

Aplicativo de balance hídrico para el cultivo de café en Colombia

<https://agroclima.cenicafe.org/balance-hidrico>

El balance hídrico es el resultado de la interacción entre la humedad del suelo, la evapotranspiración y la precipitación a través del sistema suelo-planta-atmósfera, para establecer cuánta humedad está disponible en el suelo, información que es de gran importancia para la toma de decisiones en el manejo del cultivo del café.



The image shows a screenshot of the Agroclima web application. The top navigation bar includes 'INICIO', 'EQUIPO DE TRABAJO', 'CONTACTENOS', and 'INICIAR'. The main header features the 'Agroclima Plataforma Agroclimática Cafetera' logo and navigation icons. Below the header, there are several application categories: 'ÉPOCAS DE SIEMBRA', 'VUELOS DE BROCA', 'GEOPORTAL', 'BALANCE HÍDRICO', and 'SOLICITUD DE DATOS'. The 'BALANCE HÍDRICO' section is highlighted, showing a description: 'En esta aplicación encontrará la condición hídrica para períodos de 10 días, en los seis últimos meses que tienen en cuenta lluvia y evapotranspiración acumulada, para un cultivo de café en producción. Podrá consultar la información, ubicando la Estación Automática en el mapa o realizando la búsqueda por Estación o Municipio y dando clic en "Ver balance hídrico". Podrá visualizar la lluvia acumulada vs. índice de disponibilidad hídrica o la lluvia efectiva vs. la evapotranspiración de cultivo.'

The interface includes a search form with the following fields:

- Año: 2022
- Mes: 5
- Decadía: 2

Below the search form, there is a map section with tabs for 'Mapa', 'Lluvia vs. IDH', and 'Lluvia efectiva vs. ETo'. The map shows a geographical area with several locations marked, including El Pinón, Farallones de Citara, Betania, La Siria, And, Jardín, Hispania, Jericó, La Pintada, Abejorral, Tamesis, Valparaiso, Aguadas, PARAIISO, Caramanta, and Estación: Ospima.



Cenicafé
Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana

Autores

Ninibeth Gibelli Sarmiento Herrera

Asistente de Investigación
<https://orcid.org/0000-0002-7912-5708>

Carolina Ramírez Carabalí

Investigador Científico I
<https://orcid.org/0000-0001-8300-2623>

Juan Carlos García López

Investigador Científico II
<https://orcid.org/0000-0003-4861-9649>

Disciplina de Agroclimatología

Kevin Adolfo Hincapié

Especialista TIC
<https://orcid.org/0000-0001-7917-9995>

Daniel Orozco Jaramillo

Especialista TIC hasta enero de 2022
<https://orcid.org/0000-0002-0396-7941>

Tecnología de la información y las
Telecomunicaciones

Centro Nacional de Investigaciones de Café -
Cenicafé, Manizales, Caldas, Colombia

DOI (Digital Object Identifier) <https://doi.org/10.38141/10779/0539>

Edición

Sandra Milena Marín López

Fotografías

Archivo Cenicafé

Diagramación

Carmenza Bacca Ramírez

Imprenta

ISSN-0120-0178

ISSN-2145-3691 (En línea)

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Manizales, Caldas, Colombia
Tel. (606) 8500707
www.cenicafe.org

Son múltiples los factores que inciden en la variación de la humedad del suelo, algunos relacionados con condiciones del cultivo, como la edad y la densidad de siembra; otros como las propiedades físicas e hidráulicas del suelo, y otros con las condiciones atmosféricas, como la demanda evaporativa y la distribución de la lluvia.

Teniendo en cuenta que el cultivo de café en Colombia depende del agua disponible en el suelo producto de la precipitación, si se presentan períodos prolongados de déficit o exceso hídrico, se limita el desarrollo de la planta según la etapa fenológica en que se encuentre, e influye en la



dinámica de plagas y enfermedades (Ramírez et al., 2010); por ejemplo, las deficiencias hídricas tienden a promover la floración, pero pueden perjudicar el crecimiento vegetativo de la planta y el desarrollo normal del fruto (Arcila y Jaramillo, 2003), y pueden favorecer la incidencia de enfermedades y la dispersión e infestación de plagas, entre otros.

El balance hídrico se convierte en una herramienta clave para el seguimiento de la disponibilidad hídrica y la planeación de las prácticas agronómicas, como: épocas de siembra, fertilización, manejo de plagas, enfermedades y arvenses, así como la integración de sistemas agroforestales al cultivo de café (Ramírez et al., 2010). El índice de disponibilidad hídrica (IDH), calculado a partir del balance hídrico, es utilizado para conocer las condiciones críticas de déficit o exceso en el cultivo; para su cálculo, son indispensables las variables de precipitación y evapotranspiración (Jaramillo, 2006), y a su vez, para la determinación de esta última, otras variables como temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento.

Mediante la implementación de estaciones meteorológicas a lo largo de la zona cafetera colombiana, ha sido posible monitorear las diferentes variables climáticas, determinar la evapotranspiración y establecer el balance hídrico para el cultivo de café en términos del índice de disponibilidad hídrica y a partir de este, generar recomendaciones de manejo a nivel regional y local (Jaramillo, 1982; Jaramillo et al., 2011).

Gracias a los estudios de la dinámica del agua dentro de los cafetales, desarrollados por Jaramillo y Chaves (2000) y Velásquez y Jaramillo (2009), se cuenta con modelos

más aproximados para la estimación de la disponibilidad hídrica del suelo ajustados al cultivo de café. Así mismo, gracias a estas investigaciones se ha logrado una mayor comprensión de la distribución de los períodos secos y húmedos, que a su vez determinan las épocas de crecimiento, floración, desarrollo del fruto y producción durante el año.

¿Cómo se calcula el balance hídrico?

Para el cálculo del balance hídrico del cultivo de café, Cenicafé utiliza la metodología desarrollada por Thornthwaite y Matter, adaptada por Jaramillo (1982) y Jaramillo y Gómez (2002), para la zona cafetera colombiana, la cual tiene en cuenta las características físicas del suelo, algunas variables de intercambio gaseoso del cultivo (evapotranspiración real y de referencia) y las condiciones climáticas de la zona (radiación solar, lluvia, humedad relativa y temperatura) (Figura 1).

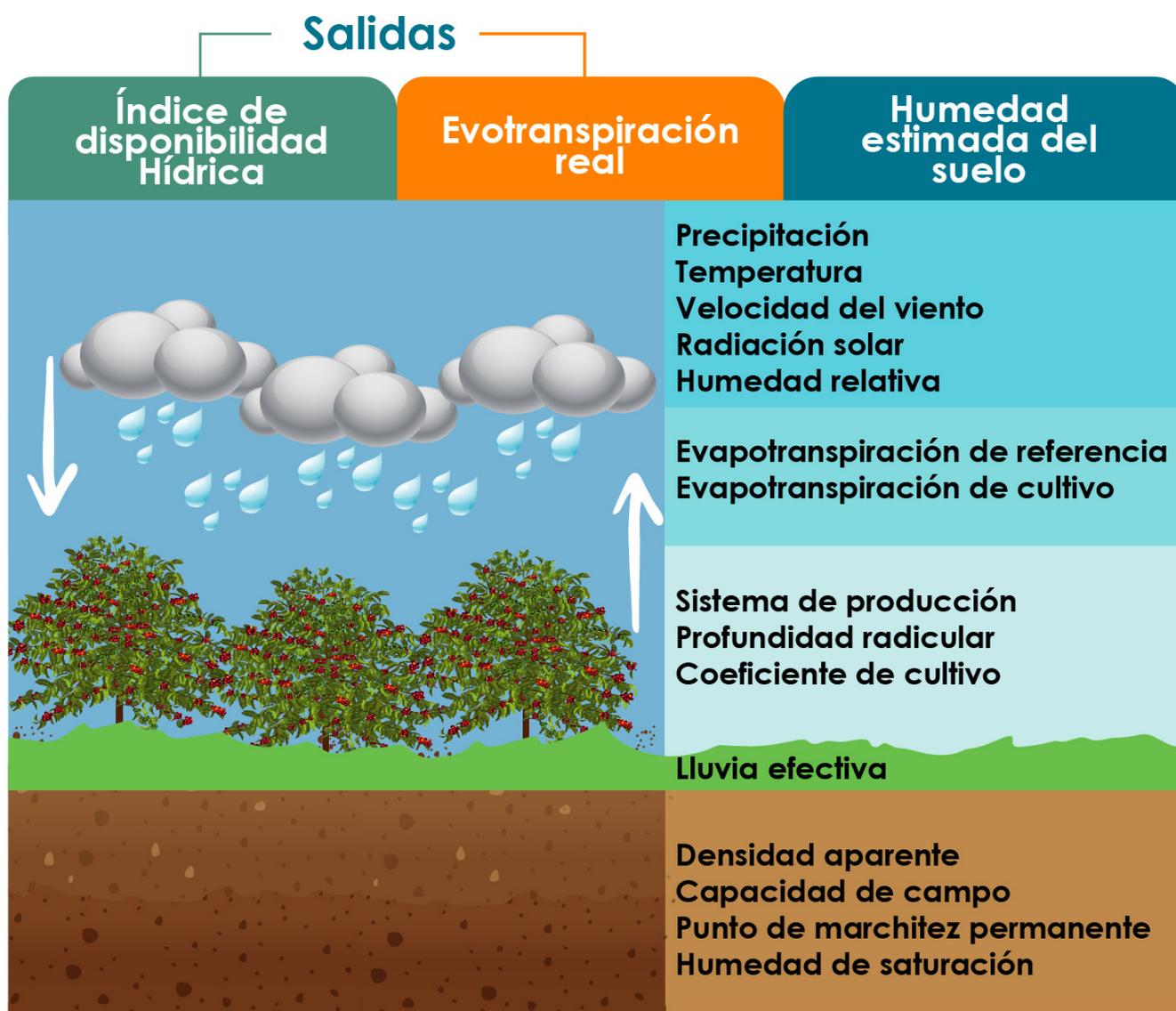


Figura 1. Parámetros de entrada y salida en el modelo del balance hídrico para el cultivo de café.

Conceptos clave para la interpretación del balance hídrico:

Lluvia (LI): corresponde a la cantidad de lluvia acumulada en milímetros, registrada por las estaciones meteorológicas.

Lluvia efectiva (Lle): se refiere a la cantidad de agua que llega al suelo, del total de la lluvia. Puede ser calculada como la diferencia entre el total de la lluvia y la fracción interceptada por el cultivo. Para la modelación, en cultivos a libre exposición solar, se utiliza la Ecuación <1> desarrollada por Jaramillo (1999).

$$LLe = 69,13 / (1 + 12,45 \times \exp(-0,040 LI)) \quad <1>$$

Evapotranspiración de referencia (ETo): relaciona la evapotranspiración de un cultivo hipotético, en este caso una gramínea, que crece uniformemente en un área extensa, con altura de 8 a 15 cm, sin estrés de agua, la cual cubre por completo el suelo (Doorenbos y Pruitt, 1977).

Evapotranspiración de cultivo (ETc): se refiere a la demanda hídrica del cultivo y varía según la densidad del cultivo, la variedad, el área foliar, la humedad del suelo y la distribución de raíces.

Coefficiente de cultivo (Kc): sirve como una integración de todas las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos (Allen et al., 2006), corresponde a la relación entre ETc y ETo.

Capacidad de almacenamiento de agua del suelo: se estima a partir de las propiedades físicas del suelo como la capacidad de campo (CC), el punto de marchitez permanente (PMP) y la densidad aparente. Las propiedades de retención de agua de cada suelo varían según su textura, contenido de materia orgánica y profundidad efectiva (Hillel, 2004). El almacenamiento máximo o lámina de agua aprovechable del suelo representa la cantidad de agua que un cultivo puede extraer de su zona de raíces, cuya magnitud depende del tipo de suelo y la profundidad del sistema de raíces. Para la modelación del balance hídrico, a partir de muestreos de suelo en las zonas circundantes a las estaciones meteorológicas automáticas, se estimaron las propiedades físicas para una profundidad entre 0 y 30 cm.

Índice de disponibilidad hídrica (IDH): es un indicador de la disponibilidad de agua para el cultivo durante un período de 10 días (decadía). Se calcula como la relación entre la evapotranspiración real y el requerimiento hídrico del cultivo, correspondiente a la evapotranspiración de cultivo. Los valores del índice inferiores o iguales a 0,3 indican una condición deficitaria, mientras que aquellos por encima de este valor indican una condición normal.

¿Cómo se interpreta la información del balance?

Como se mencionó anteriormente, el balance de entradas y salidas de agua en el sistema, determina una condición de humedad del suelo que, de acuerdo con la zona, permite establecer si es restrictiva o no. Al observar el resumen del número de decadas con déficit hídrico por mes (Tabla 1), puede validarse que, en algunas zonas del país, como en el Norte (Pueblo Bello – Cesar) y en el Sur (El Tambo – Cauca), se definen año a año unos períodos de déficit hídrico estacionales,

entre diciembre y marzo en el Norte y entre junio y septiembre en el Sur. Adicionalmente, como se muestra para el Centro del país (Chinchiná – Caldas) la humedad del suelo se mantiene en el tiempo y sólo en algunos momentos se presentan decadas con déficit. Lo anterior condiciona que algunas actividades se planifiquen con la distribución de los períodos húmedos y menos húmedos.

Tabla 1. Número de decadías (períodos de 10 días) promedio con déficit a nivel mensual en la Zona Cafetera Colombiana.

Estación	Municipio	Depto.	Altitud	Latitud	Longitud	Mes											
						Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pueblo Bello	Pueblo Bello	Cesar	1,134	10,417	-73,567												
Sardinata	Sardinata	Norte de Santander	1,509	8,151	-72,868												
Blonay	Chinácota	Norte de Santander	1,250	7,565	-72,621												
San Antonio	Floridablanca	Santander	1,539	7,100	-73,067												
Aratoca	Aratoca	Santander	1,718	6,702	-73,068												
Yolombó	Yolombó	Antioquia	1,577	6,584	-75,119												
El Rosario	Venecia	Antioquia	1,635	5,967	-75,700												
El Rosario	Venecia	Antioquia	1,635	5,959	-75,705												
Abejorral GIA)	Abejorral	Antioquia	1,766	5,797	-75,516												
Pácora (GIA)	Pácora	Caldas	1,765	5,557	-75,475												
Riosucio (GIA)	Riosucio	Caldas	1,448	5,364	-75,667												
Ospirma	Guática	Risaralda	1,661	5,326	-75,813												
Santa Helena	Marquetalia	Caldas	1,395	5,318	-74,996												
Fresno	Fresno	Tolima	1,262	5,156	-75,003												
Granja Luker	Palestina	Caldas	1,052	5,073	-75,689												
Las Tangas	Belalcázar	Caldas	1,506	5,041	-75,808												
Cenicafé	Manizales	Caldas	1,337	4,991	-75,598												
Naranjal	Chinchiná	Caldas	1,407	4,967	-75,650												
La Trinidad	Líbano	Tolima	1,456	4,900	-75,033												
La Catalina	Pereira	Risaralda	1,321	4,750	-75,733												
Misiones	El Colegio	Cund,	1,540	4,545	-74,441												
La Bella	Calarca	Quindío	1,449	4,501	-75,671												
Paraguacito	Buenavista	Quindío	1,203	4,400	-75,733												
Bolívar (GIA)	Bolívar	Valle del C,	1,783	4,389	-76,258												
Quetame	Quetame	Cund,	1,644	4,298	-73,872												
Bugalagrande (GIA)	Bugalagrande	Valle del C,	1,795	4,119	-76,010												
Ginebra	Ginebra	Valle del C,	1,551	3,735	-76,223												
Dagua	Dagua	Valle del C,	1,451	3,611	-76,638												
El Ruby	Planadas	Tolima	1,440	3,115	-75,672												
La Trinidad	Piendamó	Cauca	1,638	2,754	-76,583												
Manuel Mejía	El Tambo	Cauca	1,755	2,405	-76,742												
La Vega	La Vega	Cauca	1,861	2,090	-76,812												
San Agustín	San Agustín	Huila	1,808	1,901	-76,304												
TransPit2 (SGR-Huila)	Pitalito	Huila	1,347	1,812	-76,142												
Pitalito	Pitalito	Huila	1,521	1,778	-76,192												
TransPit3 (SGR-Huila)	Pitalito	Huila	1,659	1,758	-76,214												
El Sauce	La Unión	Nariño	1,601	1,619	-77,113												
VueltaHonda (GIA)	San Lorenzo	Nariño	1,867	1,583	-77,224												



0 decadalías

Entre 0,1 y 1,0 decadalías

Entre 1,1 y 2,0 decadalías

Entre 2,1 y 3,0 decadalías

¿Qué decisiones pueden tomarse a partir del balance hídrico?

Una ventaja de conocer el comportamiento histórico del balance hídrico es identificar si presentan estacionalidad los períodos con déficit hídrico. En aquellos sitios con períodos marcados de déficit, como en Norte, Oriente y Sur de Colombia, los sistemas de producción de café deben adaptarse en asocio con árboles, teniendo en cuenta que otras variables como la temperatura, el brillo solar y las condiciones del suelo también juegan un papel importante. Adicionalmente, los sistemas de café con árboles requieren que estos últimos se intervengan para regular la sombra, actividad que debe realizarse al final de los períodos secos e inicio de los húmedos (Cenicafé, 2020).

Otras actividades que se pueden planificar, con base en el conocimiento de los períodos secos (con déficit hídrico o IDH $<0,3$) y los períodos húmedos (con IDH $>0,3$), corresponde a las fechas de intervención del cultivo de café ya sea para renovaciones por zoca por siembra, la primera en las épocas secas o con los menores valores del IDH (Cenicafé, 2021) y la segunda en condiciones húmedas (Jaramillo, 2016).

Otras actividades de manejo agronómico que estarán determinadas por la condición de humedad del suelo son: fertilización (González et. al, 2014), la cual debe realizarse cuando el suelo esté húmedo, para favorecer la disolución de los fertilizantes y manejo de arvenses, que en épocas secas el material vegetal resultante de plateo manual se utilizará como cobertura muerta en los platos de los árboles para favorecer la humedad (Cenicafé, 2020).

El seguimiento al balance hídrico permitirá tomar la decisión del momento oportuno para ejecutar labores: como intervenciones (podas) de los árboles de sombra y de café, renovaciones por siembra, recuperación de sitios perdidos de café como de árboles, fertilización y manejo de arvenses.

¿Cómo responde la planta a la condición de humedad del suelo?

Uno de los aspectos más importantes del monitoreo del balance hídrico, se relaciona con la respuesta del

cultivo, el principal que se identifica es la floración (Figura 2). Al haber una relación bien definida, cuando se presentan las condiciones de déficit y este evento fenológico (Rendón & Montoya, 2015), se pueden planificar otras labores de cultivo, como el manejo fitosanitario y la administración de la cosecha.

¿Qué elementos principales están en la aplicación?

Para tener acceso a la aplicación, el usuario deberá registrarse en la Plataforma Agroclimática Cafetera (agroclima.cenicafe.org). En la sección Aplicaciones se encuentra el aplicativo Balance Hídrico.

<https://agroclima.cenicafe.org/balance-hidrico>



Balance Hídrico

En esta aplicación encontrará la condición hídrica para períodos de 10 días, en un segmento de 6 meses, que elige el usuario para una fecha específica de consulta (Año - Mes - Decadía). Primero visualizará en el mapa de Colombia la condición hídrica (Déficit hídrico o Normal) de la última decadía de las estaciones meteorológicas automáticas de la red cafetera. Si desea consultar a detalle el balance hídrico de una estación específica, podrá dar clic sobre la estación en el mapa o digitar en el campo vacío el nombre de la estación, departamento o municipio. En el botón visualizará la gráfica que muestra el índice de disponibilidad hídrica (IDH), la lluvia acumulada y la condición hídrica, y en el botón observará el comportamiento de la lluvia efectiva y la evapotranspiración de cultivo. Al desplazar el cursor sobre las gráficas, podrá conocer los valores de las variables para cada período de 10 días. Adicionalmente, podrá interactuar con los gráficos, para mostrar los elementos de su interés, dando clic en algunos de ellos en la leyenda, situada en la parte inferior.

¿Cómo interpretar la gráfica?

Para la interpretación del índice de disponibilidad hídrica como alerta, es necesario que, mediante asesoría técnica, se identifique el tipo de suelo en

cada sitio, y se defina cuántos períodos de 10 días continuos con déficit puedan tolerarse, antes de que se afecte el cultivo. Por principio general, cuando se acumulen 20 días continuos con déficit hídrico (dos décadas), debe verificarse la etapa fisiológica y las condiciones del cultivo. Consulte el Avance Técnico de Cenicafe No. 449 “Vulnerabilidad de algunos suelos de la zona cafetera colombiana al déficit hídrico” (Ramírez, 2014), y asesórese del Servicio de Extensión.

Interacción para la retroalimentación sobre los aspectos del cultivo, relacionados con el monitoreo del balance hídrico.

Cada persona con acceso al aplicativo se convierte en un observador de la realidad y sobre todo de las señales que identifique, en la medida que se relacionan condiciones críticas de los cultivos localmente.

Por ejemplo, para una condición de estrés hídrico, luego de varios decadas con déficit, se deben observar en el cultivo síntomas como marchitamiento, amarillamiento y, si es muy pronunciado, secamiento de hojas y defoliación. Otro aspecto que puede ocurrir, en cultivos en producción, en el que se registren lluvias después de un período de déficit hídrico, es el hinchamiento de los botones florales y posteriormente la apertura floral.

También es común que los niveles de humedad condicionen la presencia de plagas y enfermedades, las primeras en épocas secas y las segundas en épocas húmedas.

En cualquier momento una falla en el funcionamiento de los equipos en la estación, puede condicionar la respuesta del modelo, los más comunes son el taponamiento del pluviómetro, la falla de la batería y la pérdida de comunicación, por tal razón si se identifica un posible error entre lo que se reporta en el aplicativo y lo que está ocurriendo regionalmente, pueden comunicarse con la Disciplina de Agroclimatología en Cenicafe acl.cenicafe@cafedecolombia.com, o en nuestra página web en pregúntele a un experto (https://www.cenicafe.org/es/index.php/comuniquemonos/preguntele_experto_avanzado).

A



B



C

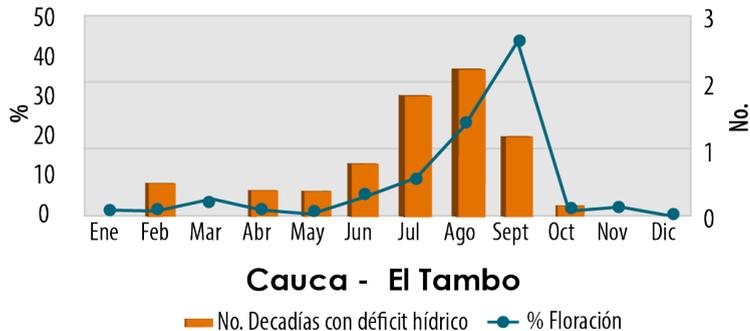


Figura 2. Número de décadas con déficit hídrico y respuesta de la floración en tres zonas cafeteras representativas A. Norte, B. Centro y C. Sur.

Agradecemos la posibilidad de interactuar con todos los usuarios con el fin de mejorar nuestro servicio y así lograr el ajuste de decisiones de manejo.

Señor Caficultor

Conocer el estado de humedad del suelo es clave para tomar decisiones acertadas de manejo como las renovaciones del cultivo y la fertilización.

Con la ayuda del Extensionista podrá revisar con cuál estación puede validar el seguimiento a las condiciones de humedad.



Literatura citada

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*. FAO. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>

Arcila, J., & Jaramillo, A. (2003). Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 311, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4215>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2021). *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3a ed.). Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0014>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2020). *Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0002>

Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements*. FAO. <https://www.fao.org/3/f2430e/f2430e.pdf>

González, H., Sadeghian, S., & Jaramillo, A. (2014). Épocas recomendables para la fertilización de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 442, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/498>

Hillel, D. (2004). *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier Academic Press.

Jaramillo, A. (2016). Épocas recomendadas para la siembra del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 465, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0465>

Jaramillo, A., & Ramírez, V. H., Arcila, J. (2011). Patrones de distribución de la lluvia en la zona cafetera. *Avances Técnicos Cenicafé*, 410, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/328>

Jaramillo, A. (2006). Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia. *Revista Cenicafé*, 57(4), 288–298. <http://hdl.handle.net/10778/232>

Jaramillo, A., & Gómez, O. (2002). Desarrollo de una aplicación de cómputo para el cálculo del balance hídrico en cafetales. Cenicafé.

Jaramillo, A., & Cháves, B. (1999). Aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) al sol y bajo sombra. *Revista Cenicafé*, 50(2), 97–105. <http://hdl.handle.net/10778/4216>

Jaramillo, A. (1982). Balance hídrico de la zona cafetera colombiana. *Revista Cenicafé*, 33(1), 15–28. <http://hdl.handle.net/10778/876>

Ramírez, V. H. (2014). Vulnerabilidad de algunos suelos de la zona cafetera colombiana al déficit hídrico. *Avances Técnicos Cenicafé*, 449, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/566>

Ramírez, V., Jaramillo, A., & Arcila, J. (2010). Índices para evaluar el estado hídrico en los cafetales. *Revista Cenicafé*, 61(1), 55–66. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061\(01\)055-066.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061(01)055-066.pdf)

Rendón, J., & Montoya, E. C. (2015). ¿Cómo registrar las floraciones en los cafetales?. *Avances Técnicos Cenicafé*, 455, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/566>

Velásquez, S., & Jaramillo, A. (2009). Redistribución de la lluvia en diferentes coberturas vegetales de la zona cafetera central de Colombia. *Revista Cenicafé*, 60(2), 148–160. <http://hdl.handle.net/10778/213>

