



A Ho Ra



Consultoría para desarrollar un estudio de un aplicativo para productores familiares de musáceas

Producto 2. Nota técnica sobre la plataforma de cálculos diseñada para generar indicadores de comportamiento de banano.

**Equipo Ejecutor
2022**





Códigos JEL: Q16

ISBN: en trámite

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Philippe Tixier- CIRAD, Pablo Siles- Alianza CIAT/Bioversity, Arnaldo Christian Tapia- INTA/Argentina, Charles Staver- independiente - Comité Asesor Voluntario Internacional (CAVI); Marlon J. Yacomelo H., Rommel Igor Leon Pacheco, Martha M. Bolaños-Benavides, Carmen Lorena Chavarro Rodríguez – AGROSAVIA; William Ipanaqué – Universidad de Piura; Juan Carlos Rojas – INIA Perú; Domingo Rengifo – IDIAF República Dominicana.

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

www.fontagro.org



Tabla de Contenidos

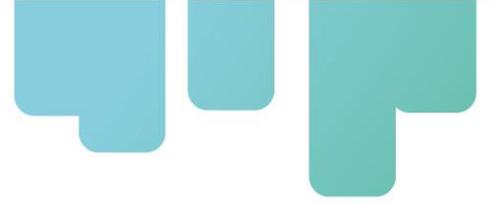
Resumen	4
1. Introducción.....	5
2. Metodología	7
3. Resultados	10
3.1 INDICADORES CON BASE EN LA TEMPERATURA POR MEDIO DEL CÁLCULO DE GRADOS DIA (GD).....	10
3.1.1 Tasa potencial de emisión de hojas: número de hojas emergiendo en un periodo de días.....	10
3.1.2 Tasa potencial de desarrollo de racimo: duración en días o semanas de la floración a la cosecha de racimo para exportación	14
3.2 INDICADORES CON BASE EN LA CONVERSIÓN DE RADIACIÓN A BIOMASA POTENCIAL.....	20
3.2.1 Peso potencial de racimo	21
3.2.2 Demanda potencial de nutrientes para compensar salida de nutrientes.	30
3.3 Evapotranspiración Potencial (EVT_{Po}) para calcular demanda de agua de riego.....	32
4. Conclusiones	46
6. Referencias Bibliográficas.....	47
Instituciones participantes	51



Resumen

El banano se cultiva en todas las regiones tropicales y tiene importancia socioeconómica en todos los países donde es cultivado, principalmente en países en desarrollo. El proyecto AgTech financiado por Fontagro ATN/RF-17245-RG tiene como meta el lanzamiento de un aplicativo denominado °AHOra que convierte, en tiempo real, datos de estaciones meteorológicas de redes locales en indicadores del potencial productivo de banano en las regiones productoras de Colombia, República Dominicana y Perú. El presente documento tiene como finalidad presentar y ejemplificar los cálculos que se deben llevar a cabo por cada una de las funciones que presta el aplicativo °AHOra. Este es el insumo principal y de gran relevancia para el desarrollo del aplicativo, dado que es necesario conocer qué datos se requieren y cómo se deben operar, para posteriormente evaluar si el resultado obtenido es la solución esperada. La plataforma de cálculos, que se presenta en este documento, se basa en ecuaciones ya desarrolladas y publicadas en literatura científica, que cuantifican la relación entre factores abióticos y el comportamiento de aspectos claves del cultivo de banano. Con la participación del comité asesor voluntario internacional (CAVI), integrado por especialistas internacionales en ecofisiología, agronomía y modelación de banano, se identificaron cinco indicadores y sus respectivas ecuaciones, entre ellas: 1) tasa potencial de emisión de hojas, y 2) duración del periodo de floración a cosecha (estos dos indicadores están vinculados a temperatura calculado en grados día), 3) peso potencial de racimo, 4) demanda de nutrientes en función de biomasa acumulada basados en radiación, y 5) demanda de agua de riego en función de la evapotranspiración y precipitación. El CAVI adaptó cada ecuación al contexto específico de producción familiar de banano. Los cálculos para llegar al indicador están ilustrados en el presente documento, al igual que la metodología de registro de indicador por parte del productor para comparar entre el dato potencial y el comportamiento real de las parcelas individuales.

Palabras Clave: banano, factores abióticos, estación meteorológica, comportamiento potencial, radiación, grados-día, evapotranspiración y precipitación.



1. Introducción

El banano y plátano tienen numerosas ventajas en el futuro de la agricultura familiar. La demanda internacional se mantiene y crece frente a las preocupaciones de salud de los consumidores; en el año 2019 la producción de banano fue de 158 millones de toneladas en más de 5 millones de hectáreas cosechadas (FAOSTAT, 2021). Para los productores, una plantación de musáceas proporciona ingresos semanales y mensuales que permiten sostener los gastos familiares en fincas de pocas hectáreas. Las musáceas protegen el suelo y tienen un alto potencial de adaptación a diferentes condiciones agroecológicas, lo cual se evidencia en que este sistema productivo (banano y plátano), se siembra desde 0 hasta 2000 msnm (Bolaños Benavides et al., 2020).

No obstante, muchos productores y técnicos de campo no toman en cuenta los factores abióticos y la variabilidad climática en sus prácticas de cultivo, dejando de lado aspectos claves que inciden en la mejora de la producción del cultivo. Los datos de estaciones meteorológicas en el pasado reciente venían de pocas estaciones que requerían lecturas manuales, y los datos se publicaban en resúmenes mensuales y anuales. Hoy en día la tecnología digital se ha adaptado al diseño de estaciones meteorológicas automatizadas que registran datos en tiempo real. Estas estaciones han proliferado por vía de proyectos de inversión y son consideradas como una herramienta clave en el manejo de riesgo climático.

El banano es un cultivo cuyo ritmo productivo es muy influenciado por factores meteorológicos. Sin embargo, la línea base del proyecto °AHOra: “aplicativo para productores familiares de musáceas”, indica que muy pocos productores tienen conocimiento de una estación meteorológica local cerca de su finca y aún menos hacen uso de los datos generados. Un informe reciente de un sondeo de 290 productores del proyecto Adapt’Action reporta que solamente 17% reciben información sobre condiciones meteorológicas (Adapt’Action, 2021). Entre los sectores sondeados (fríjol, habichuela, plátano y banano), los productores de banano estaban más informados y adeptos en el uso de datos meteorológicos, pero aun así representan una gran oportunidad para un uso más masivo de los datos y programas de capacitación para formar a productores, que incluya los productores de agricultura familiar.

Desde los años 80, investigadores en la ecofisiología y agronomía de musáceas han definido relaciones cuantitativas entre el ritmo productivo del banano y los factores meteorológicos. Los grados día acumulados (GDD) están relacionados estrechamente con la tasa de emisión de hojas – una hoja cada 108 GDD (Turner y Lahav, 1983), y la duración del período entre floración y cosecha – 900 GDD (Ganry, 1978; Jullien et al., 2008; Umber et al., 2011). Turner (1989) basó su cálculo de demanda de nitrógeno en el potencial de acumulación de biomasa que se puede estimar en función de la radiación recibida e interceptada. Tixier et al (2004) elaboró un modelo matemático predictivo SIMBA-POP, utilizado para describir la dinámica del crecimiento,



desarrollo foliar y producción de racimos a lo largo del año, que fue validado en plantaciones de banano en Urabá, Colombia, para estimar las variaciones en la producción de racimos en respuesta a eventos Niño y Niña (Guarín y Ochoa, 2011). A la vez, la FAO ha formulado el programa CropWat, una herramienta para el cálculo de los requisitos de riego y agua de los cultivos en función de los datos del suelo, el clima y los cultivos (FAO 2021; Clarke et al., 1998). Revisiones como las de Saxton y Rawls (2006), aportan relaciones cuantitativas entre características del suelo, como textura y materia orgánica, y su capacidad para almacenar humedad.

Sin embargo, estos conocimientos no se han convertido en herramientas prácticas que respalden las experiencias empíricas de productores familiares y sus técnicos en una gerencia más fundamentada en datos meteorológicos. Pero a la vez demuestran que el escenario es propicio para el desarrollo de nuevas plataformas virtuales orientadas a gestionar datos claves del sistema de manejo de cultivo de banano, tales como temperatura, agua, hojas y racimos. Es así como con el incremento del conocimiento de la influencia de los componentes abióticos en el crecimiento del cultivo de banano, la ampliación de redes locales de estaciones meteorológicas y de celulares con capacidades de captación de datos e intercambio en tiempo real, se presentan nuevas posibilidades y opciones para mejorar la gerencia del cultivo.

En este contexto y ante la oportunidad de generar una herramienta que apoye al análisis de posibles factores limitantes sobre el manejo agronómico del cultivo de banano, el proyecto AgTech financiado por Fontagro ATN/RF-17245-RG, se propone desarrollar una aplicación que convierte, en tiempo real, datos de estaciones meteorológicas de redes locales en indicadores del potencial de crecimiento y productividad de banano en zonas productivas de Colombia, Perú y República Dominicana. De esta manera los productores y sus técnicos pueden comparar la situación de sus campos con el potencial calculado y planificar ajustes para reducir la brecha. Un reconocimiento creciente del factor meteorológico en la planificación y toma de decisiones de prácticas agronómicas en plantaciones de musáceas (plátano y banano) ayudará a los productores familiares a hacer frente a los efectos de la variabilidad climática. La aplicación se denominará °AHoRa. Esta herramienta funcionará a partir de modelos matemáticos validados en artículos publicados.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo principal del presente documento es describir las ecuaciones matemáticas propuestas con base en avances científicos, e ilustrar, a manera de ejemplo, el paso a paso que se realiza para calcular los indicadores propuestos. Esta plataforma de cálculos es el insumo principal para el desarrollo del aplicativo °AHoRa. Posteriormente, se espera que los productores familiares de banano y sus técnicos puedan registrar el mismo indicador en sus campos para evaluar si el rendimiento está a nivel potencial, no obstante, la validación entre el potencial calculado y la situación de un campo hace parte de otro entregable en el marco del proyecto.

2. Metodología

En general, el aplicativo °AHOra se basa en tres componentes: 1) estaciones meteorológicas financiadas y operadas por fincas, proyectos u otras entidades, 2) una plataforma de cálculos con ecuaciones (basadas en indicadores de cultivo) en un servidor, y 3) una red de usuarios entre productores y técnicos alrededor de cada estación que pueden registrar el mismo indicador en sus campos para comparar los indicadores de comportamiento potencial del aplicativo con el comportamiento de su parcela (**Figura 1**).

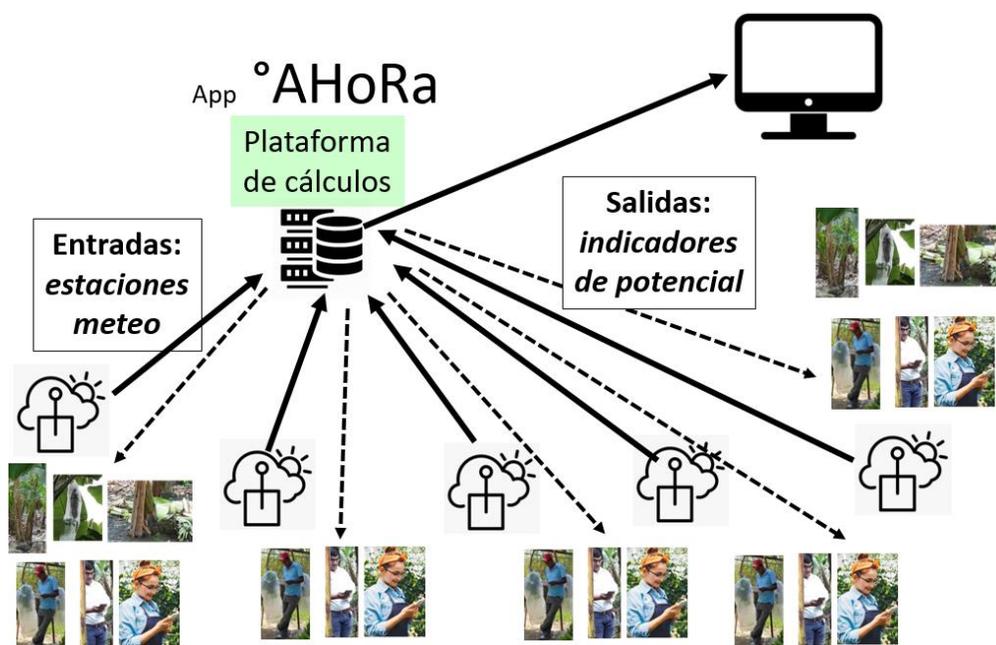


Figura 1. Diagrama general del aplicativo °AHOra.

En cuanto al primer componente, se tiene que, en las tres zonas donde se está desarrollando el proyecto °AHOra se encuentran estaciones meteorológicas que permiten el levantamiento de datos climáticos (**Figura 2**). En la zona bananera de la Costa Norte de Perú, un proyecto reciente instaló 10 estaciones meteorológicas. Por su parte, República Dominicana tiene una red de 23 estaciones (fuera de las estaciones oficiales del estado) y una plataforma en línea con los datos tomados (<http://climared.com/>); incorporados a la red, son ocho (8) estaciones de la asociación de bananeros de Banelino cubriendo la zona de Línea Noroeste de Mao a Monte Cristi. En cuanto a la zona bananera de La Guajira y Magdalena en Colombia, la empresa CI Técnicas Baltim de Colombia (Tebaco) tiene una red de 10 estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes zonas productoras.



Todas las estaciones reportadas miden temperatura, precipitación, velocidad de viento, humedad relativa y radiación de una forma casi instantánea, además calculan y reportan evapotranspiración potencial a partir de los otros factores medidos. Tener este tipo de registro, casi de manera simultánea, de las condiciones meteorológicas locales disponibles, es una herramienta potente para el desarrollo del aplicativo y por tanto para el productor.



Figura 2: Zonas donde se está desarrollando el proyecto °AHOra en Colombia, Perú y República Dominicana.

Para el segundo componente, una plataforma de cálculos con ecuaciones en un servidor, con la participación del Comité Asesor Voluntario Internacional (CAVI), por medio de seminarios y talleres virtuales, se verificó y priorizó el uso de modelos matemáticos para predecir y/o estimar la tasa de emisión de hojas, duración del período entre floración y cosecha, peso potencial de racimo, necesidades hídricas, y demanda de nutrientes del cultivo. Estos cinco (5) indicadores propuestos como plataforma de cálculos para el aplicativo °AHOra, en su conjunto, convierten datos registrados por estaciones meteorológicas cercanas a las zonas productoras de banano – temperatura, radiación solar, precipitación y evapotranspiración potencial (calculado con base en la radiación solar, viento y humedad relativa)-, en parámetros de crecimiento potencial de banano (**Tabla 1**).



Tabla 1. Importancia de los indicadores de la plataforma de cálculos del aplicativo °AHOra en el cultivo de banano y las variables meteorológicas empleadas para su cálculo.

Datos de la estación meteorológica	Parámetro de crecimiento potencial de banano	Importancia
Temperatura	Tasa de emisión foliar	Ritmo de desarrollo del cultivo y racimos
Temperatura	Duración de período floración a cosecha racimo	Ritmo de desarrollo de racimo
Radiación solar y temperatura	Peso potencial de racimo	Potencial productivo de una zona
Radiación solar	Acumulación total de biomasa - demanda de nutrientes	Uso óptimo de nutrientes
Evapotranspiración potencial y precipitación	Demanda hídrica del cultivo	Uso de agua de riego

Con las ecuaciones que integrarán el aplicativo °AHOra definidas, se procedió a ensayarlas usando inicialmente información climática disponible de Perú y Colombia. De esta manera se ilustra o ejemplifica el paso a paso que se sigue para la realización de los cálculos. Posteriormente, a medida que se desarrolla el proyecto, se validará el uso y aplicabilidad de estas ecuaciones en dos sentidos: 1) con las bases de datos de redes de estaciones meteorológicas y bases de datos de comportamiento y producción del cultivo, se realizará un proceso de primera validación de las ecuaciones al mismo tiempo que el equipo de la Universidad de Piura diseña el aplicativo en su versión demo (es decir, versión de prueba), y 2) presentación y uso por parte de los productores y técnicos de los países participantes del proyecto, para analizar la experiencia de estos en la integración de la versión demo en el análisis del manejo de sus campos de banano.

En síntesis, la metodología empleada para el presente documento se basó en la sustentación de las ecuaciones que integran el aplicativo, y en la demostración de los pasos a realizar en los cálculos matemáticos.



3. Resultados

En esta sección se proporciona información sobre las ecuaciones que conformarán la plataforma de cálculos de la aplicación °AHOra. Por cada ecuación planteada se presenta un ejemplo de la forma en que se realizan los cálculos, empleando para ello información climática disponible de una estación meteorológica en Perú y otra en Colombia. También se presentan los datos que los productores pueden medir en su parcela para comparar con el dato calculado.

3.1 INDICADORES CON BASE EN LA TEMPERATURA POR MEDIO DEL CÁLCULO DE GRADOS DÍA (GD)

La unidad que combina el tiempo y la temperatura para estimar el desarrollo de un organismo a partir de un punto a otro en su ciclo de vida es denominada comúnmente como “grados día (GD)”, “grados día de desarrollo (GDD)”, “unidades calor (UC)”, “tiempo térmico (TT)” o “tiempo fisiológico (TF)” (López et al., 2011). En agronomía su aplicación principalmente radica en la estimación de cuánto tarda un determinado cultivo en alcanzar una etapa fenológica de interés como anthesis, floración, fructificación, cosecha, senescencia, etc. (Vázquez et al., 2008; Orduz et al., 2010; Hoyos et al., 2012). El tiempo fisiológico se utiliza para el cálculo de la tasa de aparición de nudos, de hojas e inflorescencias y para estimar el crecimiento y desarrollo de frutos (Rodríguez y Flórez, 2006; Salazar, 2006; Normand y Léchaudel, 2006; Almanza et al., 2010), así como para estimar la producción potencial (Salazar et al., 2008). Cada planta tiene un requisito específico de temperatura antes de que ciertos estados fenológicos se alcancen (Sikder, 2009). Para el caso de banano, se propone emplear el cálculo de GDD para estimar la tasa potencial de emisión de hojas y duración del período de floración a cosecha.

3.1.1 Tasa potencial de emisión de hojas: número de hojas emergiendo en un periodo de días

- **Hacia atrás:**

La relación entre grados día acumulados para la emisión de una hoja de banano fue determinado en los años 80 (Turner y Lahav, 1983; Turner y Hunt, 1983; Allen et al., 1988). Turner (1971) identificó el concepto original algunos años antes. El método de GD es apropiado para describir el desarrollo de una planta, ya que es independiente del medio ambiente o año (Salazar-Gutiérrez et al., 2013). El cálculo de la tasa potencial de emisión de hojas se realiza dividiendo la sumatoria de los GD del periodo entre 108 GD. La **Tabla 2** resume la información clave para convertir temperatura promedio diaria durante un periodo de tiempo, en tasa potencial de emisión de hojas.



Tabla 2. Resumen de indicador tasa potencial de emisión de hojas.

Indicador	Importancia	Datos meteorológicos necesarios para el cálculo y supuestos	Ecuación	Periodo de calculo	Medición del productor para comparar
Tasa potencial de emisión de hojas	Aspecto de crecimiento más sensible a condiciones abióticas (temperatura y agua) a corto plazo	Dato: Temperatura promedio diaria*. Supuesto: no hay otros factores limitantes como agua, nutrientes y enfermedades.	GD = (temperatura media diaria del día) – (temperatura base de 13°C) Nota: Si la temperatura mínima es inferior a 13°C se tomará el valor 0 en la acumulación de GD. Potencial emisión de hojas = suma GDD del periodo/108 GDD para la emisión de una hoja	14 o 28 días previo a la fecha del cálculo.	Marcar la hoja más nueva en 5 a 10 tallos altos. Luego contar hojas nuevas en dos semanas o un mes; Marcar nuevos tallos cada mes

*Cálculo – la temperatura media es calculada mediante la ecuación $(0.6 * \text{temperatura máxima} + 0.4 * \text{temperatura mínima})$.

Hay varios en las calcular GD como media o promedio

$$GD = \sum_{i=1}^n (Tm - Tb)$$

Wilhelm, 1997; Matzarakis et al., 2007) (

métodos de cálculo de GD, pero el más común investigaciones agrícolas y fenológicas es la suma de la diferencia entre la temperatura (Tm) y la temperatura base (Tb) (McMaster y

Ecuación 1). Un requisito básico para este enfoque es la determinación de la temperatura crítica o temperatura base (Tb), por debajo de la cual el desarrollo fenológico cesa o las plantas detienen sus procesos metabólicos (Salazar, 2006). Para el caso del banano es de 13°C. En cuanto a la Tm, si la estación reporta temperatura máxima y mínima, la temperatura promedio normalmente se calcula como la media de las temperaturas mínimas y máximas diarias, no obstante, para el presente estudio la temperatura promedio se calcula como $0,6 * \text{temperatura máxima } (°C) + 0,4 * \text{temperatura mínima } (°C)$, con base en el Método de Priestley y Taylor para el cálculo de la evapotranspiración potencial (Priestley y Taylor, 1972) (**Ecuación 2** $Tm = ((Tmáx * 0,6) + (Tmín * 0,4))$). En el cálculo de la temperatura promedio, cuando la



temperatura máxima es mayor a 35°C, se reemplaza su valor por 35°C. En la **Tabla 3** y **Tabla 4** se ilustra el procedimiento para el cálculo de los GD y estimación de la tasa potencial de hojas con base en las ecuaciones 1, 2 y 3 para dos zonas productoras de banano, una en Colombia y la otra en Perú.

$$GD = \sum_{i=1}^n (Tm - Tb)$$

Ecuación 1

Ecuación 2 $Tm = ((Tmáx * 0,6) + (Tmín * 0,4))$

Ecuación 3 $Tasa\ potencial\ emisión\ de\ hojas = \left(\frac{\sum_{i=1}^n GD}{108} \right)$

Donde, **Tm**: temperatura media; **Tmín**: temperatura mínima; **Tmáx**: temperatura máxima; **n**: número de días; **Tb**: temperatura base (13°C); **GD**: grados día

La **Tabla 3** ilustra el procedimiento para el cálculo de los GD y estimación de la tasa potencial de hojas, con base en las ecuaciones presentadas, para la zona productora de banano en Colombia, en el departamento del Magdalena. En el ejemplo, se observa que la tasa potencial de hojas, evaluado en dos épocas contrastantes (Época seca y Época de mayor precipitación) varió de 1,03 hojas por semana en la época seca a 1,15 hojas por semana en la época de mayor precipitación.

Tabla 3. Estimación de la tasa potencial de hojas por semana con base en la ecuación 3.

$$GD = \sum_{i=1}^n (Tm - Tb)$$

Ecuación 1, 2 y 3, para la zona productora de banano en Colombia, en el departamento del Magdalena, en dos épocas contrastantes (Época seca y Época de mayor precipitación).

Finca 1- Época seca					
Fecha	TMín. de Celsius(°C)	TMáx. de Celsius(°C)	Tm	GD	
1-ene-21	20,39	35,0	29,16	16,16	
2-ene-21	20,49	36,60	30,16	17,16	
3-ene-21	20,7	34,40	28,92	15,92	
4-ene-21	21,48	34,80	29,47	16,47	
5-ene-21	21,35	32,10	27,80	14,80	
6-ene-21	21,15	32,60	28,02	15,02	
7-ene-21	20,17	33,80	28,35	15,35	
Sumatoria (ΣGDD)				110,872	
Cálculo hojas potenciales (461/108)				1,03	
Finca 2- Época de mayor precipitación					
25-oct-21	23,00	36,50	31,10	18,10	
26-oct-21	22,50	37,50	31,50	18,50	

27-oct-21	22,50	36,00	30,60	17,60
28-oct-21	23,00	36,50	31,10	18,10
29-oct-21	23,50	34,00	29,80	16,80
30-oct-21	24,00	35,00	30,60	17,60
31-oct-21	25,00	35,00	31,00	18,00
Sumatoria (ΣGD)				124,70
Cálculo hojas potenciales (461/108)				1,15

Con la metodología propuesta se podrá además estimar la acumulación de grados días durante todo el año, y de esta manera estimar el número de hojas emitidas por una planta durante todo su ciclo de desarrollo. Por ejemplo, en la **Figura 3**, se observa la acumulación de grados día (GD) en un año calendario en ocho zonas distribuidas entre el Magdalena y La Guajira. La aplicación del cálculo para estas ocho (8) zonas muestra que, para el periodo de 360 días, La Guajira tiene un potencial de $5489 \text{ GD}/108^\circ = 50,8$ hojas, mientras que Santa Marta alcanzó un mayor potencial de $6247 \text{ GD}/108^\circ = 57,8$ hojas. Por su parte, en Candelaria y Rio Frio, alcanzaron valores de 5830 GD, Aracataca y Papare 5680GD, y Santa Rosalía y Sevilla 5730GD.

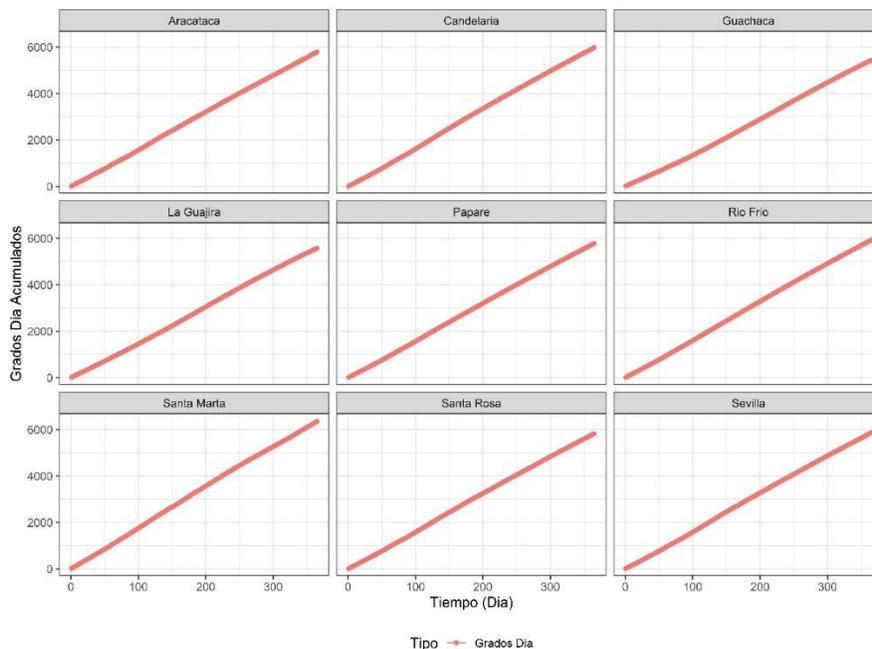


Figura 3. Acumulación de grados día (GD) en nueve estaciones meteorológicas en las zonas productoras de banano de la región Caribe en Colombia.

La poca variación en la tasa potencial de hojas entre la época y entre fincas se atribuye principalmente a que no existe una diferencia significativa en las temperaturas entre las dos épocas (verano y época de mayor precipitación), es decir, a pesar de haber mayor precipitación



se siguen presentando altas temperaturas en el día.

Caso contrario ocurre en algunas zonas productoras de Perú (Querecotillo, Sullana, Perú), en el cual existe diferencias significativas en las temperaturas predisponentes entre épocas del año, por ejemplo, en agosto de 2017 (Época de frío) las temperaturas mínimas y máximas son menores a las presentes en la época de calor (marzo de 2018). Esta condición hace que la tasa potencial de hojas sea mayor en la época de calor (1,08 hojas/semana) a la presente en la época de frío (0,73 hojas/semana) (**Tabla 4**).

Tabla 4. Cálculo de emisión potencial de hojas en dos épocas contrastantes para Querecotillo, Sullana.

Primer semestre del año finca bananera de Perú				
Etiquetas de fila	TMín. de Celsius(°C)	TMáx. de Celsius(°C)	Tm	GD
3/01/2018	21,3	35,1	29,6	16,6
3/02/2018	21,8	35,4	30	17
3/03/2018	22,3	34	29,3	16,3
3/04/2018	22,3	34,1	29,4	16,4
3/05/2018	22,6	34,2	29,6	16,6
3/06/2018	22,3	36	30,5	17,5
3/07/2018	21,3	35	29,5	16,5
Sumatoria (ΣGDD)				116,9
Cálculo hojas potenciales (116.9/108)				1,08
Segundo semestre de 2021				
8/01/2017	17,1	30,3	25	12
8/02/2017	17,9	28,9	24,5	11,5
8/03/2017	17,9	28,2	24,1	11,1
8/04/2017	17,9	26,1	22,8	9,8
8/05/2017	16,6	28,8	23,9	10,9
8/06/2017	16,3	29,8	24,4	11,4
8/07/2017	17	29,7	24,6	11,6
Sumatoria (ΣGDD)				78,3
Cálculo hojas potenciales (78.3/108)				0,73

Como consecuencia de lo anterior la acumulación de GD en un año calendario en la región de Perú (Querecotillo, Sullana) será significativamente menor a la región de Colombia (Departamento del Magdalena y Guajira).



3.1.2 Tasa potencial de desarrollo de racimo: duración en días o semanas de la floración a la cosecha de racimo para exportación

Igual que la tasa potencial de emisión de hojas, la duración del periodo entre la floración y la cosecha del racimo depende entre otros factores de los grados día acumulados (Ganry, 1978). La acumulación de 900 GDD, se estableció con datos en diferentes zonas climáticas de Guadalupe y este umbral se ha usado en estudios posteriores sobre el mismo tema (Jullien et al., 2008; Umber et al., 2011). El cálculo de grados días diarios permitirá al productor cuantificar hacia adelante los grados días acumulados hasta completar los 900 GD y de esta forma validar a partir de que semana la fruta ha alcanzado la acumulación de calor necesaria para completar su madurez fisiológica, adicionalmente, puede validar hacia atrás una vez cosechado los racimos cuántos grados días se acumularon para conocer la fecha de floración y verificar si el racimo alcanzó los grados de calor necesarios para completar la madurez fisiológica requerida. En la **Tabla 5** se presentan los detalles del cálculo. Ganry (1978) redondeó 13,0 °C a 14 °C como temperatura base, un grado más alto que para la emisión de hojas. En el presente estudio hemos propuesto usar 13 °C para ambos cálculos.

Tabla 5. Resumen de indicador – duración del período floración a cosecha de racimo.

Indicador	Importancia	Datos meteorológicos necesarios para el cálculo y supuestos	Ecuación	Periodo de calculo	Medición del productor para comparar
Tasa de desarrollo de racimo	Cosechar en el momento adecuado es importante para asegurar la calidad de la fruta durante el transporte al mercado.	Dato: Temperatura promedio diaria. Supuesto: No hay otros factores limitantes.	GDD= (temperatura media diaria del día) – (temperatura base de 13°C) Nota: Si la temperatura mínima es inferior a 13°C se tomará el valor 0 en la acumulación de GD. Período floración a cosecha de racimo: Cuántos días han transcurrido desde la fecha del cálculo hacia atrás, para acumular 900 GDD necesarios, a partir del encinte, para la cosecha del racimo.	Desde el encinte al momento óptimo de cosecha. El encinte se realiza cuando la planta madre ha fructificado y el racimo se encuentra en bellota.	Cada semana basada en condiciones durante las 9-13 semanas. El color de la cinta predominante de la semana representa cuanto tiempo de desarrollo y en cuantos grados día se estará cosechando.

*Cálculo – la temperatura media es calculada mediante la ecuación (0.6*temperatura máxima + 0.4*temperatura mínima).



Las **Tabla 6 y Tabla 7** se muestra los cálculos de grados días acumulados (GDA) para dos regiones productoras de banano, una en el departamento del Magdalena, Colombia y la otra la zona de Querecotillo, Perú, en época de frío. Los resultados muestran que en la región de Perú los 900GD acumulados se alcanza en la semana 12, mientras que en Colombia para la misma fecha se alcanzan en la semana 7, por lo cual para el caso de Colombia el umbral a utilizar (900 GD) en la aplicación será validado y ajustado dependiendo del comportamiento climático ocurrido en los últimos cinco años para las regiones productoras, teniendo en cuenta que tradicionalmente la época de cosecha ocurre entre la semana 9 y máximo 13.

Tabla 6. Grados días acumulados de floración a cosecha por las zonas productoras de Querecotillo, Perú.

Fecha	TMín. de Celsius(°C)	TMáx. de Celsius(°C)	Tm	GD	GDA	Semana
1/06/2021	20,46	26,43	24,04	11,04	11,04	
2/06/2021	20,73	30,36	26,51	13,51	24,55	
3/06/2021	20,12	31,04	26,67	13,67	38,22	
4/06/2021	20,19	26,87	24,20	11,20	49,42	
5/06/2021	19,51	30,23	25,94	12,94	62,36	
6/06/2021	20,56	30,63	26,60	13,60	75,96	
7/06/2021	20,83	29,45	26,00	13,00	88,97	1,00
8/06/2021	20,02	29,45	25,68	12,68	101,64	
9/06/2021	19,21	30,84	26,19	13,19	114,83	
10/06/2021	18,87	29,21	25,07	12,07	126,91	
11/06/2021	19,00	27,92	24,35	11,35	138,26	
12/06/2021	19,03	28,70	24,83	11,83	150,09	
13/06/2021	19,10	30,36	25,86	12,86	162,95	
14/06/2021	17,88	25,79	22,63	9,63	172,57	2,00
15/06/2021	18,39	32,23	26,69	13,69	186,27	
16/06/2021	19,41	30,43	26,02	13,02	199,29	
17/06/2021	18,86	23,61	21,71	8,71	208,00	
18/06/2021	19,00	28,40	24,64	11,64	219,64	
19/06/2021	19,48	25,28	22,96	9,96	229,60	
20/06/2021	18,90	29,85	25,47	12,47	242,07	
21/06/2021	19,51	30,57	26,15	13,15	255,21	3,00
22/06/2021	19,38	28,84	25,06	12,06	267,27	
23/06/2021	18,19	29,99	25,27	12,27	279,54	
24/06/2021	18,83	31,14	26,22	13,22	292,76	
25/06/2021	19,24	25,01	22,70	9,70	302,46	
26/06/2021	18,97	31,11	26,25	13,25	315,71	
27/06/2021	17,82	26,29	22,90	9,90	325,61	
28/06/2021	18,36	30,63	25,72	12,72	338,34	4,00



29/06/2021	18,36	28,16	24,24	11,24	349,58	
30/06/2021	18,56	30,06	25,46	12,46	362,04	
1/07/2021	18,43	28,63	24,55	11,55	373,59	
2/07/2021	18,53	26,33	23,21	10,21	383,80	
3/07/2021	18,19	29,18	24,78	11,78	395,58	
4/07/2021	18,56	29,38	25,05	12,05	407,63	
5/07/2021	18,66	28,90	24,80	11,80	419,44	5,00
6/07/2021	18,73	30,94	26,06	13,06	432,49	
7/07/2021	17,24	26,90	23,04	10,04	442,53	
8/07/2021	18,19	29,11	24,74	11,74	454,27	
9/07/2021	18,46	28,40	24,42	11,42	465,69	
10/07/2021	17,45	26,77	23,04	10,04	475,74	
11/07/2021	18,39	22,90	21,10	8,10	483,83	
12/07/2021	16,16	22,87	20,19	7,19	491,02	6,00
13/07/2021	16,50	28,12	23,47	10,47	501,49	
14/07/2021	18,36	23,07	21,19	8,19	509,68	
15/07/2021	18,86	26,77	23,61	10,61	520,28	
16/07/2021	17,99	30,16	25,29	12,29	532,57	
17/07/2021	16,74	26,87	22,82	9,82	542,39	
18/07/2021	17,27	28,26	23,86	10,86	553,26	
19/07/2021	17,17	27,41	23,31	10,31	563,57	7,00
20/07/2021	17,75	30,13	25,18	12,18	575,75	
21/07/2021	17,31	28,60	24,08	11,08	586,83	
22/07/2021	17,34	28,87	24,26	11,26	598,09	
23/07/2021	18,15	29,31	24,85	11,85	609,94	
24/07/2021	16,97	25,34	21,99	8,99	618,93	
25/07/2021	17,21	23,14	20,77	7,77	626,70	
26/07/2021	18,12	27,01	23,45	10,45	637,15	8,00
27/07/2021	17,78	25,65	22,50	9,50	646,65	
28/07/2021	17,85	28,29	24,11	11,11	657,77	
29/07/2021	18,39	27,28	23,72	10,72	668,49	
30/07/2021	18,49	28,84	24,70	11,70	680,19	
31/07/2021	16,84	27,75	23,39	10,39	690,58	
1/08/2021	17,11	30,30	25,02	12,02	702,60	
2/08/2021	17,92	28,87	24,49	11,49	714,09	9,00
3/08/2021	17,92	28,23	24,11	11,11	725,20	
4/08/2021	17,85	26,06	22,78	9,78	734,97	
5/08/2021	16,60	28,77	23,90	10,90	745,87	
6/08/2021	16,33	29,79	24,41	11,41	757,28	
7/08/2021	16,97	29,72	24,62	11,62	768,90	
8/08/2021	17,92	24,22	21,70	8,70	777,60	
9/08/2021	16,73	28,50	23,79	10,79	788,39	10,00

10/08/2021	16,91	29,28	24,33	11,33	799,72	
11/08/2021	18,29	28,23	24,25	11,25	810,98	
12/08/2021	17,81	30,13	25,20	12,20	823,18	
13/08/2021	17,28	28,36	23,93	10,93	834,11	
14/08/2021	17,34	27,68	23,54	10,54	844,65	
15/08/2021	17,04	29,58	24,56	11,56	856,22	
16/08/2021	17,31	27,99	23,72	10,72	866,93	11,00
17/08/2021	17,14	28,23	23,79	10,79	877,73	
18/08/2021	16,10	29,79	24,31	11,31	889,04	
19/08/2021	16,40	29,52	24,27	11,27	900,31	
20/08/2021	17,44	29,01	24,38	11,38	911,70	
21/08/2021	17,37	28,63	24,13	11,13	922,82	
22/08/2021	17,51	21,78	20,07	7,07	929,89	
23/08/2021	17,85	28,87	24,46	11,46	941,36	12,00

Tabla 7. Grados días acumulados de floración a cosecha en las regiones productoras de Colombia.

Fecha	TMín. de Celsius(°C)	TMáx. de Celsius(°C)	Tm	GD	GDA	Semana
1-jun-21	23,33	33,3	29,312	16,31	16,31	
2-jun-21	23,01	37,8	31,884	18,88	35,20	
3-jun-21	22,2	36,3	30,66	17,66	52,86	
4-jun-21	22,97	36,1	30,848	17,85	70,70	
5-jun-21	23,33	36	30,932	17,93	88,64	
6-jun-21	23,13	37,4	31,692	18,69	107,33	
7-jun-21	22,92	32,7	28,788	15,79	123,12	1
8-jun-21	22,75	36	30,7	17,70	140,82	
9-jun-21	24,11	37,4	32,084	19,08	159,90	
10-jun-21	23,75	36,1	31,16	18,16	178,06	
11-jun-21	23,46	34,4	30,024	17,02	195,08	
12-jun-21	22,52	34,4	29,648	16,65	211,73	
13-jun-21	22,17	37,2	31,188	18,19	229,92	
14-jun-21	24,51	36,7	31,824	18,82	248,74	2
15-jun-21	23,75	37,5	32	19,00	267,74	
16-jun-21	23,67	37,7	32,088	19,09	286,83	
17-jun-21	25,00	40,50	34,3	21,30	308,13	
18-jun-21	23,50	36,50	31,3	18,30	326,43	
19-jun-21	22,00	39,00	32,2	19,20	345,63	
20-jun-21	22,50	40,00	33	20,00	365,63	
21-jun-21	23,50	37,00	31,6	18,60	384,23	3
22-jun-21	23,50	35,50	30,7	17,70	401,93	
23-jun-21	23,50	37,50	31,9	18,90	420,83	4



24-jun-21	22,00	35,00	29,8	16,80	437,63	
25-jun-21	21,50	37,00	30,8	17,80	455,43	
26-jun-21	23,00	37,00	31,4	18,40	473,83	
27-jun-21	22,50	37,50	31,5	18,50	492,33	
28-jun-21	22,50	38,50	32,1	19,10	511,43	

29-jun-21	22,50	39,00	32,4	19,40	530,83	
30-jun-21	23,50	39,50	33,1	20,10	550,93	
1-jul-21	23,50	41,50	34,3	21,30	572,23	
2-jul-21	23,00	36,00	30,8	17,80	590,03	
3-jul-21	23,50	37,50	31,9	18,90	608,93	
4-jul-21	22,50	38,00	31,8	18,80	627,73	
5-jul-21	22,50	38,00	31,8	18,80	646,53	5

6-jul-21	23,00	39,00	32,6	19,60	666,13	
7-jul-21	23,50	39,00	32,8	19,80	685,93	
8-jul-21	23,50	37,50	31,9	18,90	704,83	
9-jul-21	23,50	39,00	32,8	19,80	724,63	
10-jul-21	24,50	29,00	27,2	14,20	738,83	
11-jul-21	23,00	35,50	30,5	17,50	756,33	
12-jul-21	22,00	39,50	32,5	19,50	775,83	6

13-jul-21	24,00	40,00	33,6	20,60	796,43	
14-jul-21	24,00	40,00	33,6	20,60	817,03	
15-jul-21	22,50	39,00	32,4	19,40	836,43	
16-jul-21	24,50	38,00	32,6	19,60	856,03	
17-jul-21	23,50	36,00	31	18,00	874,03	
18-jul-21	23,00	40,00	33,2	20,20	894,23	
19-jul-21	23,50	40,00	33,4	20,40	914,63	7

20-jul-21	23,00	40,00	33,2	20,20	934,83	
21-jul-21	23,50	42,00	34,6	21,60	956,43	
22-jul-21	24,50	41,00	34,4	21,40	977,83	
23-jul-21	24,00	40,50	33,9	20,90	998,73	
24-jul-21	23,00	38,00	32	19,00	1017,73	
25-jul-21	23,00	29,50	26,9	13,90	1031,63	
26-jul-21	23,50	37,00	31,6	18,6	1050,23	8

27-jul-21	23,50	39,00	32,8	19,8	1070,03	
28-jul-21	22,50	38,50	32,1	19,1	1089,13	
29-jul-21	23,50	40,00	33,4	20,4	1109,53	
30-jul-21	23,00	37,50	31,7	18,7	1128,23	
31-jul-21	23,50	38,00	32,2	19,2	1147,43	
1-ago-21	24,00	40,50	33,9	20,9	1168,33	
2-ago-21	24,50	33,50	29,9	16,9	1185,23	9

3-ago-21	24,00	37,00	31,8	18,8	1204,03	
4-ago-21	24,00	38,00	32,4	19,4	1223,43	10



5-ago-21	22,50	39,50	32,7	19,7	1243,13	
6-ago-21	23,50	39,00	32,8	19,8	1262,93	
7-ago-21	23,50	38,00	32,2	19,2	1282,13	
8-ago-21	22,50	37,50	31,5	18,5	1300,63	
9-ago-21	23,00	39,50	32,9	19,9	1320,53	
10-ago-21	23,00	38,50	32,3	19,3	1339,83	
11-ago-21	23,00	36,50	31,1	18,1	1357,93	
12-ago-21	21,50	38,00	31,4	18,4	1376,33	
13-ago-21	23,00	36,50	31,1	18,1	1394,43	
14-ago-21	22,50	38,00	31,8	18,8	1413,23	
15-ago-21	24,00	37,00	31,8	18,8	1432,03	
16-ago-21	24,00	38,50	32,7	19,7	1451,73	11
17-ago-21	22,50	36,50	30,9	17,9	1469,63	
18-ago-21	23,50	38,00	32,2	19,2	1488,83	
19-ago-21	22,00	38,50	31,9	18,9	1507,73	
20-ago-21	23,50	35,50	30,7	17,7	1525,43	
21-ago-21	23,00	38,00	32	19	1544,43	
22-ago-21	22,50	38,00	31,8	18,8	1563,23	
23-ago-21	22,50	38,00	31,8	18,8	1582,03	12

3.2 INDICADORES CON BASE EN LA CONVERSIÓN DE RADIACIÓN A BIOMASA POTENCIAL

La radiación solar es la base de la productividad potencial de un agroclima y varía de una zona a otra como ilustran los datos de la **Figura 4**. Los modelos de cultivos se basan en primera instancia en la radiación incidente y la radiación interceptada por el cultivo con la aplicación de la ecuación Beer Lambert ($I=I_0(1 - e^{-KL})$ **Ecuación 4**[Error! Reference source not found.](#)). En el proceso fotosintético ciertas relaciones se aplican en muchos cultivos como la conversión de una unidad de radiación a una cantidad de biomasa seca (Turner, 1998). Además, en banano orgánico de exportación, una vez establecido el cultivo, se mantiene la densidad poblacional y área foliar a un nivel relativamente constante durante todo el ciclo anual. Todos estos elementos son la base para dos indicadores propuestos por Tixier et al. (2004) sobre el modelo SIMBA – peso potencial del racimo y demanda de nutrientes en función de la biomasa acumulada.

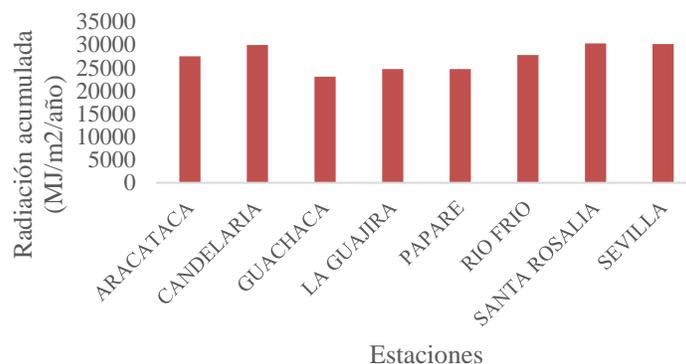


Figura 4. Radiación solar acumulada ($MJ \cdot m^{-2} \cdot año^{-1}$) en ocho estaciones meteorológicas de dos zonas bananeras de Colombia.

3.2.1 Peso potencial de racimo

El cálculo de peso potencial de racimo supone que la radiación interceptada de la floración a la cosecha es la base principal de la formación del racimo, ya que no hay más emisión foliar en el tallo cosechero después de la floración. El cálculo en el parámetro previo indica el periodo de tiempo para la formación del racimo. La estación meteorológica indica la radiación solar incidente que se convierte en radiación interceptada por medio de la ecuación Beer Lambert con un área foliar de 3,5 y una tasa de extinción de 0,7. La radiación interceptada durante la acumulación de los 900 GDD se convierte en biomasa seca a $1,5 \text{ g por } MJ_{\text{interceptada}}/m^2$. Según la densidad de la población de plantas de banano, se puede calcular los metros cuadrados ocupados por cada planta y para cerrar el cálculo se convierte la biomasa seca por tallo de banano a biomasa fresca, lo que indica el peso potencial de un racimo. La **Tabla 8** resume los detalles del indicador.

Los detalles de la ecuación Beer Lambert son los siguientes:

$$I = I_0(1 - e^{-KL}) \quad \text{Ecuación 4}$$

- I es radiación captada (MJ/m^2)
- I_0 es radiación incidente llegando a la superficie de la copa de banano (dato que viene de la estación meteorológica) (MJ/m^2)
- K es tasa de extinción o como la luz se transmite entre la copa de banano (valor de 0,7 verificado en estudios como Nyombi et al. (2009) y recientemente por Stevens et al. (2020).
- L es el índice de área foliar (valor de 3,5 recomendado por Philippe Tixier – los valores de radiación captada aumenten en 4,8% para IAF de 4,5).



Tabla 8. Resumen del indicador – peso potencial de racimo.

Indicador	Importancia	Datos meteorológicos necesarios para el cálculo y supuestos	Ecuación	Periodo de cálculo	Medición del productor para comparar
Peso potencial de racimo	Integración de factores abióticos de floración a cosecha	<p>Dato: Radiación, temperatura.</p> <p>Supuesto: El agua no es un factor limitante.</p>	<p>GDD para atrás- fecha floración (900 GDD).</p> <p>Procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tomar datos de la radiación promedio recibida (tomado de la estación meteorológica- se debe pasar de W/m² a MJ/m²). - Calculo de la radiación captada con base en ecuación Beer Lambert (con coeficiente de extinción de 0,7 y IAF de 3,5) - Conversión de luz a biomasa generada (multiplicar por 1,5 g MJ captada) - Convertir a biomasa/planta, teniendo en cuenta para ello la densidad de plantas por hectárea (multiplicar por 10.000 m² y luego dividir entre el número de plantas por hectárea). - Convertir de biomasa/planta a peso de racimo. La conversión de materia seca a peso total, parte de la premisa de que la biomasa seca, es el 25% de la masa total. (El peso total se calcula como Biomasa seca/0.25 y luego se divide en 1000 para 	Periodo de desarrollo de racimo finalizando en cosecha.	Peso de racimo semanal medido en momento de acopio para comparar con peso potencial de racimo calculado.



			pasar a kg). - Pasar a toneladas/ha (Esta conversión se realiza teniendo en cuenta la densidad de siembra) *Toda biomasa acumulada de floración a cosecha es racimo.		
--	--	--	--	--	--

En la **Tabla 9** y **Tabla 10** se presentan dos estimaciones del peso potencial de racimo en las dos regiones productoras de banano referenciadas para la validación en una primera versión de los cálculos determinados. En ambas regiones se estimó el peso potencial del racimo para las cuatro semanas en las que habitualmente se realiza la cosecha de la fruta de banano (semana 9, 10, 11 y 12). En la zona bananera de Perú el peso potencial del racimo incluyendo el raquis varió de 27.84 kg en la semana 9 a 40.23 kg en la semana 12, mientras que bajo las condiciones climáticas de Colombia el peso potencial vario de 42,89 kg en la semana 9 a 57,79 kg en la semana 12.



Tabla 9. Cálculo del peso potencial de racimo en la zona productoras de banano en Perú

Fecha	Promedio Radiación diaria recibida durante el periodo de formación de racimo (MJ/m ²)	Promedio Radiación diaria interceptada durante periodo de formación de racimo $I=I_0(1-e^{-KL})$. (MJ/m ²)	Biomasa generada (multiplicar por 1,5 g MJ) (g)	Biomasa materia seca por planta (g) (multiplicar por (10,000m ² /#plantas). *para este ejemplo se usó una densidad de 1600planta /ha	Conversión de biomasa materia seca a peso fresco racimo (kg). (25% de la biomasa seca corresponde al racimo)	Toneladas/ha * para este ejemplo se usó una densidad de 1600 plantas/ha (tasa de retorno 1,0)	Días	Semana
27-nov-21	14,73	13,46	20,19	126,16	0,50	0,81	1	1
28-nov-21	10,66	9,74	14,61	91,33	0,37	0,58	2	
29-nov-21	12,31	11,25	16,87	105,44	0,42	0,67	3	
30-nov-21	15,12	13,82	20,72	129,53	0,52	0,83	4	
1-dic-21	6,26	5,72	8,58	53,59	0,21	0,34	5	
2-dic-21	14,24	13,01	19,52	122,01	0,49	0,78	6	
3-dic-21	14,49	13,24	19,86	124,12	0,50	0,79	7	
4-dic-21	4,47	4,08	6,12	38,27	0,15	0,24	8	2
5-dic-21	12,39	11,32	16,98	106,15	0,42	0,68	9	
6-dic-21	6,56	6,00	8,99	56,21	0,22	0,36	10	
7-dic-21	13,21	12,07	18,11	113,18	0,45	0,72	11	
8-dic-21	16,26	14,86	22,28	139,28	0,56	0,89	12	
9-dic-21	11,13	10,17	15,25	95,31	0,38	0,61	13	
10-dic-21	13,45	12,29	18,43	115,20	0,46	0,74	14	
11-dic-21	15,78	14,42	21,63	135,18	0,54	0,87	15	3
12-dic-21	7,05	6,44	9,66	60,37	0,24	0,39	16	
13-dic-21	18,37	16,79	25,18	157,39	0,63	1,01	17	
14-dic-21	7,67	7,01	10,52	65,73	0,26	0,42	18	
15-dic-21	18,24	16,67	25,00	156,26	0,63	1,00	19	
16-dic-21	14,13	12,92	19,37	121,08	0,48	0,77	20	
17-dic-21	14,36	13,12	19,68	123,03	0,49	0,79	21	
18-dic-21	13,53	12,36	18,54	115,89	0,46	0,74	22	4
19-dic-21	14,09	12,87	19,31	120,66	0,48	0,77	23	



20-dic-21	13,26	12,12	18,17	113,58	0,45	0,73	24	5
21-dic-21	14,28	13,05	19,57	122,34	0,49	0,78	25	
22-dic-21	11,58	10,59	15,88	99,23	0,40	0,64	26	
23-dic-21	16,88	15,42	23,13	144,58	0,58	0,93	27	
24-dic-21	15,33	14,00	21,01	131,29	0,53	0,84	28	
25-dic-21	13,40	12,24	18,36	114,78	0,46	0,73	29	
26-dic-21	11,44	10,45	15,67	97,95	0,39	0,63	30	
27-dic-21	13,01	11,88	17,83	111,41	0,45	0,71	31	
28-dic-21	5,86	5,35	8,03	50,20	0,20	0,32	32	
29-dic-21	4,66	4,26	6,39	39,95	0,16	0,26	33	
30-dic-21	15,31	13,99	20,98	131,11	0,52	0,84	34	
31-dic-21	4,55	4,16	6,24	38,98	0,16	0,25	35	
1-ene-22	14,64	13,38	20,07	125,44	0,50	0,80	36	6
2-ene-22	17,95	16,40	24,60	153,76	0,62	0,98	37	
3-ene-22	9,94	9,08	13,62	85,11	0,34	0,54	38	
4-ene-22	14,56	13,30	19,95	124,70	0,50	0,80	39	
5-ene-22	11,27	10,30	15,45	96,58	0,39	0,62	40	
6-ene-22	15,64	14,29	21,44	134,01	0,54	0,86	41	
7-ene-22	14,27	13,04	19,56	122,24	0,49	0,78	42	
8-ene-22	14,65	13,39	20,08	125,52	0,50	0,80	43	
9-ene-22	15,60	14,25	21,38	133,60	0,53	0,86	44	7
10-ene-22	11,11	10,15	15,23	95,20	0,38	0,61	45	
11-ene-22	5,60	5,11	7,67	47,93	0,19	0,31	46	
12-ene-22	10,29	9,40	14,10	88,10	0,35	0,56	47	
13-ene-22	11,24	10,27	15,40	96,28	0,39	0,62	48	
14-ene-22	12,98	11,86	17,79	111,17	0,44	0,71	49	
15-ene-22	13,35	12,19	18,29	114,33	0,46	0,73	50	
16-ene-22	14,86	13,58	20,36	127,28	0,51	0,81	51	8
17-ene-22	13,31	12,16	18,24	113,98	0,46	0,73	52	
18-ene-22	19,37	17,70	26,55	165,91	0,66	1,06	53	
19-ene-22	13,81	12,62	18,92	118,27	0,47	0,76	54	

20-ene-22	11,99	10,96	16,43	102,72	0,41	0,66	55	9
21-ene-22	10,39	9,49	14,24	88,98	0,36	0,57	56	
22-ene-22	16,39	14,98	22,47	140,44	0,56	0,90	57	
23-ene-22	18,16	16,59	24,88	155,53	0,62	1,00	58	
24-ene-22	18,68	17,06	25,60	159,97	0,64	1,02	59	
25-ene-22	8,97	8,19	12,29	76,82	0,31	0,49	60	
26-ene-22	16,11	14,72	22,08	137,98	0,55	0,88	61	
27-ene-22	15,02	13,72	20,58	128,64	0,51	0,82	62	
28-ene-22	14,22	13,00	19,50	121,85	0,49	0,78	63	
29-ene-22	18,56	16,96	25,44	158,98	0,64	1,02	64	10
30-ene-22	16,88	15,43	23,14	144,63	0,58	0,93	65	
31-ene-22	16,59	15,16	22,74	142,15	0,57	0,91	66	
1-feb-22	20,07	18,34	27,50	171,89	0,69	1,10	67	
2-feb-22	14,18	12,95	19,43	121,43	0,49	0,78	68	
3-feb-22	17,06	15,59	23,38	146,13	0,58	0,94	69	
4-feb-22	20,20	18,46	27,69	173,05	0,69	1,11	70	
5-feb-22	19,41	17,73	26,60	166,25	0,66	1,06	71	11
6-feb-22	19,18	17,52	26,28	164,27	0,66	1,05	72	
7-feb-22	15,23	13,92	20,88	130,47	0,52	0,84	73	
8-feb-22	5,75	5,25	7,88	49,25	0,20	0,32	74	
9-feb-22	16,64	15,20	22,80	142,53	0,57	0,91	75	
10-feb-22	17,77	16,23	24,35	152,20	0,61	0,97	76	
11-feb-22	15,67	14,32	21,48	134,22	0,54	0,86	77	
12-feb-22	17,95	16,40	24,60	153,78	0,62	0,98	78	
13-feb-22	19,60	17,91	26,86	167,88	0,67	1,07	79	12
14-feb-22	20,34	18,59	27,88	174,26	0,70	1,12	80	
15-feb-22	14,69	13,42	20,13	125,81	0,50	0,81	81	
16-feb-22	17,38	15,88	23,82	148,86	0,60	0,95	82	
17-feb-22	20,19	18,44	27,67	172,92	0,69	1,11	83	
18-feb-22	18,24	16,66	24,99	156,22	0,62	1,00	84	
19-feb-22	19,31	17,64	26,47	165,42	0,66	1,06	85	

20-feb-22	18,86	17,24	25,86	161,59	0,65	1,03	86
21-feb-22	21,79	19,91	29,86	186,63	0,75	1,19	87
22-feb-22	22,50	20,56	30,84	192,73	0,77	1,23	88
23-feb-22	22,28	20,36	30,54	190,85	0,76	1,22	89
24-feb-22	22,47	20,53	30,80	192,49	0,77	1,23	90
25-feb-22	22,00	20,10	30,15	188,45	0,75	1,21	91
Periodo de floración a cosecha	Sumatoria promedio Radiación diaria (MJ/m2)	Sumatoria promedio Radiación diaria interceptada (MJ/m2)	Sumatoria Biomasa generada (g)	Sumatoria Biomasa materia seca por planta (g)	Peso racimo por planta (kg).	Productividad (Toneladas/ha)	
Cosecha semana 9	812,41	742,31	1113,46	6959,11	27,84	44,54	
Cosecha semana 10	935,95	855,19	1282,78	8017,38	32,07	51,31	
Cosecha semana 11	1045,60	955,37	1433,05	8956,57	35,83	57,32	
Cosecha semana 12	1173,98	1072,67	1609,01	10056,30	40,23	64,36	

Tabla 10. Cálculo del peso potencial de racimo en la zona productoras de banano en el departamento del Magdalena, Colombia.

Fecha	Promedio Radiación diaria recibida durante el periodo de formación de racimo (MJ/m2)	Promedio Radiación diaria interceptada durante periodo de formación de racimo $I=I_0(1-e^{-KL})$. (MJ/m2)	Biomasa generada (multiplicar por 1,5 MJ) (g)	Biomasa materia seca por planta (g) (multiplicar por (10,000m2/#plantas). *para este ejemplo se usó una densidad de 1600planta /ha	Conversión de biomasa materia seca a peso fresco racimo (kg). (25% de la biomasa seca corresponde al racimo)	Toneladas/ha * para este ejemplo se usó una densidad de 1600 plantas/ha (tasa de retorno 1,0)	Días	Semana
18-dic-21	15,01	13,71	20,57	128,53	0,51	0,82	22	1
19-dic-21	18,67	17,06	25,59	159,93	0,64	1,02	23	
20-dic-21	18,01	16,46	24,68	154,28	0,62	0,99	24	
21-dic-21	16,71	15,27	22,90	143,12	0,57	0,92	25	

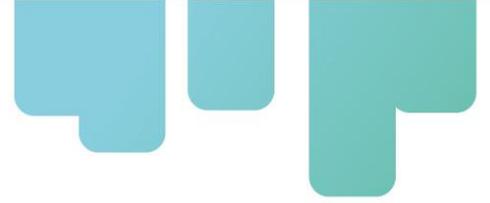


22-dic-21	15,23	13,91	20,87	130,44	0,52	0,83	26	2
23-dic-21	18,06	16,50	24,75	154,68	0,62	0,99	27	
24-dic-21	18,63	17,02	25,53	159,59	0,64	1,02	28	
25-dic-21	19,52	17,83	26,75	167,17	0,67	1,07	29	
26-dic-21	19,45	17,77	26,66	166,62	0,67	1,07	30	
27-dic-21	19,24	17,58	26,36	164,77	0,66	1,05	31	
28-dic-21	19,87	18,16	27,24	170,23	0,68	1,09	32	
29-dic-21	19,40	17,72	26,58	166,15	0,66	1,06	33	
30-dic-21	18,61	17,01	25,51	159,43	0,64	1,02	34	
31-dic-21	20,07	18,34	27,51	171,95	0,69	1,10	35	
1-ene-22	20,05	18,32	27,48	171,74	0,69	1,10	36	
2-ene-22	19,83	18,12	27,18	169,89	0,68	1,09	37	3
3-ene-22	19,84	18,12	27,19	169,92	0,68	1,09	38	
4-ene-22	19,94	18,22	27,33	170,81	0,68	1,09	39	
5-ene-22	20,26	18,51	27,77	173,55	0,69	1,11	40	
6-ene-22	20,51	18,74	28,11	175,69	0,70	1,12	41	
7-ene-22	20,43	18,67	28,00	175,01	0,70	1,12	42	
8-ene-22	15,21	13,90	20,85	130,32	0,52	0,83	43	
9-ene-22	20,04	18,31	27,47	171,68	0,69	1,10	44	
10-ene-22	17,09	15,61	23,42	146,36	0,59	0,94	45	
11-ene-22	16,07	14,69	22,03	137,69	0,55	0,88	46	
12-ene-22	20,73	18,94	28,41	177,57	0,71	1,14	47	
13-ene-22	19,20	17,55	26,32	164,49	0,66	1,05	48	
14-ene-22	18,35	16,76	25,14	157,15	0,63	1,01	49	
15-ene-22	20,52	18,75	28,12	175,74	0,70	1,12	50	
16-ene-22	18,51	16,91	25,37	158,57	0,63	1,01	51	5
17-ene-22	20,67	18,89	28,33	177,08	0,71	1,13	52	
18-ene-22	19,30	17,63	26,45	165,29	0,66	1,06	53	
19-ene-22	21,14	19,32	28,98	181,11	0,72	1,16	54	
20-ene-22	20,67	18,88	28,33	177,04	0,71	1,13	55	
21-ene-22	20,04	18,31	27,47	171,67	0,69	1,10	56	



22-ene-22	20,33	18,57	27,86	174,11	0,70	1,11	57	6
23-ene-22	19,15	17,50	26,25	164,06	0,66	1,05	58	
24-ene-22	21,49	19,63	29,45	184,04	0,74	1,18	59	
25-ene-22	20,78	18,99	28,48	178,01	0,71	1,14	60	
26-ene-22	17,39	15,89	23,84	148,98	0,60	0,95	61	
27-ene-22	20,12	18,38	27,58	172,36	0,69	1,10	62	
28-ene-22	21,19	19,36	29,04	181,48	0,73	1,16	63	
29-ene-22	20,20	18,46	27,69	173,07	0,69	1,11	64	
30-ene-22	20,66	18,87	28,31	176,95	0,71	1,13	65	7
31-ene-22	21,97	20,08	30,11	188,20	0,75	1,20	66	
1-feb-22	22,15	20,24	30,36	189,75	0,76	1,21	67	
2-feb-22	21,78	19,90	29,85	186,58	0,75	1,19	68	
3-feb-22	21,66	19,79	29,68	185,52	0,74	1,19	69	
4-feb-22	21,10	19,28	28,92	180,74	0,72	1,16	70	
5-feb-22	21,39	19,55	29,32	183,27	0,73	1,17	71	
6-feb-22	22,21	20,29	30,43	190,21	0,76	1,22	72	
7-feb-22	20,69	18,90	28,35	177,19	0,71	1,13	73	8
8-feb-22	21,70	19,83	29,75	185,92	0,74	1,19	74	
9-feb-22	16,47	15,05	22,57	141,05	0,56	0,90	75	
10-feb-22	19,58	17,89	26,84	167,72	0,67	1,07	76	
11-feb-22	22,27	20,34	30,52	190,73	0,76	1,22	77	
12-feb-22	20,80	19,01	28,51	178,18	0,71	1,14	78	
13-feb-22	21,69	19,82	29,72	185,77	0,74	1,19	79	
14-feb-22	20,63	18,85	28,28	176,73	0,71	1,13	80	
15-feb-22	21,53	19,67	29,51	184,44	0,74	1,18	81	9
16-feb-22	22,80	20,83	31,24	195,27	0,78	1,25	82	
17-feb-22	22,74	20,78	31,16	194,77	0,78	1,25	83	
18-feb-22	22,54	20,60	30,89	193,09	0,77	1,24	84	
19-feb-22	22,09	20,18	30,27	189,19	0,76	1,21	85	
20-feb-22	22,68	20,73	31,09	194,31	0,78	1,24	86	
21-feb-22	22,71	20,75	31,12	194,50	0,78	1,24	87	

22-feb-22	22,85	20,88	31,32	195,76	0,78	1,25	88	11
23-feb-22	22,10	20,19	30,29	189,32	0,76	1,21	89	
24-feb-22	22,58	20,63	30,95	193,41	0,77	1,24	90	
25-feb-22	22,65	20,70	31,05	194,04	0,78	1,24	91	
26-feb-22	22,05	20,14	30,22	188,86	0,76	1,21	92	
27-feb-22	20,87	19,07	28,60	178,76	0,72	1,14	93	
28-feb-22	16,72	15,28	22,92	143,24	0,57	0,92	94	
1-mar-22	19,15	17,49	26,24	164,00	0,66	1,05	95	
2-mar-22	20,31	18,56	27,84	174,01	0,70	1,11	96	
3-mar-22	22,08	20,18	30,27	189,16	0,76	1,21	97	
4-mar-22	23,20	21,19	31,79	198,69	0,79	1,27	98	
5-mar-22	21,74	19,86	29,80	186,23	0,74	1,19	99	12
6-mar-22	23,41	21,39	32,09	200,54	0,80	1,28	100	
7-mar-22	17,41	15,91	23,86	149,13	0,60	0,95	101	
8-mar-22	21,72	19,84	29,77	186,05	0,74	1,19	102	
9-mar-22	24,14	22,06	33,08	206,77	0,83	1,32	103	
10-mar-22	22,22	20,31	30,46	190,37	0,76	1,22	104	
11-mar-22	2,04	1,86	2,79	17,45	0,07	0,11	105	
Periodo de floración a cosecha	Sumatoria promedio Radiación diaria (MJ/m2)	Sumatoria promedio Radiación diaria interceptada (MJ/m2)	Sumatoria Biomasa generada (g)	Sumatoria Biomasa materia seca por planta (g)	Peso racimo por planta (kg).	Productividad (Toneladas/ha)		
Cosecha semana 9	1251,87	1143,84	1715,76	10723,49	42,89	68,63		
Cosecha semana 10	1409,53	1287,90	1931,85	12074,03	48,30	77,27		
Cosecha semana 11	1553,91	1419,81	2129,72	13310,76	53,24	85,19		
Cosecha semana 12	1686,59	1541,05	2311,57	14447,31	57,79	92,46		



3.2.2 Demanda potencial de nutrientes para compensar salida de nutrientes.

Existen varios métodos para calcular las necesidades de fertilizante de un cultivo, entre ellos se puede mencionar: 1) Fertilización a partir de niveles críticos a nivel edáfico y en tejido foliar. El nivel crítico corresponde a la concentración de nutrientes en suelo o tejido foliar donde la planta expresa su mayor rendimiento productivo (90 – 95% de productividad). 2) Diagnóstico visual por sintomatología expresada por la planta ante la deficiencia o exceso de un nutriente, y 3) Reposición de nutrientes que salieron del cultivo, para este caso se tiene en cuenta la extracción de nutrientes por la fruta (Obreza y Morgan, 2008). Para el caso de la aplicación °AHOra se tomó este último método, es decir, calcular los nutrientes que son extraídos por los racimos y por tanto llevados fuera del sistema, para así poder reponerlos al suelo. Para ello, la aplicación tiene en cuenta las extracciones propuestas por Bertsch (2003) y IFA (1992) con algunos complementos propuestos por los autores.

La manera de cuantificar los nutrientes a reponer es a partir de la radiación solar, ya que la nueva biomasa tiene un contenido de nutrientes que tiene que absorber. El indicador que se propone es la cantidad de nutrientes a aplicar para compensar la salida de nutrientes en los racimos potenciales. En este sentido, para el cálculo de los nutrientes a reponer inicialmente se cuantifica la biomasa de racimo, es decir, el peso potencial del racimo y posteriormente a partir de la extracción de cada nutriente por tonelada cosechada (**Tabla 11**), se cuantifica la cantidad de nutrientes para aplicar en el siguiente ciclo de cultivo.

Tabla 11. Extracción de nutrientes (en kg) por cada mil kilogramos (o tonelada) cosechados de banana para los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Na, S. Extracción de nutrientes (en g) por cada mil kilogramos (o tonelada) cosechados de banana para los nutrientes Fe, Cu, Mn, Zn, B.

N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
----- kg/t cosechada-----							-----g/ t cosechada-----				
2,00	0,40	6,00	1,00	0,18	0,01	0,23	4,01	0,77	1,23	1,12	5,68

Fuente: Bertsch (2003) y IFA (1992) con algunos complementos propuestos por los autores.

Teniendo en cuenta los pesos potenciales de los racimos de 36,40 kg en Perú (**Tabla 9**) y 48,30 kg en Colombia (**Tabla 10**), en las **Tabla 12** y **Tabla 13** se presentan las cantidades de nutrientes a reponer al suelo en el siguiente ciclo de cultivo.

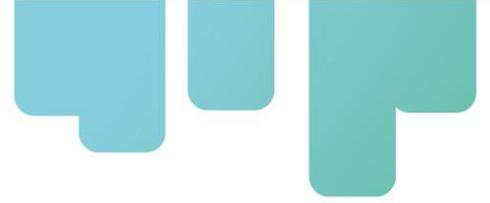
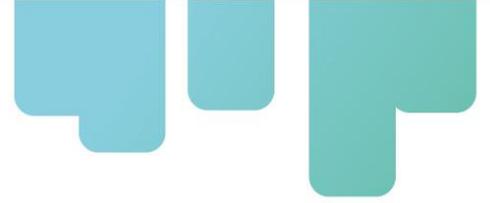


Tabla 12. Nutrientes para reponer en el siguiente ciclo de cosecha en una zona productora de banano en Querecotillo, Perú.

Extracción de nutrientes por la fruta											
Peso del racimo (kg)	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	(Kg t ⁻¹)						(g t ⁻¹)				
	2	0,4	6	1	0,18	0,23	4,01	0,77	1,23	1,12	5,68
32,07	Cantidad de nutrientes a reponer por planta para el siguiente ciclo fenológico (gramos)										
	64,14	12,83	192,42	32,07	5,77	7,38	0,13	0,02	0,04	0,04	0,18
Densidad de siembra	Cantidad aplicar por hectárea en función de la densidad de siembra (Kilogramos)										
	1600	102,62	20,52	307,87	51,31	9,24	11,80	0,21	0,04	0,06	0,06

Tabla 13. Nutriente para reponer en el siguiente ciclo de cosecha en una zona productora de banano en el departamento del Magdalena, Colombia.

Extracción de nutrientes por la fruta											
Peso del racimo (kg)	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	(Kg t ⁻¹)						(g t ⁻¹)				
	2	0,4	6	1	0,18	0,23	4,01	0,77	1,23	1,12	5,68
48,30	Cantidad de nutrientes a reponer por planta para el siguiente ciclo fenológico (gramos)										
	96,60	19,32	289,80	48,30	8,69	11,11	0,19	0,04	0,06	0,05	0,27
Densidad de siembra	Cantidad aplicar por hectárea en función de la densidad de siembra (Kilogramos)										
	1600	154,56	30,91	463,68	77,28	13,21	17,77	0,31	0,06	0,10	0,09



3.3 Evapotranspiración Potencial (EVT_{Po}) para calcular demanda de agua de riego.

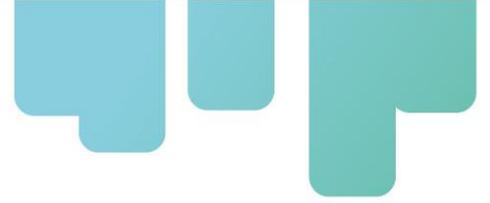
El cultivo de banano es muy sensible a la falta de agua, especialmente en la tasa de emisión de hojas, el cual se ha demostrado que es el motor del desarrollo de los ciclos de producción de racimos y nuevos tallos. La **Tabla 14** resume información básica sobre la manera en que la plataforma de cálculos medirá la demanda de agua por el cultivo a partir de datos meteorológicos.

Tabla 14. Resumen del indicador – demanda hídrica del cultivo.

Indicador	Importancia	Datos meteorológicos necesarios para el cálculo y supuestos	Ecuación (toman en cuenta elementos progresivos en estimación de demanda de agua)	Período de cálculo	Medición del productor para comparar
Demanda de agua de riego	Asegurar humedad adecuada es un elemento de manejo importante para la productividad del cultivo en campo	Radiación, temperatura, humedad relativa, viento y precipitación	Sumar la EVT _{Po} diaria durante 7 días = demanda de agua de la planta; periodo de cálculo; resta la precipitación efectiva = déficit a cubrir; Incorporar eficiencia del sistema de riego	Cálculo por semana con base a EVT _{Po} con opción de sumar por periodo deseado - 7, 14 y 28 días	Agua aplicada en cada turno de agua

Las estaciones meteorológicas digitalizadas que instalan muchos proyectos para mejorar la información climática toman los datos fundamentales en el cálculo de evapotranspiración potencial- EVT_{Po}, a través de variables como radiación, viento, precipitación y humedad relativa. Con base a esto se desarrolla el cálculo como parte de su programación básica. No es un dato pronosticado frecuentemente ni usado en los análisis históricos, pero este dato permite responder a una serie de variables sobre el manejo de agua de riego.

A través de la descripción anterior cuatro (4) preguntas se podrían responder con una secuencia de cálculos para dar sentido a la EVT_{Po} de una estación meteorológica local. Los resultados se pueden reportar como lámina de agua (mm), metros cúbicos/ha o litros/ha con la conversión 1 mm agua = 10 m³/ha = 10000 litros/ha.



La información presentada les permite a los productores convertir sus apreciaciones cualitativas sobre la demanda de agua a cuantitativas, para lo cual se sugieren las siguientes preguntas:

1. *¿Cuánta agua usó el sistema productivo durante los últimos siete (7) días?*
2. *¿Cuánta agua faltó para cubrir con riego en los últimos siete (7) días?*
3. *¿He regado bien en los últimos 7, 14 o 28 días para tener al sistema productivo sin restricciones hídricas?*
4. *¿Cuánto es el turno máximo de riego en este momento del ciclo?*

En las secciones que sigue se detallará los cálculos para responder a cada pregunta. El productor puede actualizar su aplicativo para tener una respuesta para los siete días previos. Todos los cálculos están hechos con parámetros diarios para generar datos resumen cada siete días, el cual se puede sumar para tener cálculos de 14, 21 o 28 días según el turno de riego.

1. *¿Cuánta agua usó el sistema productivo del banano durante los últimos siete (7) días?*

Para responder esta primera pregunta, el cálculo es simplemente la suma de EVTPO diaria durante los siete días previos * coeficiente del cultivo en función de la etapa fenológica- Kc (0,15 etapa inicial – 1,05 etapa media y 0,90 etapa final (Allen, 2006)). La **Tabla 15** detalla un ejemplo del cálculo de la demanda de agua para la zona de Querecotillo, Sullana, Perú, en dos épocas con un rango de 25 - 31 mm y 30 - 45 mm, respectivamente. Este dato no se presta para una comparación con las prácticas en la finca. Para fines de comparación se debe presentar el promedio a mediano plazo si está disponible de una estación tradicional del instituto nacional de meteorología o con períodos previos en el mismo año.

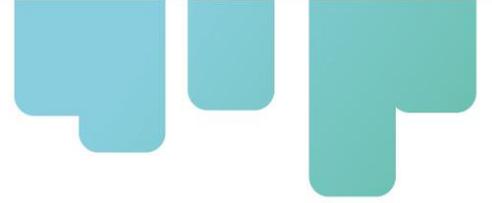


Tabla 15. Cálculo de demanda de agua de una plantación de banano con un mes de datos (tres (3) semanas de cálculo), Querecotillo, Sullana, Perú en época de frío y calor para el coeficiente del cultivo medio durante el segundo año.

Época Frío	EVTPo	EVTPo*kc	Agua consumida-mm (Suma 7 días)	Época Calor	EVTPo	EVTPo* Kc	Agua consumida-mm (Suma 7 días)
8/01/2017	5	4,5		3/01/2018	6,8	6,12	
8/02/2017	3,9	3,51		3/02/2018	7	6,3	
8/03/2017	3,6	3,24		3/03/2018	5,7	5,13	
8/04/2017	3,1	2,79		3/04/2018	6	5,4	
8/05/2017	4,4	3,96		3/05/2018	6,7	6,03	
8/06/2017	4,9	4,41		3/06/2018	7,1	6,39	
8/07/2017	5,1	4,59	27,00	3/07/2018	6,5	5,85	41,22
8/08/2017	2,8	2,52	25,02	3/08/2018	7,3	6,57	41,67
8/09/2017	4,3	3,87	25,38	3/09/2018	7,7	6,93	42,3
8/10/2017	4,3	3,87	26,01	3/10/2018	6,5	5,85	43,02
8/11/2017	4,2	3,78	27,00	3/11/2018	7,3	6,57	44,19
8/12/2017	5,5	4,95	27,99	3/12/2018	6,3	5,67	43,83
8/13/2017	4,8	4,32	27,90	3/13/2018	6,3	5,67	43,11
8/14/2017	4,5	4,05	27,36	3/14/2018	7,1	6,39	43,65
8/15/2017	5,2	4,68	29,52	3/15/2018	7,4	6,66	43,74
8/16/2017	4,2	3,78	29,43	3/16/2018	5,9	5,31	42,12
8/17/2017	4,7	4,23	29,79	3/17/2018	6	5,4	41,67
8/18/2017	5,2	4,68	30,69	3/18/2018	5,4	4,86	39,96
8/19/2017	5,2	4,68	30,42	3/19/2018	5,9	5,31	39,6
8/20/2017	4,9	4,41	30,51	3/20/2018	6,9	6,21	40,14
8/21/2017	4,1	3,69	30,15	3/21/2018	6,8	6,12	39,87
8/22/2017	2	1,8	27,27	3/22/2018	6,9	6,21	39,42
8/23/2017	4,6	4,14	27,63	3/23/2018	6,6	5,94	40,05
8/24/2017	4,2	3,78	27,18	3/24/2018	3,6	3,24	37,89
8/25/2017	4,5	4,05	26,55	3/25/2018	6,1	5,49	38,52
8/26/2017	5,1	4,59	26,46	3/26/2018	7,3	6,57	39,78
8/27/2017	5,3	4,77	26,82	3/27/2018	1,4	1,26	34,83
8/28/2017	5,3	4,77	27,9	3/28/2018	1,5	1,35	30,06

2. ¿Cuánta agua faltó para cubrir con riego los últimos siete (7) días?

En esta segunda pregunta se toma en cuenta la cantidad de lluvia caída en el mismo período de cálculo de EVTPo para los siete (7) días. Este cálculo se realiza retomando el valor de la primera pregunta y restando la lluvia efectiva caída en los siete días del periodo de cálculo. La relación entre evapotranspiración y precipitación sin conversión a las necesidades del cultivo a menudo se ilustra con curvas anuales de las dos variables mensualmente que muestran a grandes rasgos los periodos de déficit y exceso hídrico (**Figura 5**).

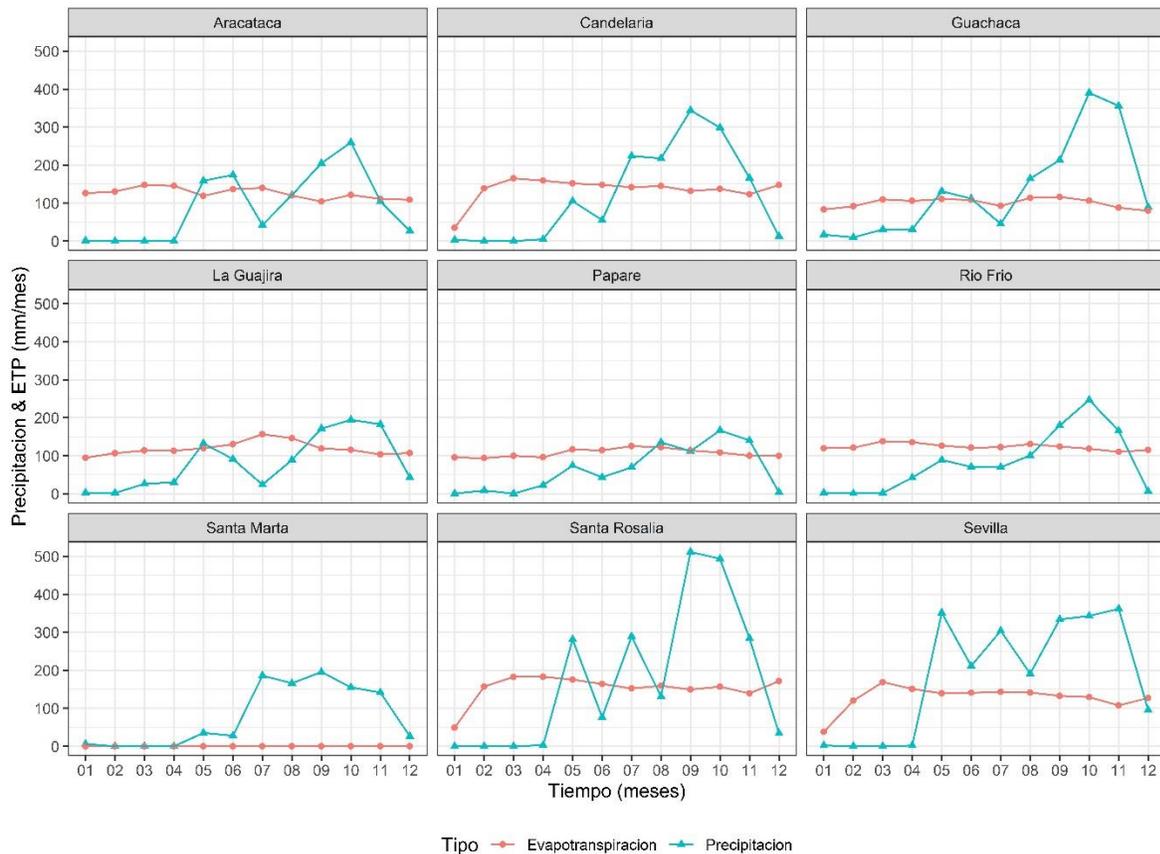
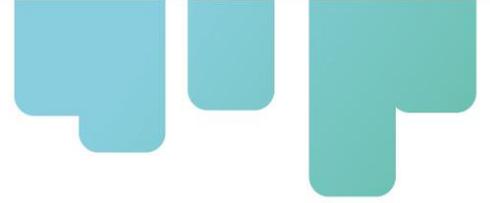


Figura 5. Evapotranspiración potencial y precipitación durante la fenología del cultivo de banano para un año de producción en nueve zonas del Magdalena y La Guajira- Colombia.

El cálculo de lluvia efectiva durante siete días previos es la cantidad de lluvia que infiltra al suelo y la lluvia total caída sin incluir días con cinco (5) mm o menos, ya que las lluvias menores de cinco (5) mm se quedan en las hojas sin infiltrar el suelo, menos el potencial de infiltración durante los siete días previos. Si la diferencia es mayor a cero, la lluvia efectiva es igual al potencial de infiltración, es decir, una parte de la lluvia no contribuye a satisfacer la demanda hídrica, mientras que, si la diferencia es menor a cero, la lluvia efectiva es igual a la lluvia total caída.



El potencial de infiltración durante los siete días previos se calcula como la suma de la capacidad del suelo para almacenar agua aprovechable según la textura y la evapotranspiración potencial del cultivo durante el período de los siete días. La capacidad del suelo para almacenar agua aprovechable es igual a la densidad aparente*profundidad de enraizamiento o infiltración*capacidad del suelo según su textura y otros factores para retener agua (% capacidad de campo – % punto marchitez permanente) *50% (considerada agua aprovechable).

La **Tabla 16**, **Tabla 17** y **Tabla 18** muestran tres datos para completar el cálculo de la capacidad de suelos de diferentes texturas para almacenar agua. Aunque es posible generar los datos de densidad aparente y retención de agua para los suelos de cada parcela, son análisis costosos y no son factibles para realizar, por lo cual se sugiere realizar una primera estimación con valores promedio.

Tabla 16. Parámetros para calcular capacidad del suelo para almacenar agua de suelos de tres texturas.

Textura	Densidad aparente g/cc	CC (capacidad de campo) %	PMP (punto de marchitez permanente) %	CC-PMP	% Agua aprovechable
Arenosa	1,65	9	4	5	2,5
Franco	1,25	19,5	10	9,5	4,75
Arcillosa	1,3	17	3	14	7

Fuente: Tapia y Fagiani (2011).

Tabla 17. Parámetros para calcular la capacidad del suelo para almacenar agua en función de la textura del suelo.

Textura	Densidad aparente g/cc	CC (capacidad de campo) %	PMP %	CC-PMP	% Agua aprovechable
Arenosa	1,43	10	5	5	2,5
Franco arenoso	1,46	18	8	10	5
Franco	1,43	28	14	14	7
Franco arcilloso	1,39	36	22	14	7
Franco arenoso arcilloso	1,5	27	17	10	5
Arcillosa	1,33	42	30	12	6

Fuente: Saxton y Rawls (2006).

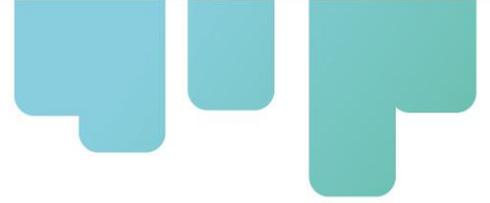


Tabla 18. Parámetros para calcular capacidad del suelo para almacenar agua de suelos de ocho texturas.

Textura del suelo	Capacidad de campo	Punto de marchitez	CC - PM	% Agua aprovechable
Arenoso	9 %	2 %	7 %	3.5%
Arenoso-franco	14 %	4 %	10 %	5%
Franco-Arenoso-Limoso	23 %	9 %	14 %	7%
Franco-Arenoso + materia orgánica	29 %	10 %	19 %	9.5%
Franco	34 %	12 %	22 %	11%
Franco-Arcilloso	30 %	16 %	14 %	7%
Arcilloso	38 %	24 %	14 %	7%
Arcilloso con buena estructura	50 %	30 %	20 %	10%

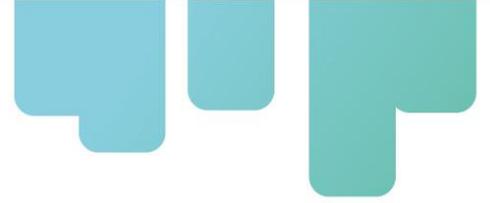
Fuente: García y Sandoval, 2011.

Aplicando los datos de la **Tabla 16 y Tabla 17**, en la fórmula para calcular la capacidad de un suelo franco para almacenar agua, se tienen los siguientes valores para diferentes profundidades (**Tabla 19**):

Tabla 19. Capacidad de un suelo franco para almacenar agua a diferentes profundidades.

Profundidad considerada en cálculo	Tapia y Fagiani (2011)	Saxton y Rawls (2006)
Profundidad de mayoría de raíces en banano – 30 cm	18 mm	30 mm
Profundidad de casi total de raíces – 50 cm	30 mm	50 mm
Profundidad movimiento por acción de capilaridad – 70 cm	42 mm	70 mm

En la **Tabla 20** y Error! Reference source not found. se muestran los ejemplos para dos épocas contrastantes para Querecotillo y Sullana en Perú. Marzo 2017 fue un mes de abundante precipitación, una situación no tan común en la Costa Norte de Perú, aunque marzo es el mes con mayores probabilidades de lluvias. Los dos datos la estación local – EVT y precipitación diaria – permiten calcular la EVTPo para una plantación establecida de banano y luego la lluvia efectiva para un suelo franco, cuando se resta la lluvia efectiva de la EVTPo. Cuando el número es negativo, la lluvia efectiva para los siete días cubre la demanda y no hay déficit hídrico. Cuando el número es positivo, la diferencia es la demanda de agua para asegurar que el cultivo no tenga deficiencia

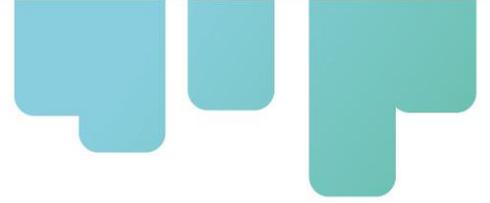


hídrica.

Para el ejercicio propuesto se puede observar que en la época lluviosa hay un déficit hídrico entre el 17 y 21 de marzo, cuya demanda hídrica para estos días varía entre 3,3 a 6,8 mm (**Tabla 20**), mientras que en el mes de marzo durante año seco hubo déficit hídrico durante todos los días evaluados (1 al 28 de marzo de 2017), lo que varía entre 30 – 45 mm (Error! Reference source not found.). En marzo 2018, no cayó agua en el mes y la demanda hídrica fue igual a la EVTPo de un sistema productivo de banano establecido. Los valores en las dos columnas de datos para el productor en azul fueron iguales.

Tabla 20. Cálculos para Querecotillo, Sullana, Perú para marzo 2017 (**lluvioso**). Como referencia se tuvo en cuenta Kc de 1,1. **Dato al productor en negrillo**

Fecha	EVTPo Estación	*1.1 Kc	Dato al productor	Cálculos en plataforma							Dato al productor	
			suma EVTPo 7 días en fila	Lluvia diaria mm	sin lluvias <5mm	suma 7 días en fila	capacidad suelo para infiltrar lluvia	lluvia - capacidad de suelo	lluvia efectiva	EVTPo-lluvia efectiva	Déficit hídrica	
3/1/2017	5,7	6,23		2,2								
3/2/2017	6,6	7,23		7,4	7,4							
3/3/2017	6,2	6,87		0,0	0,0							
3/4/2017	4,5	4,97		12,2	12,2							
3/5/2017	5,4	5,96		11,4	11,4							
3/6/2017	4,5	4,90		20,6	20,6							
3/7/2017	4,0	4,45	40,61	9,6	9,6	61,2	70,61	-9,41	61,20	-20,59	0	
3/8/2017	4,9	5,43	39,82	20,0	20,0	81,2	69,82	11,38	69,82	-30,00	0	
3/9/2017	4,3	4,70	37,29	37,6	37,6	111,4	67,29	44,11	67,29	-30,00	0	
3/10/2017	3,7	4,05	34,46	0,6		111,4	64,46	46,94	64,46	-30,00	0	
3/11/2017	4,6	5,10	34,58	6,0	6,0	105,2	64,58	40,62	64,58	-30,00	0	
3/12/2017	5,3	5,87	34,50	1,4		93,8	64,50	29,30	64,50	-30,00	0	
3/13/2017	3,7	4,08	33,68	9,4	9,4	82,6	63,68	18,92	63,68	-30,00	0	
3/14/2017	0,6	0,69	29,92	9,0	9,0	82,0	59,92	22,08	59,92	-30,00	0	
3/15/2017	3,5	3,90	28,39	0,0	0,0	62,0	58,39	3,61	58,39	-30,00	0	
3/16/2017	4,4	4,83	28,52	4,6		24,4	58,52	-34,12	24,40	4,12	4,12	
3/17/2017	5,0	5,49	29,96	0,4		24,4	59,96	-35,56	24,40	5,56	5,56	
3/18/2017	5,5	6,03	30,89	0,0	0,0	18,4	60,89	-42,49	18,40	12,49	12,49	
3/19/2017	4,3	4,75	29,77	0,0	0,0	18,4	59,77	-41,37	18,40	11,37	11,37	
3/20/2017	5,0	5,48	31,17	18,8	18,8	27,8	61,17	-33,37	27,80	3,37	3,37	
3/21/2017	5,1	5,64	36,12	7,4	7,4	26,2	66,12	-39,92	26,20	9,92	9,92	
3/22/2017	4,6	5,10	37,31	112,2	112,2	138,4	67,31	71,09	67,31	-30,00	0	
3/23/2017	4,3	4,70	37,19	2,6		138,4	67,19	71,21	67,19	-30,00	0	
3/24/2017	4,9	5,36	37,06	3,8		138,4	67,06	71,34	67,06	-30,00	0	
3/25/2017	3,6	3,98	35,00	7,4	7,4	145,8	65,00	80,80	65,00	-30,00	0	
3/26/2017	3,7	4,11	34,36	75,2	75,2	221,0	64,36	156,64	64,36	-30,00	0	
3/27/2017	4,7	5,14	34,02	0,6		202,2	64,02	138,18	64,02	-30,00	0	



3/28/2017	4,4	4,85	33,23	1,2		194,8	63,23	131,57	63,23	-30,00	0
-----------	-----	------	--------------	-----	--	-------	-------	--------	-------	--------	----------

Tabla 21. Cálculos para Querecotillo, Sullana, Perú para marzo 2018 (*sin lluvia*). Como referencia se tuvo en cuenta Kc de 1.1. **Dato al productor en negrillo**

	Dato estación	1.1*Kc	Dato al productor	Cálculos en plataforma							Dato al productor
	EVTPPo		suma EVTPo 7 días en fila	lluvia mm	sin lluvias <5mm	suma 7 días en fila	capacidad suelo para infiltrar lluvia	lluvia - capacidad de suelo	lluvia efectiva	EVTPo-lluvia efectiva	déficit hídrico
3/1/2018	6,8	7,52		0,0	0,0						
3/2/2018	7,0	7,71		0,0	0,0						
3/3/2018	5,7	6,24		0,0	0,0						
3/4/2018	6,0	6,60		0,0	0,0						
3/5/2018	6,7	7,40		0,0	0,0						
3/6/2018	7,1	7,80		0,0	0,0						
3/7/2018	6,5	7,14	50,40	0,0	0,0	0,0	80,40	-80,40	0	50,40	50,40
3/8/2018	7,3	8,00	50,89	0,0	0,0	0,0	80,89	-80,89	0	50,89	50,89
3/9/2018	7,7	8,44	51,61	0,0	0,0	0,0	81,61	-81,61	0	51,61	51,61
3/10/2018	6,5	7,18	52,56	0,0	0,0	0,0	82,56	-82,56	0	52,56	52,56
3/11/2018	7,3	8,04	53,99	0,0	0,0	0,0	83,99	-83,99	0	53,99	53,99
3/12/2018	6,3	6,98	53,57	0,0	0,0	0,0	83,57	-83,57	0	53,57	53,57
3/13/2018	6,3	6,93	52,71	0,0	0,0	0,0	82,71	-82,71	0	52,71	52,71
3/14/2018	7,1	7,78	53,35	0,0	0,0	0,0	83,35	-83,35	0	53,35	53,35
3/15/2018	7,4	8,18	53,53	0,0	0,0	0,0	83,53	-83,53	0	53,53	53,53
3/16/2018	5,9	6,49	51,58	0,0	0,0	0,0	81,58	-81,58	0	51,58	51,58
3/17/2018	6,0	6,59	50,99	0,0	0,0	0,0	80,99	-80,99	0	50,99	50,99
3/18/2018	5,4	5,99	48,95	0,0	0,0	0,0	78,95	-78,95	0	48,95	48,95
3/19/2018	5,9	6,44	48,41	0,0	0,0	0,0	78,41	-78,41	0	48,41	48,41
3/20/2018	6,9	7,55	49,02	0,0	0,0	0,0	79,02	-79,02	0	49,02	49,02
3/21/2018	6,8	7,52	48,76	0,0	0,0	0,0	78,76	-78,76	0	48,76	48,76
3/22/2018	6,9	7,61	48,19	0,0	0,0	0,0	78,19	-78,19	0	48,19	48,19
3/23/2018	6,6	7,22	48,92	0,0	0,0	0,0	78,92	-78,92	0	48,92	48,92
3/24/2018	3,6	4,00	46,34	0,0	0,0	0,0	76,34	-76,34	0	46,34	46,34
3/25/2018	6,1	6,76	47,10	0,0	0,0	0,0	77,10	-77,10	0	47,10	47,10
3/26/2018	7,3	7,99	48,65	0,0	0,0	0,0	78,65	-78,65	0	48,65	48,65
3/27/2018	1,4	1,53	42,63	0,0	0,0	0,0	72,63	-72,63	0	42,63	42,63
3/28/2018	1,5	1,60	36,70	0,0	0,0	0,0	66,70	-66,70	0	36,70	36,70

La presentación de este indicador en el aplicativo °AHOra sirve principalmente como contraste en el uso de agua (pregunta 1) y el déficit real a cubrir (pregunta 2). Los datos promedios de una estación oficial con varias décadas de datos podrían servir de contraste para mostrar como el año en curso está variando del año promedio.



3. ¿He regado bien en los últimos 7, 14, 21 o 28 días para tener el cultivo sin restricciones hídricas?

Este último cálculo está planteado para permitir al productor comparar una estimación de la cantidad de agua que aplicó en los últimos días tomando en cuenta el sistema de riego o la duración entre turnos de riego. Como punto de partida, se propone que el cálculo de agua a aplicar que genera el aplicativo °AHOra responda los tres posibles períodos:

- Riego microaspersión – 7 días
- Riego por Inundación con turnos entre 7 y 14 días – 14 días
- Riego por Inundación con turnos > 14 a 28 días – 28 días, aunque también se podrían ofrecer la opción de 21 días.

La conversión para el cálculo de agua es el siguiente, $1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3/\text{ha} = 10000 \text{ litros/ha}$. Una posible complicación para el productor podría ser que no tenga una medición muy precisa del área del sistema productivo del cultivo que está regando.

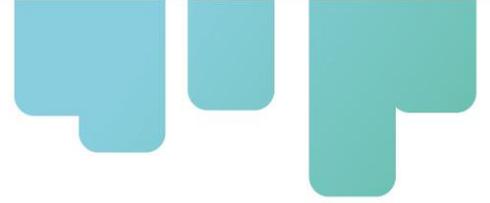
En términos generales, la cantidad de agua a aplicar es el agua que faltó siguiendo el cálculo en pregunta 2 dividido entre la eficiencia del sistema de riego. La eficiencia para los tres posibles tipos de riego es:

1. Inundación: 50%.
2. Microaspersión: 70%.
3. Goteo: 90%.



Tabla 22. Cálculos ilustrativos de diferentes supuestos de capacidad del suelo franco para almacenar agua aprovechable y su impacto en el déficit hídrico para marzo 2017, Querecotillo, Sullana, Perú.

fecha	Calculos basicos									30 mm - turno de 7 días a convertir con eficiencia micro aspersion				25 mm - turno 14 días a convertir con eficiencia inundacion				18 mm - turno 28 días a convertir con eficiencia inundacion			
	EVP	*1.1 Kc	suma 7 días en fila	lluvia mm	sin lluvias <5mm	suma 7 días en fila	capacidad suelo para infiltrar lluvia 30mm	capacidad suelo para infiltrar lluvia 25mm	capacidad suelo para infiltrar lluvia 18mm	lluvia - capacidad de suelo	lluvia efectiva	EVTPo-lluvia efectiva	deficit hidrico	lluvia - capacidad de suelo	lluvia efectiva	EVTPo-lluvia efectiva	deficit hidrico	lluvia - capacidad de suelo	lluvia efectiva	EVTPo-lluvia efectiva	deficit hidrico
3/1/2017	5.7	6.23		2.2																	
3/2/2017	6.6	7.23		7.4																	
3/3/2017	6.2	6.87		0.0	0.0																
3/4/2017	4.5	4.97		12.2	12.2																
3/5/2017	5.4	5.96		11.4	11.4																
3/6/2017	4.5	4.90		20.6	20.6																
3/7/2017	4.0	4.45	40.61	9.6	9.6	61.2	70.61	65.61	58.61	-9.41	58.60	-17.99	0.00	-4.41	58.10	-17.49	0.00	2.59	58.61	-18.00	0
3/8/2017	4.9	5.43	39.82	20.0	20.0	81.2	69.82	64.82	57.82	11.38	69.82	-30.00	0.00	16.38	64.82	-25.00	0.00	23.38	57.82	-18.00	0
3/9/2017	4.3	4.70	37.29	37.6	37.6	111.4	67.29	62.29	55.29	44.11	67.29	-30.00	0.00	49.11	62.29	-25.00	0.00	56.11	55.29	-18.00	0
3/10/2017	3.7	4.05	34.46	0.6		111.4	64.46	59.46	52.46	46.94	64.46	-30.00	0.00	51.94	59.46	-25.00	0.00	58.94	52.46	-18.00	0
3/11/2017	4.6	5.10	34.58	6.0	6.0	105.2	64.58	59.58	52.58	40.62	64.58	-30.00	0.00	45.62	59.58	-25.00	0.00	52.62	52.58	-18.00	0
3/12/2017	5.3	5.87	34.50	1.4		93.8	64.50	59.50	52.50	29.30	64.50	-30.00	0.00	34.30	59.50	-25.00	0.00	41.30	52.50	-18.00	0
3/13/2017	3.7	4.08	33.68	9.4	9.4	82.6	63.68	58.68	51.68	18.92	63.68	-30.00	0.00	23.92	58.68	-25.00	0.00	30.92	51.68	-18.00	0
3/14/2017	0.6	0.69	29.92	9.0	9.0	82.0	59.92	54.92	47.92	22.08	59.92	-30.00	0.00	27.08	54.92	-25.00	0.00	34.08	47.92	-18.00	0
3/15/2017	3.5	3.90	28.39	0.0	0.0	62.0	58.39	53.39	46.39	3.61	58.39	-30.00	0.00	8.61	53.39	-25.00	0.00	15.61	46.39	-18.00	0
3/16/2017	4.4	4.83	28.52	4.6		24.4	58.52	53.52	46.52	-34.12	24.4	4.12	4.12	-29.12	24.4	4.12	4.12	-22.12	24.4	4.12	4.12
3/17/2017	5.0	5.49	29.96	0.4		24.4	59.96	54.96	47.96	-35.56	24.4	5.56	5.56	-30.56	24.4	5.56	5.56	-23.56	24.4	5.56	5.56
3/18/2017	5.5	6.03	30.89	0.0	0.0	18.4	60.89	55.89	48.89	-42.49	18.4	12.49	12.49	-37.49	18.4	12.49	12.49	-30.49	18.4	12.49	12.49
3/19/2017	4.3	4.75	29.77	0.0	0.0	18.4	59.77	54.77	47.77	-41.37	18.4	11.37	11.37	-36.37	18.4	11.37	11.37	-29.37	18.4	11.37	11.37
3/20/2017	5.0	5.48	31.17	18.8	18.8	27.8	61.17	56.17	49.17	-33.37	27.8	3.37	3.37	-28.37	27.8	3.37	3.37	-21.37	27.8	3.37	3.37
3/21/2017	5.1	5.64	36.12	7.4	7.4	26.2	66.12	61.12	54.12	-39.92	26.2	9.92	9.92	-34.92	26.2	9.92	9.92	-27.92	26.2	9.92	9.92
3/22/2017	4.6	5.10	37.31	112.2	112.2	138.4	67.31	62.31	55.31	71.09	67.31	-30.00	0.00	76.09	62.31	-25.00	0.00	83.09	55.31	-18.00	0.00
3/23/2017	4.3	4.70	37.19	2.6		138.4	67.19	62.19	55.19	71.21	67.19	-30.00	0.00	76.21	62.19	-25.00	0.00	83.21	55.19	-18.00	0.00
3/24/2017	4.9	5.36	37.06	3.8		138.4	67.06	62.06	55.06	71.34	67.06	-30.00	0.00	76.34	62.06	-25.00	0.00	83.34	55.06	-18.00	0.00
3/25/2017	3.6	3.98	35.00	7.4	7.4	145.8	65.00	60.00	53.00	80.80	65.00	-30.00	0.00	85.80	60.00	-25.00	0.00	92.80	53.00	-18.00	0.00
3/26/2017	3.7	4.11	34.36	75.2	75.2	221.0	64.36	59.36	52.36	156.64	64.36	-30.00	0.00	161.64	59.36	-25.00	0.00	168.64	52.36	-18.00	0.00
3/27/2017	4.7	5.14	34.02	0.6		202.2	64.02	59.02	52.02	138.18	64.02	-30.00	0.00	143.18	59.02	-25.00	0.00	150.18	52.02	-18.00	0.00
3/28/2017	4.4	4.85	33.23	1.2		194.8	63.23	58.23	51.23	131.57	63.23	-30.00	0.00	136.57	58.23	-25.00	0.00	143.57	51.23	-18.00	0.00



La **Tabla 22** muestra los cálculos para diferentes intervalos entre riegos y las diferencias propuestas para el cálculo de lluvia efectiva. En el caso del mes de marzo, el cual fue lluvioso para 2017 y los déficits a cubrir no variaron.

La **Tabla 23**, resume los cálculos para aplicar las eficiencias de microaspersión e inundación para tres meses diferentes en Querecotillo, Sullana, Perú.

Los cálculos para microaspersión e inundación para los dos turnos de riego aplican diferentes tasas de eficiencia generándolo que genera las cantidades de agua a aplicar. Las sumas del agua a aplicar se muestran en la **Tabla 25**. Para calcular 14 o 28 días, se debe sumar de dos o cuatro periodos, tal como se señala en la **Tabla 25**).

Tabla 23. Resumen datos de los productores para calcular el agua a aplicar.

Fecha	Agua para aplicar en función de las necesidades hídricas de los últimos siete días con el sistema de riego por microaspersión (mm)				Agua para aplicar en función de las necesidades hídricas de los últimos 14 días con el sistema de riego por inundación (mm)		Agua para aplicar en función de las necesidades hídricas de los últimos 28 días con el sistema de riego por inundación (mm)
	0	0	14	0	0	20	20
mar-2017	0	0	14	0	0	20	20
mar-2018	72	76	70	52	208	171	379
ago-2017	47	48	53	49	133	142	275

4. ¿Cuánto es el turno máximo de riego para cada ciclo?

Otro dato por proporcionar a los productores es el *turno máximo* para el periodo, tomando en cuenta la demanda de agua de la planta a los siete días previos al día de consulta, el riego a la capacidad del suelo para almacenar humedad y la lluvia efectiva de los siete días previos. Una consulta semanal permite tomar en cuenta los cambios en la demanda y/o lluvia efectiva. Se propone variar la profundidad de agua aprovechable según la duración del turno del riego siguiendo las mismas profundidades planteadas. El cálculo se realiza de la siguiente manera:

Turno máximo (días) = (agua fácilmente aprovechable según textura de suelo y profundidad disponible + lluvia efectiva) / EVTPo diario promedio para el período.

Ejemplos para suelo franco:

7 de marzo 2018 – 7,2 mm correspondiente a la EVTPo de la semana previa, sin lluvia;

30 mm + 0 mm lluvia efectiva / 7,2 mm/día = 4 días;

50 mm + 0 mm lluvia efectiva / 7,2 mm/día = 7 días;



70 mm + 0 mm lluvia efectiva/7,2 mm/día = 10 días.

7 de agosto 2017 – 4,7 mm correspondiente a la EVTPO de la semana previa, sin lluvia
 30 mm + 0 mm lluvia efectiva/4,7 mm/día = 6 días;
 50 mm + 0 mm lluvia efectiva /4.7 mm/día = 8 días;
 70mm + 0 mm lluvia efectiva /4,7 mm/día = 15 días

7 de marzo 2017 – 4,45 mm correspondiente a la EVTPO de la semana previa
 (30 mm + 61 mm lluvia efectiva) /4,45 mm/día = 20
 (50 mm + 61 mm lluvia efectiva) /4,45 mm/día = 25
 (70 mm + 61 mm lluvia efectiva) /4,45 mm/día = 29

Tabla 24. estimación de turno máximo en días suponiendo un riego a capacidad los días 7, 14, 21 y 28 de tres meses contrastantes

Fecha	Turno máximo en días (30mm agua en suelo)				Turno máximo en días (50mm agua en suelo)				Turno máximo en días (70mm agua en suelo)			
	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28
mar-2017	20	20	13	21	25	25	17	25	29	29	22	30
mar-2018	4	4	4	6	7	7	7	10	10	9	10	10
ago-2017	6	6	6	6	11	10	9	10	15	15	13	14

En sistemas de riego por inundación, la cuantificación de la cantidad de agua a aplicar es poco común. Sin embargo, se recomienda instalar un aforador sobre el canal al ingreso del agua de la parcela, el cual genera datos del caudal que se puede multiplicar por la duración del riego (**Fotografía 1**).

Para el riego por microaspersión la medición es algo más precisa, la cual se puede realizar con envases para capturar el total de agua aplicada en cada riego en una superficie conocida.



Altura de agua entrada aforador (h_a)



Altura de agua salida aforador (h_b)

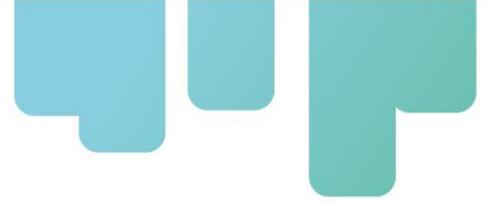


Fotografía 1. Ejemplos aforador de fabricación local en uso para la medición del caudal en República Dominicana.



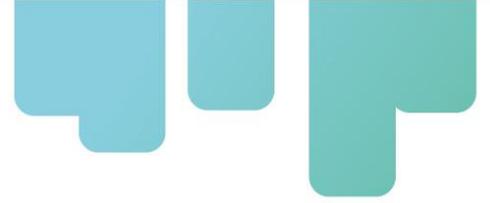
Tabla 25. Conversión de déficit hídrico a agua a aplicar con diferentes tipos de riego - inundación 50 %, microaspersión 70 % y goteo 90 % para tres meses contrastantes en Querecotillo, Sullana, Perú (para calcular turnos de 14 o 28 días, sumar dos o cuatro periodos).

Fecha	déficit hídrico	agua a aplicar inundación (mm)	agua a aplicar micro aspersión (mm)	agua a aplicar goteo (mm)	fecha	déficit hídrico (mm)	agua a aplicar inundación (mm)	agua a aplicar micro aspersión (mm)	agua a aplicar goteo (mm)	Fecha	déficit hídrico (mm)	agua a aplicar inundación (mm)	agua a aplicar micro aspersión (mm)	agua a aplicar goteo (mm)
3/07/2017	0	0	0	0	3/07/2018	50,4	100,8	72	56	8/07/2017	32,97	65,9	47,1	36,6
3/08/2017	0	0	0	0	3/08/2018	50,89	101,8	72,7	56,5	8/08/2017	30,58	61,2	43,7	34
3/09/2017	0	0	0	0	3/09/2018	51,61	103,2	73,7	57,3	8/09/2017	31,06	62,1	44,4	34,5
3/10/2017	0	0	0	0	3/10/2018	52,56	105,1	75,1	58,4	8/10/2017	31,81	63,6	45,4	35,3
3/11/2017	0	0	0	0	3/11/2018	53,99	108	77,1	60	8/11/2017	33,01	66	47,2	36,7
3/12/2017	0	0	0	0	3/12/2018	53,57	107,1	76,5	59,5	8/12/2017	34,17	68,3	48,8	38
3/13/2017	0	0	0	0	3/13/2018	52,71	105,4	75,3	58,6	8/13/2017	34,05	68,1	48,6	37,8
3/14/2017	0	0	0	0	3/14/2018	53,35	106,7	76,2	59,3	8/14/2017	33,36	66,7	47,7	37,1
3/15/2017	0	0	0	0	3/15/2018	53,53	107,1	76,5	59,5	8/15/2017	35,95	71,9	51,4	39,9
3/16/2017	4,12	8	6	5	3/16/2018	51,58	103,2	73,7	57,3	8/16/2017	35,81	71,6	51,2	39,8
3/17/2017	5,56	11	8	6	3/17/2018	50,99	102	72,8	56,7	8/17/2017	36,24	72,5	51,8	40,3
3/18/2017	12,49	25	18	14	3/18/2018	48,95	97,9	69,9	54,4	8/18/2017	37,38	74,8	53,4	41,5
3/19/2017	11,37	23	16	13	3/19/2018	48,41	96,8	69,2	53,8	8/19/2017	37,09	74,2	53	41,2
3/20/2017	3,37	7	5	4	3/20/2018	49,02	98	70	54,5	8/20/2017	37,27	74,5	53,2	41,4
3/21/2017	9,92	20	14	11	3/21/2018	48,76	97,5	69,7	54,2	8/21/2017	36,89	73,8	52,7	41
3/22/2017	0	0	0	0	3/22/2018	48,19	96,4	68,8	53,5	8/22/2017	33,42	66,8	47,7	37,1
3/23/2017	0	0	0	0	3/23/2018	48,92	97,8	69,9	54,4	8/23/2017	33,89	67,8	48,4	37,7
3/24/2017	0	0	0	0	3/24/2018	46,34	92,7	66,2	51,5	8/24/2017	33,37	66,7	47,7	37,1
3/25/2017	0	0	0	0	3/25/2018	47,1	94,2	67,3	52,3	8/25/2017	32,65	65,3	46,6	36,3
3/26/2017	0	0	0	0	3/26/2018	48,65	97,3	69,5	54,1	8/26/2017	32,51	65	46,4	36,1
3/27/2017	0	0	0	0	3/27/2018	42,63	85,3	60,9	47,4	8/27/2017	32,9	65,8	47	36,6
3/28/2017	0	0	0	0	3/28/2018	36,7	73,4	52,4	40,8	8/28/2017	34,21	68,4	48,9	38



4. Conclusiones

- La plataforma de cálculo propuesta es una herramienta estratégica para el uso y análisis de información agroclimática que permitan mejorar la toma de decisiones para el manejo agronómico de musáceas en las zonas productoras de Colombia, República Dominicana y Perú.
- La plataforma está diseñada para usar los principales datos que toma una estación meteorológica (temperatura promedio diaria, radiación solar, humedad relativa, viento y precipitación; las estaciones meteorológicas automatizadas también calculan la evapotranspiración potencial), realizar un cálculo establecido y ofrecer indicadores del comportamiento potencial del cultivo basado en las condiciones meteorológicas.
- La plataforma de cálculos propuesta consiste en cinco (5) ecuaciones o cálculos. Cada cálculo genera un dato o indicador que contribuye a tomar mejores decisiones en el manejo del cultivo. La relevancia de estos indicadores se debe a:
 1. Tasa potencial de emisión de hojas: Es un indicador que permite determinar si se están emitiendo hojas nuevas al potencial de las condiciones meteorológicas (suponiendo agua y nutrientes al óptimo). De la tasa de emisión de hojas depende el crecimiento y producción de cultivo, pues las hojas son la fuente primaria de fotoasimilados. La producción de hojas se detiene en la fase reproductiva, por lo que el desarrollo y llenado del fruto depende de la actividad de las hojas funcionales que se encuentran al momento de la aparición de la inflorescencia
 2. Duración del periodo de floración a cosecha: Tener presente el tiempo que se tarda una planta de banano en acumular 900 grados días, desde la floración a la cosecha, permite que los productores tengan un criterio adicional para determinar la mejor fecha de cosecha de los racimos, dado que se habrán alcanzado los GD o de calor necesarios para alcanzar madurez fisiológica de la fruta.
 3. Peso potencial de racimo: Este indicador permite estimar la producción que puede tener el cultivo a partir de las condiciones meteorológicas, lo cual le sirve al productor para prepararse y tomar mejores decisiones ya sea en temas de comercialización o de manejo del cultivo, esto último si se encuentra que se pueden alcanzar valores superiores de acuerdo con la oferta climática.
 4. Demanda de nutrientes: Permite que el productor se informe acerca de la cantidad de nutrientes que debe reponer al suelo, para compensar la salida de nutrientes en racimos.
 5. Demanda de agua: Permite que el productor se informe acerca de la cantidad de agua que debe proporcionar al sistema productivo de banano para mantener la plantación sin restricciones hídricas.



6. Referencias Bibliográficas

Adapt'Action. (2021). Soluciones para mejorar el conocimiento y uso de servicios climáticos en la agricultura – Síntesis.

Allen, R. N., Dettmann, E. B., Johns, G. G., & Turner, D. W. (1988). Estimation of leaf emergence rates of bananas. *Australian Journal of Agricultural Research*, 39(1), 53-62.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Roma: FAO*, 298(0).

Almanza P, Quijano-Rico M, Fischer G, Chávez, B, Balaguera-López HE. (2010). Physicochemical characterization during growth and development of grapevine (*Vitis vinifera* L.) fruits under high tropical conditions. *Agron Colomb*. 28(2): 173-180.

Bertsch, F. (2003). Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 307 p.

Bolaños Benavides, M.M., Bautista Montealegre, L.G., Cardona, W.A., Morales Osorno, H., López Melo, D.A., y Peña Holguín, A.C. 2020. Plátano (*Musa AAB*): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. Bogotá, D. C.: Corredor Tecnológico Agroindustrial, CTA-2.

Clarke. D, Smith. M, y El-Askari. K. 1998. CropWat for Window: Use. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/312903822_CropWat_for_Windows_User_guide.

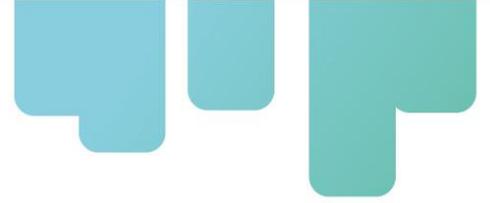
FAOSTAT. (2021). Producción mundial de musaceas año 2019. [Consultado el 17 de abril de 2021]. URL: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.

FAO. 2021. CROPWAT. Disponible en: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>

Ganry, J., (1978). Recherche d'une méthode d'estimation de la date de récolte du bananier à partir de données climatiques dans les conditions des Antilles. *Fruits* 33 (10), 669–679.

García, J y Sandoval, A.P. (2011). Recomendaciones para la implementación de buenas prácticas agrícolas en la producción de mango en el Tolima (primera versión). Espinal, Colombia, [Corpoica] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

Guarin, G., & Ochoa, A. (2011). Aplicación del modelo SIMBA-POP a la producción de banano en



Urabá (Colombia). X Congreso Colombiano de Meteorología y Conferencia Internacional "200 años de la meteorología y de la climatología en América Latina" – Bogotá, marzo de 2011.

Hoyos, D., Morales, J., Chavarría, H., Montoya, A., Correa, G., Jaramillo, S. (2012). Acumulación de Grados-Día en un Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.) en un Modelo de Producción Aeropónico. Rev.Fac. Nal. Agr. Medellín 65(1): 6389-6398.

International Fertilizer Industry Association (IFA). 1992. World fertilizer use manual. Paris, France. P. 37-550.

Jullien, A., Chillet, M., & Malézieux, E. (2008). Pre-harvest growth and development, measured as accumulated degree days, determine the post-harvest green life of banana fruit. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 83(4), 506-512.

López M., M.A., Chaves C., B. y Florez R., V.J. (2011). Modelos de cultivos y modelos fenológicos. En: Florez R., V.J. (Ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 153-177.

Matzarakis, A., Ivanova, D., Balafoutis, C., & Makrogiannis, T. (2007). Climatology of growing degree days in Greece. *Climate Research*, 34(3), 233-240.

McMaster, G. S., & Wilhelm, W. W. (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and forest meteorology*, 87(4), 291-300.

Normand, F., & Léchaudel, M. (2006). Toward a better interpretation and use of thermal time models. In *VII International Symposium on Modelling in Fruit Research and Orchard Management 707* (pp. 159-165).

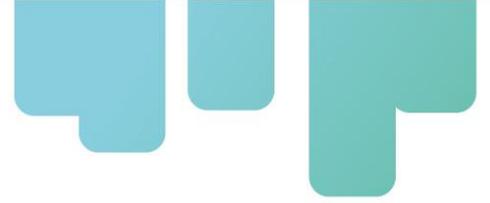
Nyombi, K., van Asten, P., Leffelaar, P., Corbeels, M., Kaizzi, C.K., Giller, K. (2009). Allometric growth relationships of East Africa highland bananas (*Musa* AAA-EAHB) cv. Kisansa and Mbwazirume. *Annals of Applied Biology* 155 (3), 403–418.

Obreza, T. T., & Morgan, K. T. (2008). Nutrition of Florida citrus trees. *EDIS*, 2008(2).

Orduz, J.; Monroy, H.; Fischer, G. (2010). Comportamiento fenológico de la mandarina 'Arrayana' en el piedemonte del Meta, Colombia. *Agronomía Colombiana* 28(1), 63-70.

Pérez-Vicente, L. (2012). A Holistic Integrated Management Approach to Control Black Sigatoka Disease of Banana caused by *Mycosphaerella fijiensis*. Technical Manual TCP/SLC/3402. FAO. Rome.

Priestley, C., & Taylor, R. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using



large-scale parameters. *Atmospheric Physics*, 100(2), 81-92.

Rengifo, D. Pérez, A. Corozo, R.E., Durango, W., Rojas, J.C., Vega, U. Staver, C., Turmel, M. 2017. Un Cálculo de Balance de Nutrientes para Orientar la Fertilización de Banano Orgánico de Exportación. IV Congreso Latinoamericano y del Caribe de Plátanos y Bananos. XVIII Congreso Nacional Mexicano de Productores de Plátano. México. 2017. Disponible en: <http://banana-networks.org/musalac/files/2018/09/Balance-nutrientes-banano-organico-Musalac-2017.pdf>

Rodríguez W, Flórez V. (2006). Comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en función de la acumulación de la temperatura. *Agron Colomb*. 24(2):247-257.

Salazar-Gutierrez, M. R., Johnson, J., Chaves-Cordoba, B., & Hoogenboom, G. (2013). Relationship of base temperature to development of winter wheat. *International Journal of Plant Production*, 7(4), 741-762.

Salazar M, Jones J, Chaves B, Cooman A. (2008). A model for the potential production and dry matter distribution of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Sci HortiAmsterdam*. 115(2):142–148. Doi: 10.1016/j. scienta.2007.08.015.

Salazar, M. (2006). Un modelo simple de producción potencial de uchuva (*Physalis peruviana* L.). (Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias – Área Agraria). Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, p.110.

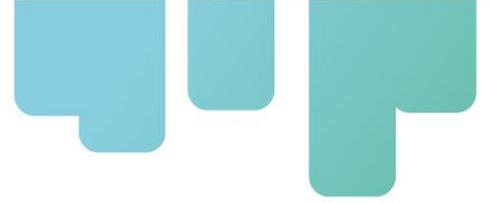
Saxton, K, y Rawls, W. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Science Society of America Journal* 70: 1569-1578. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117>

Sikder S. (2009) Accumulated heat unit and phenology of wheat cultivars as influenced by late sowing heat stress condition. *J Agric Rural Dev*. 7(1-2):57-64.

Stevens, B., Diels, J., Vanuytrecht, E., Brown, A., Bayo, S., Rujweka, A., ... & Swennen, R. (2020). Canopy cover evolution, diurnal patterns and leaf area index relationships in a Mchare and Cavendish banana cultivar under different soil moisture regimes. *Scientia Horticulturae*, 272, 109328.

Tapia, A y Fagiani, M. 2011. El cultivo de banano en la región subtropical de Argentina. EECT-YUTO. INTA. Disponible en: <https://1library.co/document/qorp20kq-cultivo-banano-region-subtropical-argentina.html>

Tixier, P., Malézieux, E., & Dorel, M. (2004). SIMBA-POP: a cohort population model for long-term simulation of banana crop harvest. *Ecological Modelling*, 180(2-3), 407-417.



Turner, D. (1998). Influencia de los principales factores ambientales (temperatura, humedad, luminosidad y suelo) sobre crecimiento y producción en banano y plátano. In: Proceedings of the 13th ACORBAT Meeting, Guayaquil, Ecuador, pp.635-663. CONABAN, Ecuador.

Turner DW, Lahav E (1983) The growth of banana plants in relation to temperature. *Aust. J. Plant Physiol.* 10:43-53.

Turner, D. W. (1987). Nutrient supply and water use of bananas in a subtropical environment. *Fruits*, 42(2), 89-93.

Turner, D. W. (1989). Modelling demand for nitrogen in the banana. In *International Symposium on the Culture of Subtropical and Tropical Fruits and Crops 275* (pp. 497-504).

Turner DW (1971) Effects of climate on rate of banana leaf production. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 48, 283–287

Turner, D., Hunt, N. (1983). The relationship between temperature and the rate of appearance of new leaves on thirty banana varieties grown in the subtropics. *Garcia Orta série Estudos Agron. Lisb.* 10, 91–94.

Turner, D.W., Lahav, E. (1983). The growth of banana plants in relation with temperature. *Aust. J. Plant Physiol.* 10, 43–53.

Twyford, I. T., & Walmsley, D. (1974). The mineral composition of the Robusta banana plant II. The concentration of mineral constituents. *Plant and Soil*, 41(3), 459-470.

Umber, M., Paget, B., Hubert, O., Salas, I., Salmon, F., Jenny, C. Marc Chillet & Bugaud, C. (2011). Application of thermal sums concept to estimate the time to harvest new banana hybrids for export. *Scientia horticultrae*, 129(1), 52-57.

Vázquez, E., Román, E., Ariza, R. (2008). Fenología y unidades calor de genotipos de papayo en el sur de Tamaulipas, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(3): 45–48.



Instituciones participantes



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org