país, después del petróleo (Casquete 2022).

Ecuador es considerado el líder mundial en la producción y exportación de banano, y según la Asociación Ecuatoriana de Exportadores de Banano, el país exporto 300 millones de cajas de banano para 2023, representando la Unión Europea el 26,67 % de la exportación mundial, posicionándose como principal destino de exportación (Macias 2022).

Las zonas agrícolas tropicales a menudo se caracterizan por una alternancia anual de períodos húmedos y secos y un desajuste entre las precipitaciones y las necesidades de agua de los cultivos; un déficit de agua ocurre cuando la cantidad de agua que ingresa por precipitación es menor que la cantidad total de agua perdida por evaporación de la superficie del suelo y transpiración de las plantas; en este caso, la planta responde utilizando limitaciones específicas en el área foliar, cambios en el crecimiento de las raíces, cierre de estomas, regulación osmótica a nivel celular y modificación genética como respuesta molecular (Pérez y Domínguez 2019).

La determinación de las necesidades de agua del cultivo de banano es el primer paso para establecer la cantidad de agua necesaria para el riego; estos requisitos se logran mediante el balance hídrico (Monge *et al.* 2022).

El cultivo de banano siempre debe tener un suministro de agua adecuado, ya que, si el suministro de agua es insuficiente, la reacción fotosintética no se lleva a cabo satisfactoriamente, lo que resulta en un llenado insuficiente del fruto y pérdida de rendimiento debido al bajo contenido de humedad. El banano es una

planta que mantiene un ritmo de crecimiento sostenido en condiciones favorables de temperatura y precipitaciones; los sistemas de riego aseguran que los cultivos continúen con sus procesos fisiológicos normales durante los períodos de sequía para que los rendimientos no disminuyan (Villazón 2021).

Para un uso eficiente del agua dentro del cultivo de banano se pueden utilizar métodos de riego como aspersión foliar, riego por goteo o riego por gravedad; el sistema de riego elegido depende de los recursos y tecnologías disponibles en la finca, así como de otros aspectos como la humedad, la infiltración de bases, la evaporación y el potencial de balance hídrico (Aguilar 2021).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, el impacto ambiental de la agricultura lo provoca el uso del agua de riego; este recurso natural es cada vez más escaso a medida que aumenta la superficie de cultivos de regadío y aumentan las fuentes de suministro; la falta de agua se agrava en la estación seca, cuando las precipitaciones no superan los 100 mm (Aguilar 2021).

El escaso conocimiento de los productores bananeros sobre el balance hídrico como medio de gestión del uso del agua para mejorar la productividad en el cultivo de banano, ha desencadenado una serie de problemas en la implementación de programas de riego, haciendo menos eficiente los recursos hídricos disponibles, no conociendo de forma precisa la cantidad de agua por planta o área de cultivo, los intervalos y tiempos de riego; en donde para incrementar los índices de producción se debe aplicar de forma eficiente la lamina de agua, de manera que se disminuya al máximo el volumen aplicado generando incrementos en la rentabilidad del cultivo de banano.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Es muy importante establecer la relación entre las precipitaciones y las actividades agrícolas mediante un balance hídrico, comparando la precipitación media mensual con estimaciones de la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades del cultivo de banano; el estudio del balance hídrico con una

valoración preliminar general permite planificar, en el marco de la tecnología de los cultivos, actuaciones de riego encaminadas a satisfacer las necesidades mencionadas y obtener un rendimiento agrícola suficiente.

En el cultivo de banano es necesario conocer las necesidades de agua para su normal desarrollo y producción; para describir su efecto sobre los parámetros agronómicos (un componente básico de la planificación del riego), se debe introducir el estrés hídrico, caracterizado por un calendario de riego.

Este trabajo va dirigido a los agricultores y productores en general, ya que es importante que tengan los conocimientos necesarios para determinar el balance hídrico como medio de gestión del uso del agua para mejorar la productividad en el cultivo de banano (*M. acuminata*) en el Ecuador.

1.4. OBJETIVOS

1.5. Objetivo general

Caracterizar información sobre el balance hídrico como medio de gestión del uso del agua para mejorar la productividad en el cultivo de banano (*M. acuminata*) en el Ecuador.

1.6. Objetivos específicos

- Detallar la importancia del balance hídrico en el uso del agua.
- Describir los principales parámetros del balance hídrico para mejorar la productividad en el cultivo de banano.

1.7. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- **Dominio:** Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología.
- **Líneas de investigación:** Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentables.
- **Sublínea:** Agricultura sostenible y sustentables.

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Necesidades hídricas del cultivo de banano

Para establecer un cultivo de banano es necesario conocer las necesidades de agua para su normal desarrollo y producción; se introduce el estrés hídrico, representado por un plan de riego, que permite describir su efecto sobre los parámetros agronómicos, lo cual es parte esencial de la planificación del riego; la evapotranspiración (ET) es un parámetro muy importante a la hora de calcular los requerimientos hídricos de los cultivos; este parámetro constituye la base del diseño agronómico de cualquier sistema de riego y se utiliza para determinar las dimensiones de las redes de canales, redes de tuberías y embalses; además, ayuda a planificar el funcionamiento del sistema de riego (calendario y turnos de riego) y permite planificar la gestión del recurso hídrico (Doorenbos y Pruitt 2020).

La estimación de K_c en función del clima local, la variedad y las condiciones de manejo del riego del banano ayudará a mejorar la planificación del riego y la eficiencia del uso del agua, logrando así buenos rendimientos; por lo tanto, el uso de lisímetros además de los requerimientos hídricos del banano, el uso racional y la disponibilidad de agua en el suelo proporcionarán información útil para estimar la evapotranspiración (ET_c) del cultivo y cuantificar K_c a lo largo del ciclo del cultivo; esta tendencia está impulsada por el cambio climático, el crecimiento demográfico y la alta demanda agrícola de agua (Turner *et al.* 2017).

El consumo de agua de las plantas aumenta a medida que crecen; durante las primeras ocho semanas de crecimiento del cultivo en la etapa de plántula (V1) y en la etapa de germinación (V2), el requerimiento de agua es constante en aproximadamente 11,3 mm por semana. En la extensión de entrenudo inicial (V3), el consumo se mantiene en 10.4 mm, pero a partir de la semana 18 después de la siembra el consumo de agua aumenta a 13.1 mm. A medida que la planta entra en la etapa reproductiva, el consumo aumenta gradualmente. En la etapa de floración temprana (R4) el consumo promedio es de 20.8 mm semanales y en la etapa R5 (desarrollo de bellota) el consumo promedio es de 27.3 mm semanales; el mayor

consumo se alcanza en la semana 34 a 45, durante la etapa de floración el consumo promedio es de 26,5 mm semanales. Este es el momento en que la escasez de agua es más limitante (Arteaga *et al.* 2019).

Los mismos autores consideran que este comportamiento considera que el período de desarrollo de inflorescencia-floración-fruto es el de mayor consumo de agua. A partir de la semana 46, el consumo de agua disminuye ligeramente con un consumo promedio de agua semanal de 24,3 mm, mientras que la planta requiere un promedio de 20 mm semanales durante la fase de llenado de parcela. Finalmente, si el racimo permanece más tiempo en la planta y madura allí, el consumo de agua semanal es de 22,8 mm. El requerimiento de agua más bajo fue en la semana 9, que fue de 8,79 mm, y el más alto en la semana 41, que fue de 29,4 mm.

La mayor cantidad de agua es necesaria en las etapas: inicio de floración (R4), desarrollo de bellotas (R5), floración (R6) e inicio de formación de racimos (R7); estas etapas son muy importantes porque de su adecuado desarrollo dependerá el rendimiento del cultivo. Desde la etapa de siembra hasta la etapa de bellota, el requerimiento hídrico del cultivo es de 640,5 mm y desde la etapa de bellota hasta la cosecha, el requerimiento hídrico disminuye a 500,1 mm (Cigales y Pérez 2020).

Las necesidades de agua no cambian con el tiempo, ya que se necesitan diferentes cantidades de agua según la etapa de desarrollo de la planta; a medida que la planta crece, la necesidad de agua aumenta gradualmente; el periodo de floración es el periodo de mayor consumo de agua; en lo que respecta a la falta de agua, esa es la mayor limitación. Este comportamiento está asociado a un aumento del área foliar de la planta y a un aumento del número de yemas a lo largo del tiempo, iniciándose la formación de yemas unos tres meses después de la siembra, lo que determina un sistema radicular más abundante (Najafi 2021).

La cantidad de agua requerida para el ideal crecimiento y buen desarrollo de los órganos en el cultivo del banano, se deben utilizar láminas de 2000 mm de ancho, teniendo en cuenta la temperatura promedio de 27 grados, la cantidad promedio de riego diario es de 5.5 mm (Macias 2022).

2.1.2. Estrategias de manejo eficiente del agua en el cultivo de banano

Padro (2021) expresa que las plantas de banano son sensibles al déficit hídrico durante todo su ciclo de vida; por lo tanto, el riego es uno de los medios más poderosos para prevenir la pérdida de rendimiento. A continuación, se mencionan varias estrategias eficaces de gestión del agua:

- Condiciones hídricas del suelo: determinadas por la resistencia eléctrica (bloques de yeso o nailon enterrados en el suelo), radioactividad (sonda de neutrones) y potencial métrico (tensímetro). Este último es el instrumento más común y utilizado debido a su economía y facilidad de ejecución.
- Balance hídrico: Se calcula a partir de la cantidad de agua aportada por las precipitaciones y la cantidad de agua que se evapora de los cultivos. La evaporación del cultivo se calcula multiplicando la evapotranspiración de referencia * Kc

2.1.3. Balance hídrico

Los balances hídricos se realizan utilizando datos de precipitaciones reales o simulados e información climática para calcular las necesidades de agua de un área específica; existen diferentes tipos de balance hídrico: climático, agroclimático, hidrológico, agroforestal, de cuenca, de drenaje y de riego (Amaya 2019).

El mismo autor menciona que el balance es una evaluación del volumen de entrada y salida de agua del sistema para determinar su disponibilidad. Para determinar el balance hídrico es necesario conocer el aporte de agua (de riego (R), medido en volumen) y el rendimiento hídrico del cultivo (evapotranspiración estimada (ETc), pérdida de agua) por evaporación de cualquier superficie de evapotranspiración más la transpiración de la vegetación existente y a través del drenaje (D), la cantidad de agua que se filtra en el suelo por gravedad

2.1.3.1. Importancia del balance hídrico en el cultivo de banano

El balance hídrico en la agricultura es un concepto básico que denota la cantidad de agua necesaria para el crecimiento y desarrollo de las plantas en comparación con la cantidad de agua disponible en el suelo. Este equilibrio se calcula como la diferencia entre la cantidad de agua que entra al suelo (precipitación y riego) y la cantidad de agua que sale del suelo (evaporación y escorrentía) (Botey 2019).

A nivel nacional, los recursos hídricos se ven gravemente afectados por la presión humana y su disponibilidad (cantidad y calidad) se está deteriorando cada vez más, estos factores estresantes son esencialmente la sobreexplotación de los acuíferos, la descarga de contaminantes en cuerpos de agua, cambios en el uso de la tierra como la deforestación, prácticas agrícolas inapropiadas y una mayor urbanización de las zonas de captación (Castañeda *et al.* 2018).

Los mismos autores mencionan que la observación del balance hídrico en la producción del cultivo de banano es importante porque permite determinar la cantidad de agua necesaria para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas; si no hay suficiente agua en el suelo, las plantas pueden sufrir escasez de agua, lo que resulta en una reducción del rendimiento y la calidad; por otro lado, cuando se añade un exceso de agua, se puede producir una lixiviación de nutrientes y contaminantes, lo que afecta negativamente al medio ambiente.

Es importante recordar que el balance hídrico en el cultivo de banano se ve afectado no sólo por la cantidad de agua disponible en el suelo, sino también por factores como la temperatura, la humedad y la radiación solar; por lo tanto, se debe monitorear periódicamente el balance hídrico y ajustar el riego para garantizar un uso eficiente del agua agrícola (Cisneros *et al.* 2020).

2.1.3.2. Factores que influyen en el balance hídrico en el cultivo de banano

Los factores que influyen en el balance hídrico en el cultivo de banano incluyen:

1. **Clima:** Los requerimientos hídricos del banano varían según la ubicación y el clima. Por ejemplo, en áreas con climas más cálidos, el banano puede requerir más agua debido a la evaporación y transpiración más intensas.
2. **Etapas de desarrollo:** Las plantas de banano tienen diferentes requerimientos hídricos a lo largo de su ciclo de vida. La floración es la época de mayor consumo de agua, ya que las plantas requieren más agua para el crecimiento y desarrollo.
3. **Crecimiento vegetal:** El banano es una planta perenne y sus raíces se extienden a lo largo del tiempo, lo que afecta el balance hídrico. Con el tiempo, la transpiración se convierte en el proceso principal de pérdida de agua, mientras que en las primeras etapas del cultivo, la evaporación directa del suelo es más importante.
4. **Manejo agronómico:** El riego, la fertilización y la gestión de la tierra pueden afectar el balance hídrico en el cultivo de banano. Por ejemplo, un riego adecuado y regular puede ayudar a mantener el suelo húmedo y asegurar el crecimiento y desarrollo de la planta.
5. **Condiciones de estrés hídrico:** Las condiciones de estrés hídrico, como sequías o inundaciones, pueden afectar el balance hídrico en el cultivo de banano. Las plantas pueden restringir el consumo de agua en condiciones de estrés hídrico, lo que puede disminuir la evapotranspiración. Castaño *et al.* (2012)
6. **Cambio climático:** El cambio climático puede afectar el balance hídrico en el cultivo de banano, ya que puede cambiar la disponibilidad de agua en el suelo y las condiciones de crecimiento de la planta.

Para determinar el balance hídrico en el cultivo de banano, es importante medir la evapotranspiración, que es la pérdida de agua por evaporación directa del suelo y transpiración de las plantas. Se pueden utilizar diferentes métodos para calcular la evapotranspiración, como el balance de agua o modelos de simulación Suelo-Agua-Planta-Atmósfera.

2.1.3.3. Principales parámetros del balance hídrico para mejorar la productividad en el cultivo de banano

Mongue *et al.* (2022) expresan que existen algunos parámetros del balance hídrico que deben ser considerados para mejorar la productividad en el cultivo de banano; donde el balance hídrico simplificado se calcula como se presenta en la siguiente ecuación:

$$P = ET + \Delta HS + I + E$$

Donde:

P= Precipitación (mas riego, si se suministra)

ET: Evapotranspiración

ΔHS = Cambios de la humedad del suelo: (humedad final-humedad inicial)

J= Infiltración de las capas profundas

E= Escorrentía

2.1.3.3.1. Precipitación: P

La precipitación representa la mayor parte del suministro total de agua al suelo. Parte del agua que cae a la superficie del suelo es recogida por la vegetación (corte de hojas), parte penetra y se integra en la capa de raíces, parte penetra debajo de las raíces del cultivo y la otra parte fluye a través de las raíces del cultivo. La proporción de agua retenida en la capa radicular que se almacena en el área para su evaporación del sistema planta-suelo depende de las características del terreno que recoge el agua (condiciones físicas y químicas del suelo, humedad, cobertura, pendiente) y las características de las precipitaciones (altitud, intensidad, duración y frecuencia). Esta parte de la precipitación se llama precipitación efectiva (Aguilar 2021).

La precipitación efectiva (P_e) se refiere a la precipitación útil o disponible, que es la porción de la precipitación total que satisface directamente las necesidades hídricas de los cultivos; la intensidad o cantidad de precipitación recibida puede no ser útil o deseable en un momento dado; un componente puede ser funcional mientras que otro puede tener un impacto negativo en el medio ambiente. Por lo tanto, los cálculos deben tener en cuenta la precipitación efectiva (P_e), que es igual a la precipitación (P) multiplicada por un factor menor que 1. La P_e se puede calcular a partir de datos sobre la tasa de infiltración y la intensidad de la lluvia (ambas variables son funciones del tiempo), o utilizando ecuaciones específicas de eventos proporcionadas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (Pérez y Domínguez 2019).

$$P_e = (1,25247 * P_t^{0,82416} - 2,93522) * 10^{0,00095U} * f(2)$$

Donde:

P_e = Precipitación efectiva mensual (mm)

P_t = Precipitación total mensual (mm)

U = Uso consuntivo medio mensual

$$f = 0,531747 + 0,011621 * \Delta s - 8,9 \times 10^{-5} * \Delta s^2 + 2,3 \times 10^{-7} * \Delta s^3$$

2.1.3.3.2. Evapotranspiración de referencia: ETo

Esto corresponde a la evaporación del agua del suelo y a la evaporación del agua de las plantas; la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que ocurre en ausencia de limitación de agua se denomina tasa de evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo); la superficie de referencia corresponde a un hipotético cultivo herbáceo en óptimas condiciones fitosanitarias y nutricionales con una altura uniforme de 0,12 m, una resistencia superficial fija de 70 s m⁻¹, un albedo de 0,23, crecimiento activo y sombreado completo del suelo; una resistencia superficial fija de 70 s m⁻¹ significa que el suelo está completamente regado hasta la capacidad de campo (Mazatenango 2019).

El mismo autor menciona que la ETo es la cantidad de agua evaporada del suelo completamente cubierto por un cultivo hipotético, donde se hace referencia a la cantidad de agua evaporada que se produce en una gran superficie cubierta por pasto en crecimiento activo de 0,08 a 0,15 m, donde cubre completamente la superficie del suelo en crecimiento activo y suficiente riego.

Actualmente, existen muchos métodos para la determinación de ETo, incluidos los métodos directos: el método del lisímetro y el método del balance hídrico por gravedad. Método indirecto utilizando la fórmula de Thomthwaite Blancney. Criddle y Penman-Montis, el primero por su implicación, el segundo por la sencillez y precisión del primero, y el tercero por su contribución científica y aceptación (Salmeron 2018).

La evaporación se expresa en milímetros (mm) por unidad de tiempo; esta unidad representa la cantidad de agua que se pierde en la tierra cultivada en unidades de altura del agua; la unidad de tiempo puede ser 1 hora, 1 día, 10 días, 1 mes o incluso todo el período o año de crecimiento (Castaño *et al.* 2019).

2.1.3.3.3. Coeficiente del cultivo: Kc.

El coeficiente de rendimiento (Kc) es un parámetro importante para la planificación del riego y la asignación de agua; las curvas de coeficiente de rendimiento proporcionan un método simple y repetible para estimar la evapotranspiración (ET) de los cultivos a partir de valores climáticos de referencia; Kc puede definirse como la relación entre la evapotranspiración real del cultivo y la evapotranspiración del cultivo; este indicador proporciona una mejor estimación de la evaporación diaria de los cultivos porque considera la evaporación del suelo y la transpiración de los cultivos por separado; este método permite planificar adecuadamente los calendarios de riego, especialmente para cultivos que no cubren completamente el suelo, ya que la evaporación desde la superficie del suelo puede ser elevada. donde varía según el período de desarrollo de la planta y el clima y depende de la medida en que la planta obtiene agua del suelo según la tendencia de la planta al crecimiento vegetativo (Solano 2019).

Toro *et al.* (2018) mencionan que los efectos combinados de la transpiración de los cultivos y la evaporación del suelo se integran en coeficientes de rendimiento individuales; el coeficiente único de cultivo (K_c) combina los efectos promedio de las características del cultivo y la evaporación del suelo como se muestra en la siguiente Ecuación:

$$K_c = E_{Tc} / E_{To}$$

Donde:

E_{Tc} = *Evapotranspiración real del cultivo*

E_{To} = *Evapotranspiración de referencia*

Algunos factores que influyen en los valores de K_c son: (1) diferencias en la morfología de la planta, que afecta la captura de luz y la resistencia aerodinámica, (2) fisiología de la planta, incluidos efectos sobre el número de estomas, la distribución y la respuesta al medio ambiente, (3) efectos de sobre la humedad del suelo Sistemas de riego distribuido, (4) frecuencia de riego y lluvia, y (5) intercepción de rocío y condensación (neblina) que afectan la persistencia del dosel (Martínez 2020).

2.1.3.3.4. Evapotranspiración del cultivo: E_{Tc}

Implica la evaporación de cualquier cultivo cuando está libre de enfermedades, el fertilizante está bien manejado, se cultiva en una gran parcela de tierra, en condiciones óptimas de suelo y agua, y da el máximo rendimiento según las condiciones climáticas; comprender la evapotranspiración de los cultivos (E_{Tc}) es esencial para comprender una buena y eficaz gestión del riego, ajustando la cantidad y frecuencia del riego a las necesidades de los cultivos, un buen manejo de los cultivos nos brinda altos rendimientos y los mejores tipos de cultivos. Los productos de la cosecha permiten un uso racional del agua y la energía (Montenegro *et al.* 2019).

Simbaña (2022) manifiesta que la evapotranspiración del cultivo (ETc) es la cantidad total de agua que se pierde en forma de vapor de agua a través de la superficie del cultivo; la evapotranspiración es la suma de la evaporación de la superficie del suelo y la evaporación de las plantas; la ETc representa la evapotranspiración de un cultivo libre de enfermedades, bien fertilizado, cultivado en el campo en condiciones óptimas de humedad del suelo y que logra un rendimiento total en condiciones climáticas específicas. La fórmula de cálculo de la ETc es la siguiente:

$$ETc = Kc * ETo$$

Donde:

KC= Coeficiente del cultivo

ETo= Evapotranspiración de referencia

Tabla 1. Coeficiente del cultivo de banano según la FAO

Edad del cultivo Semanas	Coeficiente del cultivo
1	0.50
2	0.50
3	0.50
4	0.50
5	0.50
6	0.50
7	0.50
8	0.53
9	0.57
10	0.62
11	0.67
12	0.71
13	0.76
14	0.81
15	0.85
16	0.90

Fuente: Simbaña (2022).

2.1.3.4. Estimación de necesidades hídricas del cultivo de banano

Para determinar las necesidades hídricas del cultivo de banano en las fases de producción del racimo mediante el uso de la herramienta Cropwat, se considera los datos de la estación meteorológica de los últimos 10 años perteneciente a la zona

En la tabla 2 se detallan las 12 semanas de estudio con las necesidades hídricas en milímetros de lluvia para la obtención de racimo.

Tabla 2. Necesidades hídricas del cultivo de banano en el Ecuador

				Cultivo:	Banano		Almacenamiento	Precipitación aspersor
Periodo	Fecha	Eto	Eto x Int	Kc	Etc	Riego	18.1	4.66
1	Mayo	3.61	25.30	1.05	26.56	9.32	0.86	6.99
2	Mayo	3.41	23.90	1.05	25.09	25.63	1.39	9.32
3	Mayo	2.24	15.70	1	15.70	16.31	2.00	11.65
4	Mayo	4.23	29.60	1	29.60	27.96	0.36	13.98
5	Junio	2.07	14.50	1	14.50	16.31	2.17	16.31
6	Junio	4.13	28.90	1	28.90	27.96	1.23	18.64
7	Junio	2.06	14.40	1	14.40	13.98	0.81	20.97
8	Junio	2.06	14.40	1	14.40	13.98	0.39	23.30
9	Julio	4.21	29.50	1	29.50	30.29	1.18	25.63
10	Julio	2.16	15.10	1.05	15.85	16.31	1.64	27.96
11	Julio	4.21	29.50	1.05	30.97	30.29	0.96	30.29
12	Julio	2.16	15.10	1.05	15.85	16.31	1.41	32.62
Intervalo =		7 días		Sumatoria =	261.34	262.75		

Fuente: (Caicedo, Balmaseda, & Proaño, 2015)

2.1.3.5. Metodologías para estimar el balance hídrico

Un balance hídrico permite la integración de variables climáticas para determinar las necesidades de riego durante un período de tiempo con el fin de planificar, diseñar u operar la disponibilidad de agua en un área determinada (FONTAGRO 2023).

Para estimar el balance hídrico se debe calcular la evapotranspiración, la cual se realiza mediante diversos métodos: Holdridge, Budyko, Ivanov, Lorry and Johnson, Papadakis, Thornthwaite, Linacre, Makkink, Turc, Harvgreaves,

Christiansen y Penman; dado que la evapotranspiración de algunos cultivos altos es mayor que la ETp (por ejemplo, en regiones áridas y semiáridas), el concepto de evapotranspiración de cultivos de referencia (ETo) debe introducirse utilizando la ecuación de Penman-Monteith (Caicedo *et al.* 2015).

2.1.3.5.1. Ecuación de Penman-Ponteith (PME)

La ecuación de Penman-Monteith ha sido ampliamente evaluada y aceptada por la comunidad científica nacional e internacional porque proporciona el error estándar más bajo y es la ecuación más adecuada para diferentes latitudes y condiciones climáticas, proporcionando valores que corresponden a los datos realmente utilizados para la cantidad de agua utilizada por los cultivos en diferentes latitudes (González *et al.* 2019).

Esta ecuación supera las deficiencias de los métodos anteriormente sugeridos, combina parámetros fisiológicos y aerodinámicos, e incluso los procedimientos para su uso se desarrollan con pequeños datos climáticos, que básicamente requieren información sobre las siguientes variables climáticas: temperatura del aire, humedad relativa o presión de vapor, velocidad del viento y radiación solar o solar (Allen *et al.* 2019).

El uso del método Penman-Monteith proporciona resultados satisfactorios para calcular el efecto del clima sobre la demanda de agua de los cultivos al definir con precisión un componente fundamental del balance hídrico llamado evapotranspiración de referencia del cultivo (ETc) (Correa 2020).

Para determinar el requerimiento hídrico del cultivo en condiciones de ETc se debe tener en cuenta el coeficiente característico del cultivo (Kc); el enfoque del modelo Penman-Monteith incluye todos los parámetros de intercambio de energía y flujo de calor (evaporación) para grandes áreas de vegetación homogénea; la mayoría de estos han sido medidos o pueden calcularse fácilmente a partir de datos meteorológicos; por lo tanto, el método FAO Penman-Monteith es el más adecuado para determinar la referencia de ETo para la evapotranspiración, se recomienda obtener resultados relativamente precisos y consistentes tanto en climas secos como húmedos (Cleves *et al.* 2019).

El método Penman-Monteith se incorporó a los modelos de simulación de cultivos agroclimáticos CropWat v 8.0 y Aqua-Crop para calcular las necesidades de agua de los cultivos, el rendimiento esperado y el porcentaje de reducción del rendimiento en función de las condiciones climáticas o meteorológicas locales; estos métodos se basan en las características del cultivo, las propiedades hidrofísicas del suelo y el manejo agronómico (Villazón *et al.* 2021).

2.2 METODOLOGÍA

Para la elaboración del documento bibliográfico se recopiló información de textos actualizados, bibliotecas virtuales, revistas, páginas web y artículos científicos que contribuyeron con el desarrollo de la investigación sobre el balance hídrico como medio de gestión del uso del agua para mejorar la productividad en el cultivo de banano (*M. acuminata*) en el Ecuador.

La presente investigación se desarrolló como componente no experimental de carácter bibliográfico, mediante una técnica de análisis, síntesis y resumen de la información obtenida.

2.3. RESULTADOS

En el cultivo de banano, el equilibrio hídrico es fundamental para garantizar un desarrollo y producción óptimos. El manejo adecuado del agua se convierte en un componente esencial de la planificación del riego, ya que afecta directamente los parámetros agronómicos clave. El estrés hídrico, resultado de un desequilibrio entre la oferta y la demanda de agua, debe ser considerado cuidadosamente al establecer un calendario de riego.

Los balances hídricos son herramientas fundamentales utilizadas para evaluar las necesidades de agua de un área específica. Estos balances, que pueden ser climáticos, agroclimáticos, hidrológicos, agroforestales, de cuenca, de drenaje o de riego, se basan en datos de precipitación real o simulada, así como en información climática, para calcular la cantidad de agua disponible para el cultivo.

La importancia del balance hídrico en el cultivo de banano radica en su influencia directa en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Un balance hídrico positivo indica que hay suficiente agua disponible para mantener el crecimiento saludable de los cultivos. Por otro lado, un balance hídrico negativo puede conducir a pérdidas de cosechas y reducción de rendimientos, debido a la falta de agua.

Entre los parámetros clave del balance hídrico que deben ser considerados para mejorar la productividad en el cultivo de banano se encuentran la precipitación efectiva, que determina la cantidad de agua que realmente llega al suelo; la evapotranspiración de referencia, que representa la pérdida de agua del suelo debido a la evaporación y la transpiración de una superficie vegetada; el coeficiente de cultivo, que ajusta la evapotranspiración de referencia para tener en cuenta las características específicas del cultivo de banano; y la evapotranspiración del cultivo, que indica la cantidad de agua que realmente utiliza el cultivo durante su crecimiento y desarrollo. Estos parámetros son fundamentales para diseñar estrategias de riego eficientes y maximizar la productividad del cultivo de banano.

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La investigación sobre el balance hídrico como medio de gestión del uso del agua para mejorar la productividad en el cultivo de banano en Ecuador ha arrojado resultados significativos que destacan la importancia de este enfoque en la agricultura sostenible. En primer lugar, se ha demostrado que las plantas de banano son altamente sensibles al déficit hídrico a lo largo de su ciclo de vida, lo que resalta la necesidad de un adecuado manejo del riego para prevenir la pérdida de rendimiento. De acuerdo con los hallazgos de Toro et al. (2018), calcular el balance hídrico basado en la cantidad de agua aportada por las precipitaciones y la evaporación del cultivo es fundamental para optimizar el uso del agua y garantizar un equilibrio adecuado en el suelo. Lo que contrasta con lo que manifiesta, León et al. (2019) que destaca la importancia de la lluvia y la temperatura en este proceso, las precipitaciones varían según la región y la estación en Ecuador, y su adecuada gestión puede conducir a un balance hídrico positivo durante la temporada de lluvias, y que las altas temperaturas aumentan la evaporación del agua del suelo, lo que puede resultar en un balance hídrico negativo y afectar negativamente la productividad del cultivo.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

Mediante la información analizada se describen las siguientes conclusiones:

- El balance hídrico es uno de los aspectos más importantes, ya que afecta directamente al crecimiento y desarrollo del cultivo de banano
- El balance hídrico permite la integración de variables climáticas para determinar las necesidades de riego durante un período de tiempo con el fin de planificar, diseñar u operar la disponibilidad de agua en un área determinada.
- Los factores que afectan el equilibrio hídrico del cultivo de banano son diversos y varían según la región y la época del año; dos de los principales factores son: la precipitación y la temperatura.
- Para determinar el balance hídrico es necesario conocer el aporte de agua (de riego (R), medido en volumen) y el rendimiento hídrico del cultivo (evapotranspiración estimada (ETc), pérdida de agua) por evaporación de cualquier superficie de evapotranspiración más la transpiración del cultivo de banano y a través del drenaje (D), la cantidad de agua que se filtra en el suelo por gravedad.
- La cantidad de agua requerida para el ideal crecimiento y buen desarrollo de los órganos en el cultivo del banano, son láminas de 2000 mm, teniendo en cuenta la temperatura promedio de 27 grados, la cantidad promedio de riego diario es de 5.5 mm, que podría estarse reflejando como un aproximado de 10 minutos por hectárea.

3.2. RECOMENDACIONES

De acuerdo a lo detallado anteriormente se recomienda lo siguiente:

- Establecer estrategias de manejo eficiente de agua en el cultivo de banano tomando en consideración los siguientes parámetros: condiciones hídricas del suelo y el balance hídrico.
- Implementar un método en donde el agua no se contamine, con el fin de llegar a un punto en el que la misma agua de la zanja pueda ser empleada para llevar a cabo el sistema de riego.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS

- Aguilar, H. 2021. Incidencia del intervalo de riego en sistema de irrigación subfoliar, aplicando fertirriego y fertilización edáfica en la producción de banano. Tesis Ing. Agr. Machala. Ecuador. UTM. 98 p.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., Smith, M. 2019. Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO (Italia). 298 p.
- Arteaga, R., Ángeles, V., Vázquez, M. 2019. Programa CROPWAT para planeación y manejo del recurso hídrico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2 (2): 179-195.
- Aristizábal, L. 2018. Evaluación del crecimiento y desarrollo foliar del plátano Hondureño Enano (*Musa Paradisiaca*) en una región cafetera de Colombia. Agronomía (Colombia) 16(2):23-30.
- Amaya, M. 2019. Uso eficiente del agua de riego mediante sondas de capacitancia fdr, en el cultivo de banano. Tesis Ing. Agr. Machala, Universidad Técnica de Machala. 85 p.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., Smith, M. 2019. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos Roma-Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 67 p.
- Botey, R., 2019. Aplicación de distintas metodologías a la monitorización de la humedad del suelo y cálculo del balance hídrico diario. Consultado el 26 febre. 2024. Disponible en http://oa.upm.es/33105/1/ROSER_BOTEY_FULLAT.pdf

- Castañeda, D., Jaramillo, D., Cotes, J. 2018. Selección de propiedades del suelo espacialmente relacionadas con producción en el cultivo de banano, (May 2018). Consultado el 26 febre. 2024. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/pab/v45n8/v45n8a09.pdf>
- Cisneros, E., Rey, R., Martínez, R., López, T., González, F. 2020. Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el cafeto en la provincia de Pinar del Río. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 24(2): 23–30.
- Correa, K. 2020. Evaluación de la evapotranspiración del cultivo de banano (*Musa sp.*) utilizando la ecuación de la FAO Penman-Monteith. Guayaquil-Ecuador. Universidad de Guayaquil. 52 p.
- Cleves, L., Toro, C., Martínez, B., Liven, L. 2019. Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 10(1): 149-163.
- Cayón, S. 2020. Ecofisiología y productividad del plátano (*Musa Paradisiaca*). XVI Reunión Internacional de ACORBAT. Documento especial p.172-183.
- Cigales, M., Pérez, O. 2020. Variabilidad de suelos y requerimiento hídrico del cultivo de banano en una localidad del Pacífico de México. *Avances en Investigación Agropecuaria* 15 (3): 21-31.
- Caicedo, O., Balmaseda, C., Proaño, J. 2015. Programación del riego del banano (*Musa paradisiaca*) en finca San José 2, Los Ríos, Ecuador. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 24(2): 18-22.
- Castaño, Ángela., Aristizábal, M., González, H. 2019. Requerimientos hídricos del plátano dominico- hartón (*Musa Paradisiaca*) en la región Santágueda (PALESTINA, CALDAS). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 15(2): 331-338

- Casquete, J. 2022. Eficacia de fungicidas para la pudrición de corona del fruto (*Colletotrichum musae*) de Banano (*Musa Paradisiaca*). Tesis Ing. Agrp. Babahoyo. Ecuador. UTB. 27 p.
- Doorenbos, J., Pruitt, W. 2020. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio de Riego y Drenaje N° 24 (Italia). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. 179 p.
- Fernández, A. 2018. Evaluación de la huella hídrica del banano en la provincia de los ríos, 2018. Tesis Ing. Agr. Universidad Técnica Estatal De Quevedo. 95 p.
- FONTAGRO. 2023. Requerimientos hídricos del cultivo de banano y plátano. Consultado el 26 febre. 2024. Disponible en <https://www.fontagro.org/new/noticias/373/es/requerimientos-hidricos-del-cultivo-de-banano-y-platano>
- Gonzáles, R., López, S., Herrera, P. 2019. Indicadores de la productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 24(4): 57-63.
- León, Á., Arzube, M., Orrala, N., Drouet, A. 2019. Efecto del riego deficitario controlado en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) utilizando la tina de evaporación clase a, en río verde, Santa Elena, Ecuador. Journal of Science and Research 5: 114–124.
- Lucín, J. 2018. Necesidades y calendario de riego en el cultivo de plátano (*Musa paradisiaca*). New England Journal of Medicine. Consultado el 26 febre. 2024. Disponible en [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/35447/1/LucínPreciado Juan Eddy.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/35447/1/LucínPreciado%20Juan%20Eddy.pdf)
- Mazatenango, S., 2019. Evaluación de dos láminas de riego y tres mezclas de enraizadores en el cultivo de banano (*Musa paradisiaca*) en finca laurel

tiquisate, escuintla. Universidad de San Carlos de Guatemala. Consultado el 26 febre. 2024. Disponible en [http://www.repositorio.usac.edu.gt/12898/1/TRABAJODEGRADUACIONOSMNCALIMA .pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/12898/1/TRABAJODEGRADUACIONOSMNCALIMA.pdf).

Martínez, V. 2020. Efecto del riego deficitario controlado en la productividad del banano. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2): 51-55.

Montenegro, A., Gomes, A., De Miranda, F., Crisóstomo, L. 2019. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da bananeira para a região litorânea do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*: 39(2): 203-208.

Macias, J. 2022. Eficiencia de la nutrición foliar en el cultivo de Banano (*Musa paradisiaca*) en el Ecuador. Tesis Ing. Agrp. Babahoyo. Ecuador. UTB. 25 p.

Monge, M., Álvarez, A., Batista, A., Santana, A. 2022. Necesidades hídricas del cultivo de banano (*Musa paradisiaca*) variedad Williams. *Ciencias Agrarias* 15(2): 19-23.

Najafi, P. 2021. Assessment of CropWat Model Accuracy for Estimating Potential Evapotranspiration in Arid and Semi-arid Region of Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10 (16): 2665-2669.

Padro, J. 2021. Eficiencia del uso del agua en la producción del cultivo de banano (*Musa Paradisiaca*) En la parroquia el cambio provincia de El Oro. Tesis Ing Agr. Guayaquil, Ecuador. UAE. 77 p.

Pérez, D., Domínguez, J. 2019. El régimen de riego para cultivos en Manabí, Ecuador: propuesta para cinco cultivos permanentes. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 28(4): 25-38.

Simbaña, B. 2022. Respuesta hídrica del cultivo de banano (*Musa paradisiaca*) variedad Williams. Tesis Ing. Agr. Quevedo. UTEQ. 88 p.

- Salmerón, M. 2018. Instalación de un sistema de riego por aspersión para 88 ha de banano (*Musa paradisiaca*) en Finca Monte Blanco, San Alberto, Siquirres, Limón. Consultado el 26 febre. 2024. Disponible en https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9883/instalacion_sistema_riego_aspersion_para_banano_musa_paradisiaca_finca_monte_blanco_alberto_siquirres_limon.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Solano, M. 2019. Determinación del consumo de agua para el proceso postcosecha de banano de exportación, 36. Consultado el 26 febrero 2024. Disponible en http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11708/1/DE00028_TRABAJODETITULACION.pdf
- Turner, D., Fortescue, A., Thomas, S. 2017. Environmental physiology of the bananas (*Musa Paradisiaca*). *Braz. J. Plant Physiol* 19(4):463-484.
- Toro, A., Arteaga, R., Vásquez, M., Ibáñez, L. 2018. Requerimientos de Riego y Predicción de Rendimiento en el Cultivo de Banano Mediante un Modelo de Simulación en el Urabá Antioqueño Colombia. *Tecnología y Ciencias del agua* 7(6):105-122.
- Villazón, G., Noris, P., Vázquez, R. 2021. Balance hídrico del suelo como herramienta para la planificación de labores en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín. *Idesia (Arica)* 39(4): 97-101.
- Villazón, Juan., Noris, Pavel., Vázquez, M., Ranses, J. 2021. Balance hídrico del suelo como herramienta para la planificación de labores en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín. *Idesia (Arica)* 39(4): 97-101.

4.2. ANEXOS



Figura 1. Cultivo de banano



Figura 2. Riego por aspersión en el cultivo de banano



Figura 3. Estrés hídrico en el cultivo de banano

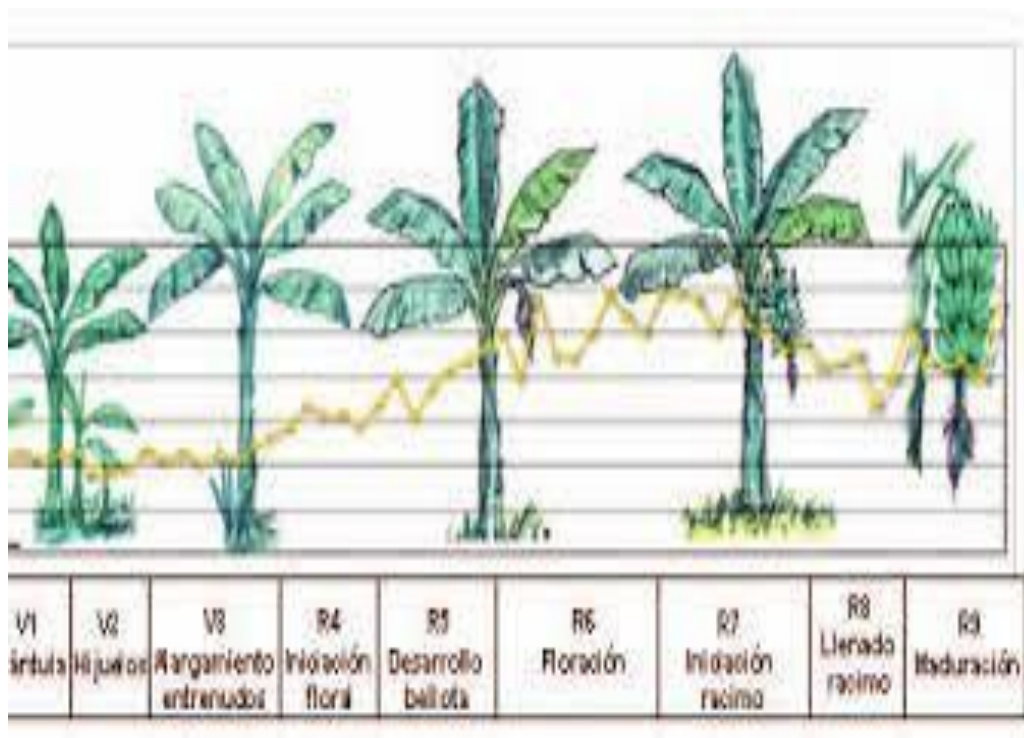


Figura 4. Evapotranspiración en el cultivo de banano