

Factores climáticos que intervienen en la producción del café en Colombia

Víctor Hugo Ramírez Builes; Álvaro Jaramillo Robledo;
Jaime Arcila Pulgarín

La **productividad del cultivo de café** depende de la interacción de diversos factores, los cuales se denominan factores de la producción, que pueden agruparse en: **Factores ambientales, genéticos y de manejo**.

La Zona Cafetera Colombiana se ubica desde 1° hasta 11° de latitud Norte, con rangos variados de altitud y diferentes niveles de exposición de las vertientes; el 95% de la caficultura está ubicada entre 1.000 y 2.000 metros de altitud (SICA, 2011), con el mayor porcentaje entre los 1.200 y 1.800 metros (88,9%) en ambas vertientes de las cordilleras Occidental, Central, Oriental y Sierra Nevada, lo que hace que tenga diferentes patrones de distribución y cantidad de brillo solar, fotoperíodo, temperatura, disponibilidad hídrica y tipo de suelos, entre otras, por lo tanto, **la expresión productiva es variable**. Comprender cómo la variación de estos factores climáticos influye sobre la producción del cultivo permitirá el conocimiento, desarrollo y aplicación de nuevas **estrategias de manejo del cultivo**, que busquen optimizar los factores climáticos de la producción y reducir la vulnerabilidad de los sistemas productivos a condiciones variables de clima.

Este capítulo tiene como objetivo hacer una descripción sobre la relación que tienen los **factores ambientales** sobre la producción y productividad del cultivo de café, con énfasis en los **factores climáticos**.

Cómo Citar:

Ramírez-Builes, V. H., Jaramillo-Robledo, Á., & Arcila-Pulgarín, J. (2013). Factores climáticos que intervienen en la producción del café en Colombia. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 205–237). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_10



Conceptos generales

La **productividad del cultivo** de café depende de la interacción de diversos factores de la producción: ambientales, genéticos y de manejo (Figura 1).

Dentro de los factores ambientales se incluye la disponibilidad de energía, radiación y temperatura, y son éstos los que determinan la productividad potencial de cualquier cultivo, la interacción de estos factores ambientales con los genéticos determinan la productividad máxima, y la interacción de los dos anteriores con los factores de manejo, determinan la productividad actual o real.

La **productividad potencial** es alcanzable en la medida en que la disponibilidad hídrica y los factores de manejo y genéticos estén completamente controlados. Por otra parte, si hay cambios en la disponibilidad de energía y agua, así se tenga al máximo nivel los factores genéticos y de manejo, la productividad real va a cambiar.

Cada región del país tiene factores ambientales diferentes, lo que significa que los potenciales productivos de cada zona no son iguales, por ejemplo: una zona como Jorge Villamil, en el Huila, con 1.250 horas de brillo solar al año, tiene un potencial productivo menor que una zona como El Rosario en Venecia (Antioquia), que tiene 2.032 horas del brillo solar al año (Ramírez et al., 2012).

Factores ambientales

Disponibilidad de energía - Brillo solar

La disponibilidad de energía consiste en la cantidad de radiación solar, horas de brillo solar y temperatura que llega a la superficie terrestre, donde se ubican los cultivos.

La disponibilidad de **brillo solar** en Colombia depende de diversos factores como: La época del año, la ubicación (La latitud), la altura respecto al nivel medio del mar (La altitud), y la orientación de la vertiente y de la influencia del fenómeno de El Niño y La Niña (Ramírez et al., 2012; Ramírez y Jaramillo, 2012).

El brillo solar o insolación, medida en horas, se registra en un heliógrafo cuando la radiación solar directa es superior a 120 W.m^{-2} . En un día nublado se tendrán valores bajos, mientras que un día despejado se tendrán valores altos. **El valor promedio de brillo solar para la zona cafetera es de $4,5 \text{ h.día}^{-1}$ (1.668 h.año^{-1})**, con valores máximos promedio de $6,9 \text{ h.día}^{-1}$ (2.525 h.año^{-1}) y mínimos promedio de $2,7 \text{ h.día}^{-1}$ (977 h.año^{-1}) (Tomado de la serie histórica de la disciplina de Agroclimatología, en las estaciones meteorológicas con registros desde 1953 hasta el 2010, en 15 localidades de la zona cafetera, ubicadas entre $01^{\circ}15'N$ hasta $10^{\circ}25'N$).

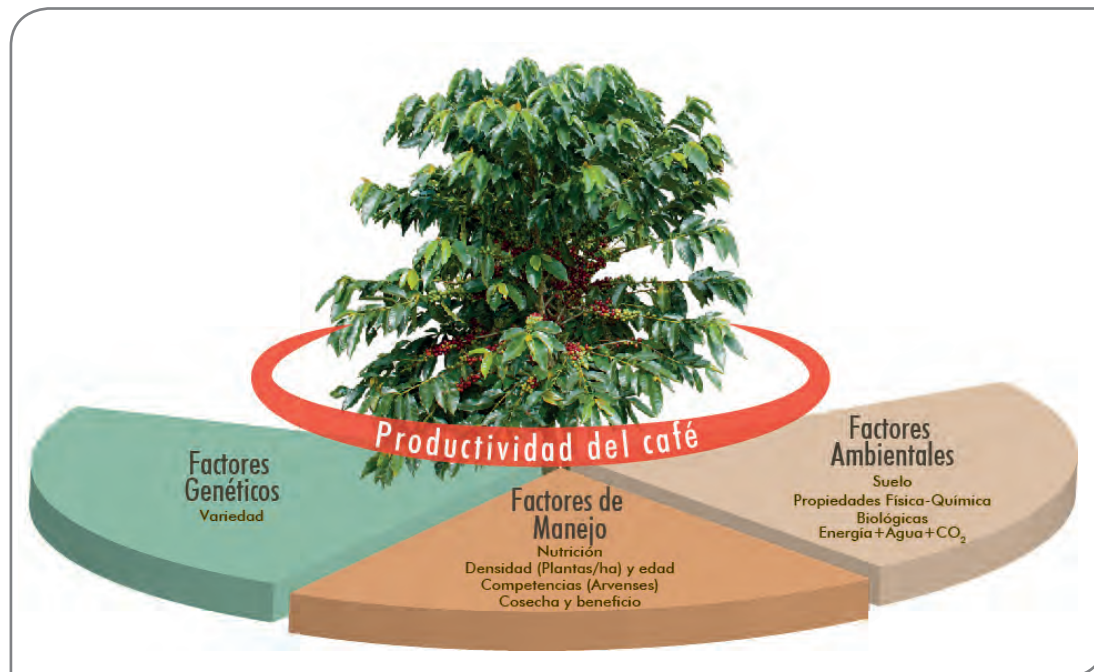


Figura 1.

Factores que influyen en la productividad del cultivo de café.

¹W.m²: Watts por metro cuadrado

En este capítulo se hablará del brillo solar debido a que desde sus inicios la red meteorológica cafetera empezó con medidas directas de brillo solar, logrando tener a la fecha registros históricos de más de 60 años.

El proceso de acumulación de biomasa del cultivo de café depende fundamentalmente de la cantidad de energía recibida, absorbida y redistribuida por el cultivo.

El brillo solar es un indicador de la cantidad de esa energía recibida en la superficie terrestre, y éste se considera como un factor climático de acumulación, cuando interactúa con la cantidad de biomasa disponible en hojas, bien sea solo de café (Monocultivo), con otros cultivos (Policultivo) o con árboles (Agroforestal), determinando la productividad potencial del sistema.

Brillo solar - producción. Para evaluar el efecto de los elementos del clima sobre la producción de café, se tomaron datos de experimentos desarrollados en Cenicafé de finales de la década de 1960 y 1970, en donde se evaluaba en variedad Caturra el efecto de diferentes

densidades de siembra y dosis de fertilizante. Estos experimentos ayudan a tener una idea del efecto de estas dos variables sobre la productividad, sin la presencia de los dos principales limitantes de la producción actual del cultivo como son la roya (*Hemileia vastatrix*) y la broca (*Hypothenemus hampei*), lo que permite hacer un análisis de la influencia de los elementos del clima sobre la producción máxima, muy cercana a la potencial del cultivo de café, en variedades de porte bajo.

Como resultado del análisis se encontró que **hay una relación directa entre el brillo solar acumulado y la producción acumulada de café** (Figura 2).

En la Tabla 1, se observa la relación entre la tasa de producción acumulada por hora de brillo solar acumulada, en dos densidades de siembra. La tasa de incremento de producción en función del brillo solar depende de varios factores como: La densidad de siembra, la temperatura del aire y del suelo, la disponibilidad hídrica en el suelo, el intercambio gaseoso (H_2O vs CO_2) y la nutrición.

Densidad de siembra* (Plantas/ha)	Incremento de producción por hora de brillo solar acumulado (kg.ha-h ⁻¹ de brillo solar)		
	Promedio	Límite inferior	Límite superior
5.000	2,90	1,79	3,91
10.000	2,86	1,69	4,03

Tabla 1.

Tasas de producción de café (kg de c.p.s.) por hora de brillo solar acumulada, en un ciclo de cinco cosechas, para dos densidades de siembra.

*Datos en cuatro localidades: Estación Central Naranjal (Chinchiná, Caldas), Estación Paraguaicito (Buenavista, Quindío), Estación Líbano (Tolima) y Mesitas (Cundinamarca).

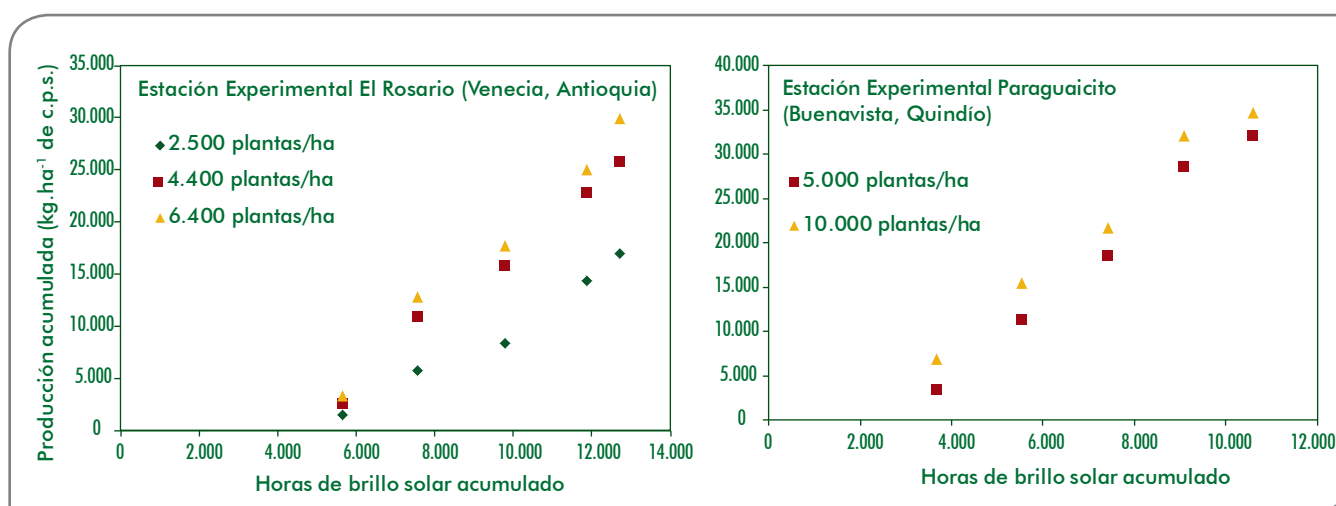


Figura 2.

Relación entre la producción acumulada de café pergamino seco por hectárea (kg.ha⁻¹) en un ciclo de cinco cosechas y el brillo solar acumulado en diferentes densidades de siembra y localidades.

Al interactuar la densidad de siembra desde 2.500 hasta 10.000 plantas/ha, con un brillo solar constante, se observa que por cada planta que aumente la densidad, la producción aumenta $1,12 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de c.p.s. Además, bajas densidades de siembra son más susceptibles a los cambios en radiación que altas densidades (Ver capítulos de Gestión del riesgo agroclimático).

Al integrar en un mismo modelo las densidades de siembra y las localidades se observa que el incremento en producción por hora de **brillo solar** es de $2,55 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de c.p.s., y por cada planta nueva que se adicione por hectárea, la producción se incrementa en $1,12 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de c.p.s. (Tabla 2).

A partir del análisis anterior y al calcular producciones en diferentes condiciones brillo solar, pudo estimarse el potencial productivo del café en función del brillo solar (Tabla 3).

Consideraciones prácticas

Los rangos definidos en la Tabla 3 indican que las condiciones óptimas para producir café en función del brillo solar son aquellas que están por encima de las $1.700 \text{ h}\cdot\text{año}^{-1}$ ($4,6 \text{ h}\cdot\text{día}^{-1}$).

Relación brillo solar - época de siembra. Con frecuencia, cuando se compara un ciclo de producción de café (4 ó 5 cosechas) con otros ciclos sembrados en años diferentes, se observan diferencias en las producciones acumuladas y éstas diferencias suelen atribuirse a los factores de manejo, a la variabilidad espacial y temporal del lote, a la calidad de la semilla o a la variedad, entre otras; sin embargo, las condiciones ambientales dominantes durante el ciclo de producción también tienen un efecto considerable en esta respuesta.

Por ejemplo, en una localidad como Chinchiná (Caldas), al observar el brillo solar anual medido desde el año 2001 al año 2010 (Figura 3), se registra que desde el año 2001 hasta el año 2005, éste estuvo por encima de las $1.700 \text{ h}\cdot\text{año}^{-1}$, equivalente a una condición de brillo solar que permite un potencial productivo alto; mientras que del año 2005 hasta el año 2010 el brillo solar descendió, a excepción del año 2009, por efecto de la variabilidad climática generada por el evento de La Niña 2008-2011.

También es necesario revisar los **efectos de la reducción en el número de horas de brillo solar sobre la productividad**, para explicar en detalle el efecto de la época de siembra.

Si se asumen iguales condiciones de manejo y densidad de siembra, y se varía únicamente el año de siembra, tomando como fecha de siembra la recomendada para la zona cafetera central, como el 1 de marzo de los años 2000 al 2005, se observa que:

Factor de producción	Incremento en producción ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de c.p.s.) por cada unidad de incremento del factor de producción		
	Promedio	Límite inferior	Límite superior
Brillo solar 1/	2,55	1,98	3,11
Densidad 2/	1,12	0,50	1,73

Tabla 2.

Tasas de producción de café en función de brillo solar acumulado y la densidad de siembra para un ciclo de cinco cosechas.

1/Desde 2.147 horas hasta 12.727 horas

2/Desde 2.500 hasta 10.000 plantas/ha

Datos de la Estación Central Naranjal (Chinchiná, Caldas), Estación Paraguaicito (Buenavista, Quindío), Estación Líbano (Líbano, Tolima)

Brillo solar ($\text{h}\cdot\text{año}^{-1}$)	Potencial productivo
< 1.300	Muy bajo: < del 50% del potencial productivo
1.300 - 1.500	Bajo: Entre el 50% y el 60% del potencial productivo
1.500 - 1.700	Medio: Entre el 60% y el 80% del potencial productivo
1.700 - 1.900	Alto: Entre el 80% y el 90% del potencial productivo
1.900 - 2.100	Muy alto: > del 90% del potencial productivo

Tabla 3.

Potencial productivo del café en Colombia en función del brillo solar anual.

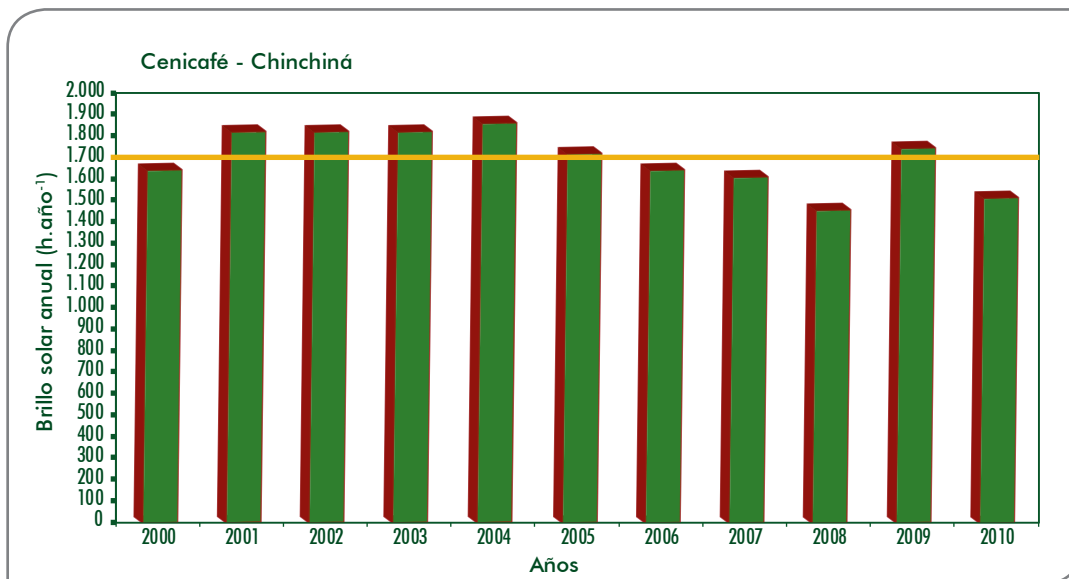


Figura 3.

Distribución del brillo solar en la zona de influencia de la Estación Central Naranjal (Chinchiná, Caldas), durante 11 años.

- La siembra que tuvo la mayor producción acumulada fue la siembra realizada en el año 2000, la cual terminó su ciclo en diciembre de 2006, ese período fue el que tuvo la mayor acumulación de brillo solar con 10.390 horas acumuladas en los 6 años, equivalente a 1.732 h.año⁻¹ en promedio, con valores similares a los de la siembra del año 2001, que terminó ciclo en el año 2007, y que acumuló 10.373 horas en los 6 años, con un promedio anual de 1.729 h.año⁻¹.
 - Las siembras realizadas desde el año 2002 hasta el año 2005, que terminaron ciclos a partir del 2007 y hasta 2010, tuvieron reducciones en la producción acumulada desde el 3,0% hasta el 12,5%, como la que ocurrió con la siembra del 2005 que terminó su ciclo en el 2010, con apenas 9.411 horas de brillo solar acumuladas en los 6 años, equivalente a 1.568 h.año⁻¹ en promedio (Figura 4).
- Tendencia similar, pero con reducciones diferenciales en la producción acumulada de café en función solo del brillo solar, se observa en otras localidades de la zona cafetera de Colombia, como por ejemplo:
- En El Tambo (Cauca) la reducción de la producción fue del 13,0% de las siembras realizadas en 2005, respecto a aquellas establecidas en el año 2000 en Gigante (Huila) donde la reducción fue del 7,4%.
 - En Consacá (Nariño) la reducción fue del 15%.

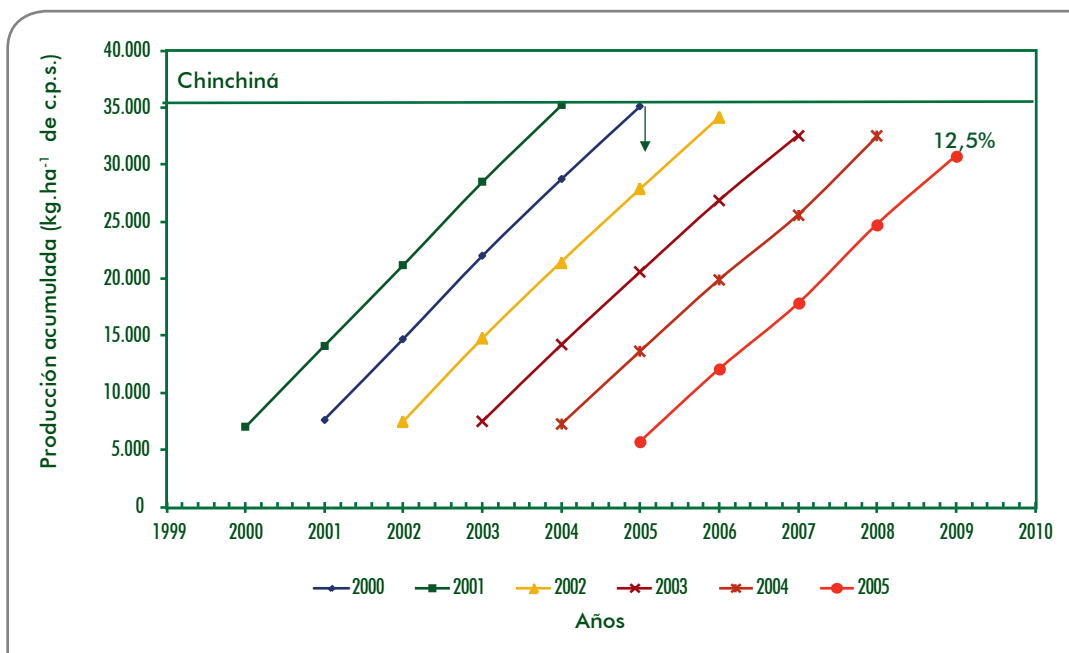


Figura 4.

Comparación de las épocas de siembra sobre la producción acumulada de café en diferentes ciclos de producción para la misma localidad, con igual densidad de siembra y factores de manejo iguales. Producción calculada en función del brillo solar, lo que equivale a una producción potencial.

- En Santa Rosa de Cabal (Risaralda) la reducción fue del 13,0%.
- En Salazar-Norte de Santander la reducción acumulada fue del 5%.

Estas pérdidas permiten dar un ejemplo del efecto que este elemento del clima, el brillo solar, tiene sobre la producción; sin embargo, estas reducciones regularmente son mayores por efecto de la reducción de temperatura y por el exceso hídrico, sin incluir ningún daño por enfermedades e insectos.

En cuanto a la zona y la cantidad de horas de brillo solar astronómico o potencialmente posible en una zona, se observa que para las siembras realizadas en marzo, durante 18 meses se acumula más brillo solar astronómico que para aquellas siembras de septiembre en todo el país, y que la diferencia es cada vez mayor conforme se avanza hacia el norte del país (Tabla 4).

Al evaluar el brillo solar observado en diferentes zonas del país a nivel histórico (Tabla 5), se observa que en el 62% de las estaciones en donde se tienen registros de brillo solar histórico, se acumula más brillo solar desde siembra a primera cosecha en las siembras hechas en marzo, que en las siembras hechas en septiembre, pero la decisión final de la época de siembra debe tomarse en función de la disponibilidad hídrica, como se verá más adelante. Por lo tanto, si se desea obtener el mayor provecho de los factores climáticos para la producción, en el caso de la siembra se deben combinar las consideraciones de época de siembra en función de los estímulos para la floración, la disponibilidad de energía potencial de las zonas o brillo solar astronómico, la disponibilidad de energía real o brillo solar medido y la disponibilidad hídrica, determinada por la distribución de las lluvias.

Brillo solar y café en sistemas agroforestales.

Al igual que en sistemas de producción a libre exposición

solar, **en sistemas agroforestales la producción de café se relaciona directamente con el brillo solar pero en diferente magnitud, debido fundamentalmente al efecto de la sombra de los árboles.**

A partir del trabajo de Farfán y Mestre (2005), se analiza el efecto de la producción acumulada de café en un ciclo de 7 años, con seis cosechas en Pueblo Bello (Cesar), es así como a medida que se reduce la densidad del sombrío, por ejemplo, al pasar de 278 árboles/ha de sombrío a 70 árboles/ha se incrementa la producción de café a una misma densidad del café (4.444 árboles/ha) de 0,55 a 0,89 kg.ha⁻¹ de c.p.s. por hora de brillo solar acumulada (Figura 5).

El porcentaje de cobertura vegetal arbórea en sistemas agroforestales con café o sombrío óptimo para cada zona, lo determina el brillo solar de la zona (Farfán y Jaramillo, 2009), por ejemplo, en una localidad como Pueblo Bello (Cesar) con 2.147 horas de brillo solar al año, el porcentaje de sombrío máximo recomendado sería de 42%, mientras que zonas con menor brillo solar, como Jorge Villamil en Gigante (Huila) con 1.153 horas de brillo solar al año, el porcentaje de sombrío máximo recomendado sería de 22,6%.

Brillo solar - floración. La floración del café es una respuesta fenológica al cambio en los estímulos ambientales y es un indicador de potencial productivo del cultivo de café.

Se ha observado que existe una relación directa entre el número de botones florales y el brillo solar (Castillo y López, 1966; Jaramillo y Valencia, 1980); Ramírez *et al.* (2010a), encontraron que **existe una relación negativa entre el déficit de brillo solar (DBS) y el número de botones florales**, lo que indica que días de poco brillo solar, no favorecen la formación de botones florales, lo anterior desde el punto de vista práctico significa que como mínimo para una adecuada floración se requiere un déficit del brillo solar promedio diario, por trimestre, no mayor de 7,2 horas/día lo que equivale a un brillo solar

Fecha de siembra	Latitud Norte						
	12 °N	10°N	8° N	6°N	4°N	2°N	1°N
	Brillo solar astronómico acumulado (horas)						
Marzo (Primer semestre)	6.553	6.541	6.528	6.516	6.504	6.492	6.489
Septiembre (Segundo semestre)	6.406	6.419	6.431	6.444	6.456	6.468	6.474
Diferencia	147	122	97	72	48	24	15

Tabla 4.

Brillo solar astronómico acumulado desde la siembra a la primera cosecha (18 meses), para dos épocas de siembra durante el año.

Estación agroclimatológica	Municipio	Mes de siembra		Diferencia absoluta
		Marzo	Septiembre	
Cesar		Brillo solar acumulado (Horas)		
Pueblo Bello	Pueblo Bello	3.500	3.638	138
Norte de Santander		Brillo solar acumulado (Horas)		
Blonay	Chinácota	2.246	2.301	55
G M Barriga	Convención	2.227	2.139	88
Francisco Romero	Salazar	2.384	2.361	24
Santander		Brillo solar acumulado (Horas)		
San Antonio	Floridablanca	1.961	2.065	104
El Roble	Los Santos	2.945	3.043	97
Aguasblancas	San Vicente	2.209	2.161	48
A. Santos	Socorro	3.345	3.440	96
Boyacá		Brillo solar acumulado (Horas)		
Bertha	Moniquirá	2.783	2.921	138
Cundinamarca		Brillo solar acumulado (Horas)		
G Villamaría	Anolaima	2.817	2.815	2
Mesitas S. Inés	Cachipay	2.219	2.231	12
La Arcadia	El Colegio	1.373	1.478	105
Santa Rosita	El Peñón	2.273	2.225	49
Misiones	Mesitas del Colegio	1.684	1.793	109
Sta. Bárbara	Sasaima	2.065	2.090	25
G. Tibacuy	Tibacuy	2.315	2.443	128
Hda. Java	Viotá	1.863	1.943	80
Montelíbano	Yacopí	2.676	2.649	26
Tolima		Brillo solar acumulado (Horas)		
El Limón	Chaparral	2.477	2.428	49
El Campín	Dolores	2.287	2.296	8
La Montaña	Dolores	2.692	2.633	59
Chapetón	Ibagué	2.646	2.588	58
La Trinidad	Líbano	2.368	2.277	91
L. Bustamante	Villarrica	1.587	1.561	26
Huila		Brillo solar acumulado (Horas)		
J. Villamil	Gigante	1.842	1.909	67
Antioquia		Brillo solar acumulado (Horas)		
El Trapiche	C. Bolívar	3.067	2.954	113
Cocorná	Cocorná	3.140	3.030	110
Piamonte	Fredonia	2.948	2.935	14
M. Valencia	Jardín	2.745	2.670	76
La Cristalina	Támesis	3.263	3.238	24
Virgen de Oro	Támesis	2.163	2.194	31

Tabla 5.

Brillo solar acumulado a partir de la serie histórica en diferentes zonas del país, durante 18 meses en promedio, que puede durar la siembra a la primera cosecha, para dos épocas de siembra en el año, marzo y septiembre (Adaptado de Ramírez et al., 2012a).

Continúa...

...continuación

Estación agroclimatólogica	Municipio	Mes de siembra		Diferencia absoluta
		Marzo	Septiembre	
El Rosario	Venecia	3.090	3.006	84
Caldas		Brillo solar acumulado (Horas)		
Bellavista	Anserma	2.212	2.151	61
Cenicafé	Chinchiná	2.614	2.639	25
Naranjal	Chinchiná	2.638	2.652	13
El Algarrobo	Manizales	2.617	2.651	35
Llanadas	Manzanares	2.497	2.417	80
Santa Helena	Marquetalia	2.431	2.317	114
Granja Luker	Palestina	2.961	2.967	6
Santágueda	Palestina	2.997	3.015	18
R. Escobar	Supía	3.038	3.017	22
Risaralda		Brillo solar acumulado (Horas)		
La Elvira	Belén de Umbría	2.221	2.155	66
Ospirma	Guática	2.783	2.750	33
El Pilamo	Pereira	2.643	2.711	68
La Catalina	Pereira	2.450	2.472	22
La Joya	Pereira	2.751	2.788	37
El Jazmín	Sta. Rosa de Cabal	2.235	2.228	7
Quindío		Brillo solar acumulado (Horas)		
El Sena	Armenia	2.138	2.057	80
Paraguacito	Buenavista	2.612	2.630	18
La Bella	Calarcá	2.147	2.113	34
El Agrado	Montenegro	2.522	2.500	22
Maracay	Quimbaya	2.427	2.376	51
Valle		Brillo solar acumulado (Horas)		
A. Gómez	Alcalá	2.652	2.619	33
Venecia	Caicedonia	2.696	2.672	24
Albán	El Cairo	2.392	2.244	148
La Selva	Ginebra	1.766	1.712	54
J. Fernández	Restrepo	2.631	2.623	8
H. Uribe	Sevilla	2.099	2.011	88
La Sirena	Sevilla	2.038	1.983	55
M. M. Mallarino	Trujillo	2.435	2.376	59
Cauca		Brillo solar acumulado (Horas)		
Manuel Mejía	El Tambo	2.687	2.645	42
La Trinidad	Piendamó	2.385	2.330	55
La Florida	Popayán	2.644	2.660	16

Continúa...

...continuación

Estación agroclimatológica	Municipio	Mes de siembra		Diferencia absoluta
		Marzo	Septiembre	
Nariño				
Brillo solar acumulado (Horas)				
Ospina Pérez	Consacá	2.631	2.604	27
El Sauce	La Unión	2.527	2.424	103
La Unión	La Unión	2.468	2.275	193

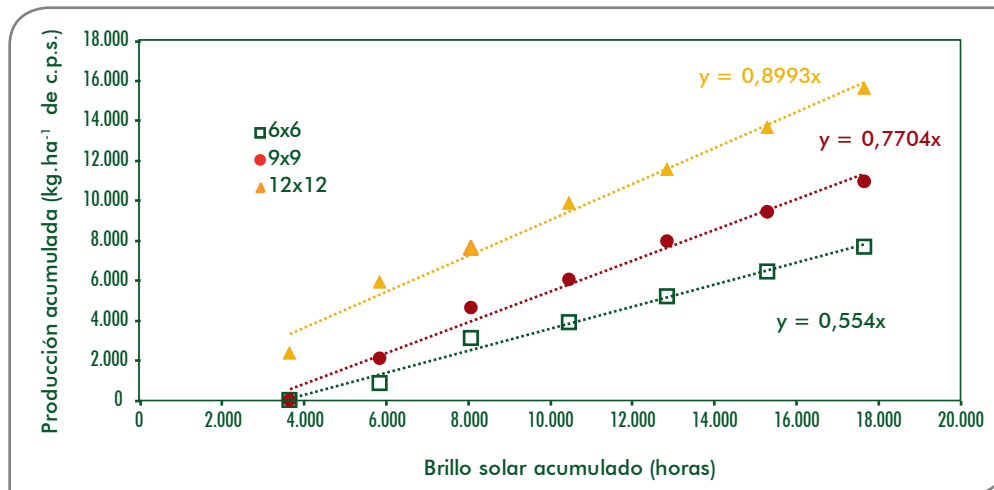


Figura 5.

Relación entre el brillo solar acumulado y la producción acumulada de café con tres densidades de siembra de sombrío de guamo (6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m), la distancia de siembra del café fue 1,5 x 1,5 m (Adaptado de Farfán y Mestre, 2005).

promedio de 4,8 horas/día (1.750 h.año⁻¹), si el brillo solar promedio es superior a este valor, deja de ser un factor limitante en la floración (Ramírez et al., 2010; Ramírez et al., 2011).

Lo anterior coincide con la relación brillo solar y la producción, en donde se definió un valor de 1.700 h.año⁻¹ a partir del cual el potencial productivo es alto.

Radiación

La radiación es la cantidad de energía que llega a un área en un período de tiempo determinado. Es la base de todos los procesos físicos y biológicos que ocurren en la Tierra.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre, conocida como radiación global, se divide en dos tipos a saber: Radiación directa y radiación difusa, la radiación directa es aquella que puede quemar el papel del heliógrafo y se cuantifica como brillo solar, y la radiación difusa es aquella radiación de menor intensidad, que no alcanza a quemar el papel del heliógrafo y se presenta en días nublados o de alta contaminación atmosférica.

Calidad de la radiación y fenología. Cuando la proporción de radiación difusa es mayor que la directa (Brillo solar), la planta de café muestra respuestas fenológicas

particulares tales como alargamiento de entrenudos (Figura 6a), e incremento del área foliar (Figura 6b). **Desde el punto de vista productivo, el alargamiento de los entrenudos significa una reducción en la producción, y una mayor área foliar puede ir en detrimento del crecimiento reproductivo.**

Por ejemplo, dos Santos et al. (2011), para seis variedades de café en Brasil (Catucaí, Oeinas, Tupi, Icatu, Obatá y Catucaí), por efecto del sombrío, reportan reducción en el número de nudos, aumento en la distancia entre nudos y en el número de hojas respecto a condiciones de libre exposición solar.

En Colombia, Ramírez (2012, datos sin publicar), ha observado que plantas de café en almácigo, sembradas el mismo día con polisombra (material sintético que permite filtrar la radiación solar y generar sombrío artificial en los cultivos) y sin polisombra, tienen diferencias en el área foliar al sexto mes de sembradas, es así como las plantas que crecieron bajo polisombra tienen un área foliar promedio de 683,0 cm²/planta, mientras que aquellas que crecieron a libre exposición solar al sexto mes tienen un área foliar promedio de 339,5 cm²/planta. Además de las diferencias en el área foliar, las plantas que crecen bajo sombra tienen mayores concentraciones de clorofila, que se ve reflejada en el color de las hojas (Figura 7).

**Figura 6.**

Efectos de la calidad de la luz sobre el café.
a. Alargamiento de entrenudos en café;
b. Aumento del tamaño de las hojas (área foliar).

**Figura 7.**

Diferencias en área foliar y tonalidad de la hoja en plantas de café que crecieron en almacigo, sembradas el mismo día en condiciones de libre exposición solar y polisombra (Plantas de 11 meses, 6 meses en almacigo y 5 meses en el campo).

Fotoperíodo

El fotoperíodo hace referencia a la duración del día, el cual depende de la época del año y de la latitud. En las zonas cercanas al Ecuador (0° latitud Norte o Sur) la duración del día es igual a la de la noche, en la medida que se aleje del Ecuador, hacia el Norte o hacia el Sur, la longitud del día será diferente a la de la noche, dependiendo de la época del año.

La zona cafetera de Colombia, se ubica desde 1° latitud Norte (Departamento de Nariño) hasta los 12° latitud Norte (Departamento de La Guajira). En un estudio reciente de Peña *et al.* (2011), se encontró que en Colombia el número de botones florales se correlaciona inversamente con el fotoperíodo 3 meses antes, en latitudes superiores a 4°30' latitud Norte, lo que significa que en las zonas donde un gran porcentaje de la floración se presenta entre los meses de febrero-abril, el cambio de estación en septiembre (Equinoccio de otoño) genera una disminución en el fotoperíodo de más

de 30 minutos, entre junio y diciembre, el cual favorece la diferenciación floral, esto indica que la diferenciación de las floraciones que se observan entre enero y abril se presenta entre septiembre y diciembre (Figura 8). Camayo y Arcila (1996) indicaron que el fenómeno de floración en café da inicio entre 4 y 5 meses antes de la antesis o apertura de la flor.



La reducción en el fotoperíodo y los cambios diarios de temperatura estimulan las yemas para que se conviertan en yemas florales, que después de 1 a 5 meses van a ser botones florales.

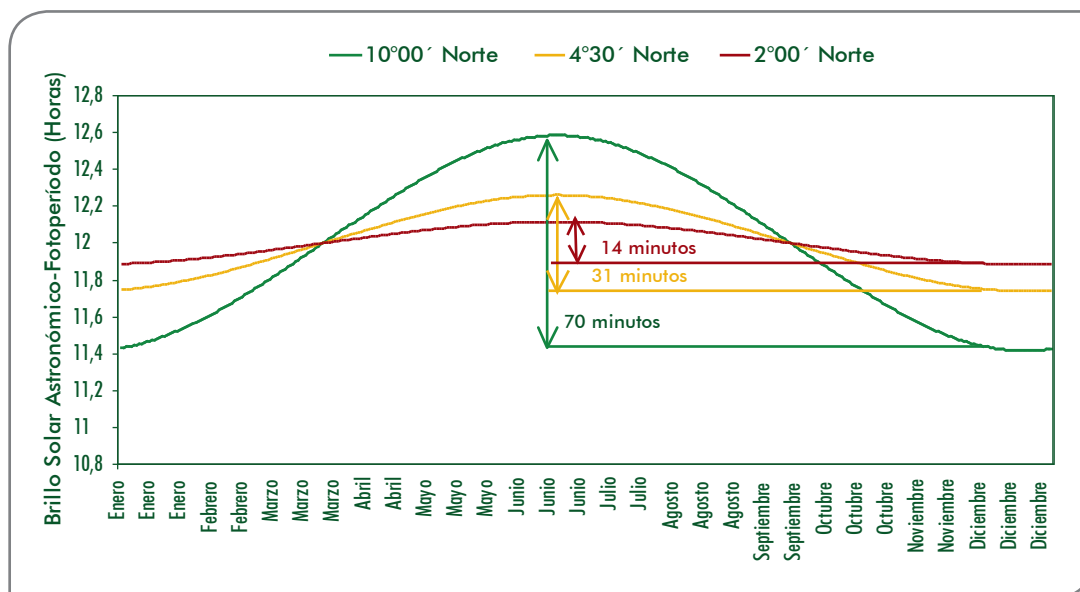


Figura 8.

Comportamiento del fotoperíodo en Colombia de acuerdo a la latitud. Se observa que zonas ubicadas por encima de los 4°30' latitud Norte tienen diferencias en el fotoperíodo mayores a 30 minutos, entre junio y diciembre.

Temperatura

Es el calentamiento del aire producto de la radiación que emite la Tierra hacia la atmósfera.

Temperatura fenología y producción. La temperatura del aire determina la duración de los procesos fenológicos como el tiempo transcurrido desde la siembra a la primera floración, a la primera cosecha, al máximo desarrollo foliar y la curva de desarrollo del fruto de café. Es así como por ejemplo a una temperatura de 14°C promedio, la primera cosecha de café se estima que se estaría presentando a los 1.438 días (48 meses) y el máximo desarrollo foliar a los 3.398 días (113 meses); a temperaturas promedio

de 20 a 21°C, la primera cosecha de café se estima que se estaría presentando a los 575-523 días (Entre 19 y 17 meses) y el máximo desarrollo foliar a los 1.359-1.236 días (Entre 45-41 meses) (Tabla 6).

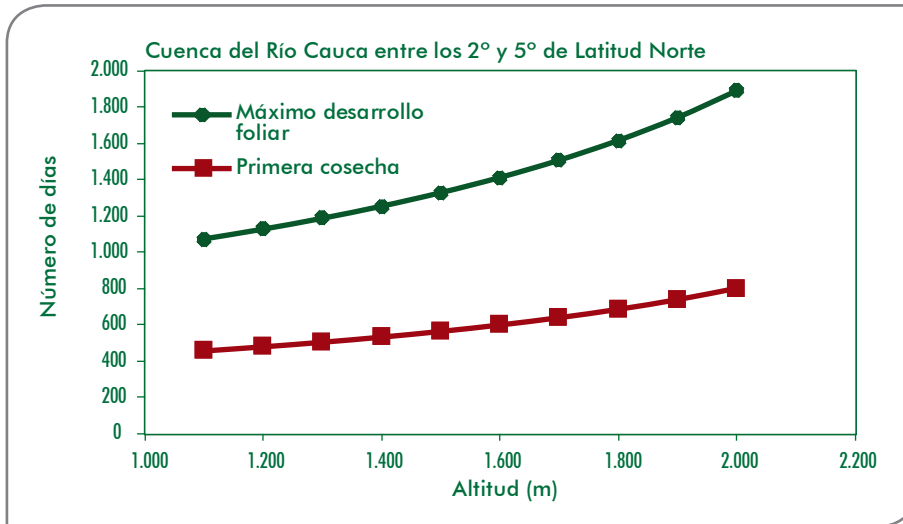
Desde el punto de vista práctico, en la medida que se ascienda en altitud se alarga la longitud del período productivo del cultivo (Figura 9). Es importante anotar que son estimativos, sin limitantes en la disponibilidad de agua en el suelo y de nutrición.

La acumulación térmica condiciona la respuesta al brillo solar. Por ejemplo, en zonas con baja acumulación térmica como El Rosario en Venecia (Antioquia),

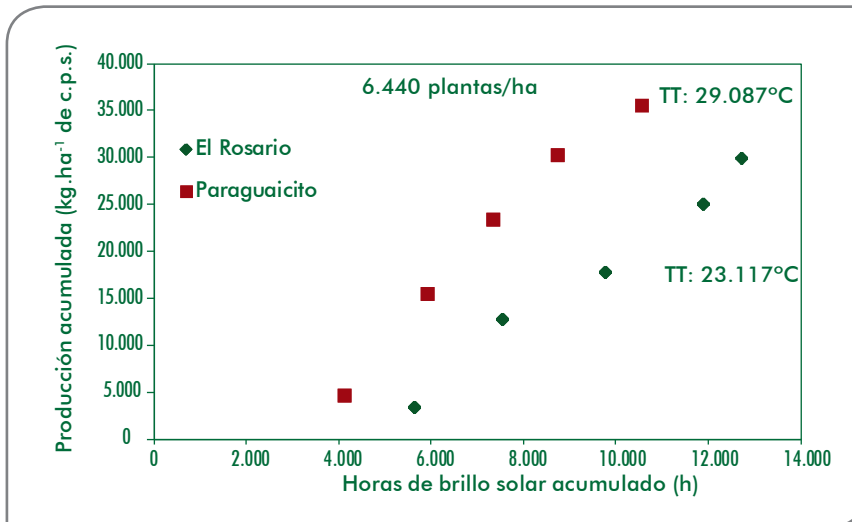
Temperatura media (°C)	Primera cosecha (Días)	Máximo desarrollo foliar (Días)
14	1.438	3.398
15	1.150	2.718
16	958	2.265
17	821	1.942
18	719	1.699
19	639	1.510
20	575	1.359
21	523	1.236
22	479	1.133
23	442	1.045

Tabla 6.

Relación entre la temperatura media del aire y el número de días desde siembra a primera cosecha y al máximo desarrollo foliar.

**Figura 9.**

Relación entre la altitud en una de las zonas cafeteras de Colombia con el número de días de siembra a primera cosecha y el número de días a máximo desarrollo foliar (calculado a partir de Jaramillo y Guzmán, 1984).

**Figura 10.**

Relación entre la acumulación térmica y de brillo solar sobre la producción.

ubicada a 1.635 m de altitud (Figura 10), el inicio de la producción se da con mayor brillo solar acumulado, mientras que en zonas de mayor acumulación térmica como Paraguaicito en Buenavista (Quindío), ubicada a 1.203 m, la acumulación térmica presenta sinergia con la acumulación de brillo solar. Lo anterior demuestra que a una misma densidad de siembra, el ciclo productivo en condiciones de baja temperatura es mayor, que en zonas de alta temperatura.

Temperatura y número de botones florales. La acumulación térmica o tiempo térmico (TT) se relaciona directamente con el número de botones florales en café, por cada trimestre (Noviembre-enero, febrero-abril, mayo-julio, agosto-octubre), iniciando 20 días antes; para una adecuada floración, más de 2.000 botones florales/30 plantas, se requiere como mínimo de una acumulación térmica superior a los 1.100°C, valor por

debajo del cual se disminuye la floración (Ramírez et al., 2010a; Ramírez et al., 2011).

Consideraciones prácticas

En las zonas donde la temperatura media del aire es igual o superior a 20°C, la temperatura no es una limitante para la floración.

Basados en el estudio de regionalización de la temperatura del aire en Colombia (Chaves y Jaramillo, 1998), por zonas se pueden identificar los pisos térmicos óptimos para la

floración del café. Por ejemplo, en la zona andina (Cuenca de los ríos Cauca y Magdalena), los 20°C se encuentran en altitudes promedio de 1.550 m, en la región Atlántica a los 1.400 m y en la región Pacífica, en la Orinoquía y Amazonía a los 1.200 m, por encima de estas altitudes disminuye la temperatura y empieza a ser limitante y más vulnerable a la variabilidad climática (Ver capítulos de Gestión del riesgo agroclimático).

Densidad de siembra y temperatura. Las tasas de desarrollo del cultivo del café en condiciones de adecuada disponibilidad de agua en el suelo, se relacionan directamente con la temperatura media del aire, en la medida que la temperatura media del aire disminuye, se reducen las tasas de desarrollo del cultivo, lo que significa que el crecimiento se hace más lento, una forma de disminuir el efecto de la reducción de crecimiento por efecto de la temperatura es a través del incremento de las densidades de siembra (Ver capítulos de Gestión del Riesgo agroclimático y Establecimiento de cafetales al sol).

Amplitud térmica

Es la diferencia entre la temperatura máxima que se registra entre las 13:00 y las 14:00 horas y la mínima que se registra entre las 5:00 y las 6:00 horas del día.

Amplitud térmica y floración. Una de las características de la zona cafetera Colombiana, es que la variación estacional de la temperatura no es de gran magnitud, a excepción un poco de la zona Norte del país; pero sí hay una variación diaria conocida como la **amplitud térmica (AT)** que es importante e influye sobre los agroecosistemas, la cual puede alcanzar hasta 20°C (Jaramillo, 2005). Otra característica de la zona andina Colombiana, es que la amplitud térmica disminuye cuando se asciende en altura, y los meses secos del año son los que presentan mayor amplitud térmica respecto a los meses húmedos (Ramírez *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista fenológico, Ramírez *et al.* (2010a) afirman que la amplitud térmica se convierte en otro estímulo para la floración, y que puede actuar como diferenciador de yemas florales y en el rompimiento de la latencia.

Para que la amplitud térmica pueda influir directamente sobre la floración, por trimestre (Noviembre-enero, febrero-abril, mayo-julio, agosto-octubre), iniciando 20 días antes, se requiere como mínimo de 60 días con amplitud térmica superior a 10°C, esto significa que no se presenten más de 50 días por trimestre con amplitud térmica inferior a 10°C, lo que indica que diferencias entre la temperatura máxima y mínima superiores a 10°C son más favorables para una apropiada floración.

Esto explica el porqué los mayores porcentajes de floración en la zona cafetera de Colombia se presentan al final de los períodos secos (Figura 11), dado que es ahí en donde se concentra el estímulo del déficit hídrico, que permite concentrar la latencia y se acumula el mayor número de días con $AT > 10^{\circ}C$, generando la diferenciación de nuevas yemas florales, ambos actuando de manera sinérgica (Ramírez *et al.*, 2010a; Ramírez *et al.*, 2011)

En zonas en donde el déficit hídrico es escaso, la AT es el principal elemento estimulante de la floración, pero en la medida que se asciende en altitud, se disminuya en brillo solar y en la temperatura y exista menor déficit hídrico, la floración tiende a ser escasa y muy repartida, debido a que el estímulo de la AT disminuye con altitud y la acumulación térmica es menor.

Consideraciones prácticas

La utilidad práctica de conocer el efecto de los estímulos ambientales, como la reducción en 30 min. en el fotoperíodo y la amplitud térmica $> 10^{\circ}C$, nos ayuda a definir estrategias desde la agronomía, que permitan el mayor aprovechamiento de estos estímulos en función de la productividad del cultivo del café, tal es el caso de la época de siembra.

En la Tabla 7 se muestra un ejemplo de la relación que hay entre la época de siembra y la formación de estructuras del cultivo de café y su relación con el mejor aprovechamiento de los estímulos antes mencionados, si se presume que el cultivo de café cada mes, en promedio, forma un par de ramas primarias o cruz (Arcila, 2007), se calcula el número de cruces formadas desde la siembra, en cada uno de los semestres del año, y el número de cruces formadas en los momentos donde se presentan los mayores estímulos para la diferenciación de las yemas florales. De esta manera:

- Un cultivo sembrado en el primer semestre (Marzo), al segundo año, en el mes de junio, tendría aproximadamente 17 cruces para lograr el estímulo de diferenciación por amplitud térmica
- Un cultivo sembrado en el segundo semestre (Septiembre), al segundo año, en el mes de junio, solo tendría 11 cruces para lograr el estímulo
- En el mes de noviembre del segundo año, la siembra de marzo tendría 22 cruces para lograr el estímulo de diferenciación por reducción por fotoperíodo
- La siembra de septiembre solo tendría solo 16 cruces.

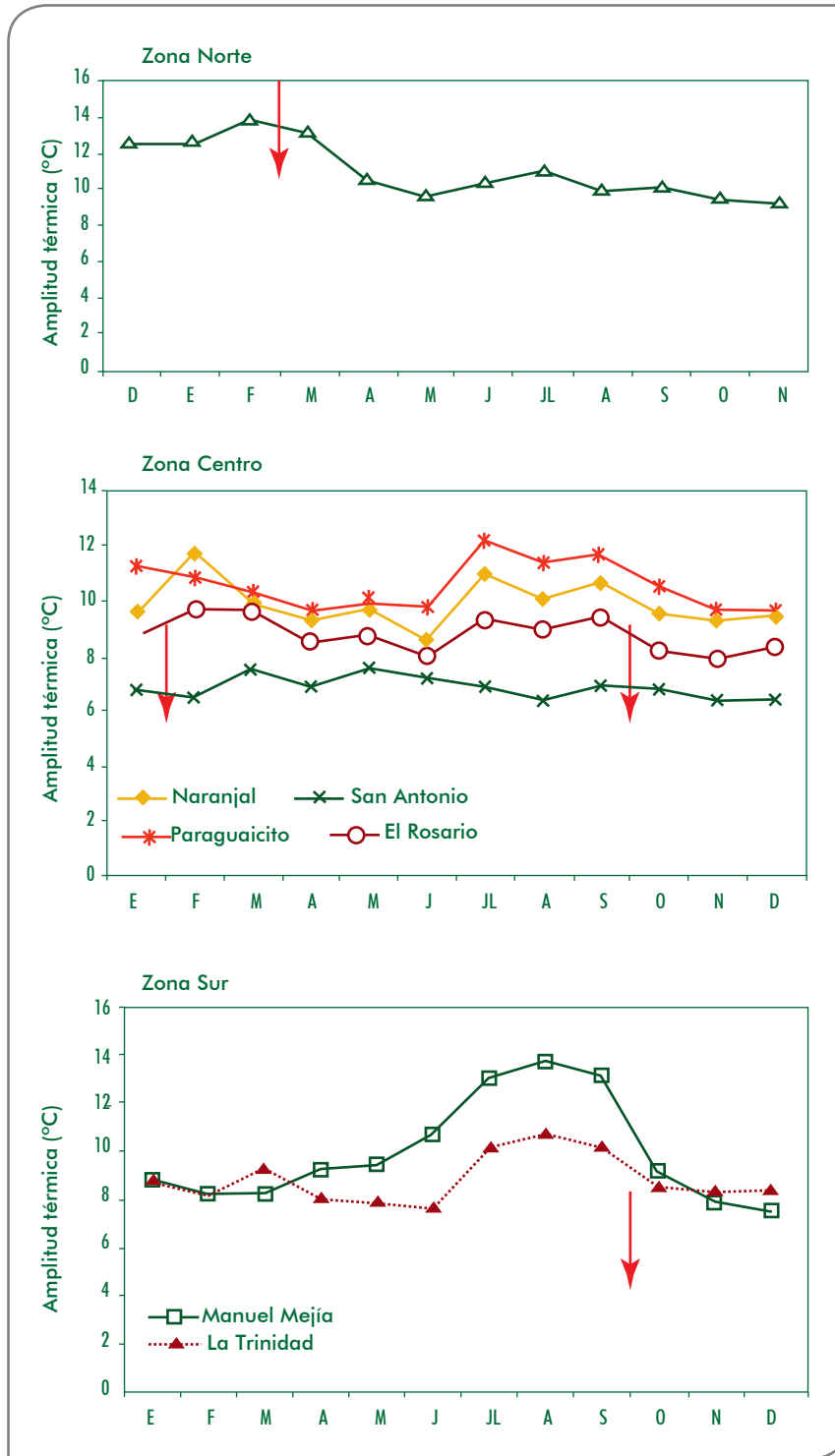


Figura 11.

Distribución de la amplitud térmica en diferentes localidades de la zona cafetera Colombiana y picos de floración (Ramírez et al., 2011). Las flechas indican picos de floración

Al finalizar los dos ciclos (7 años-77 cruces), la siembra del primer semestre acumuló 70 cruces, que lograron el estímulo de fotoperíodo, contra 64 de la siembra de septiembre (Tabla 8); esto sugiere que las siembras en las zonas central y norte del país deben hacerse durante el primer semestre del año cuando la disponibilidad hídrica lo permita.

Para la zona sur del país, por debajo de los $04^{\circ}30'$ latitud Norte, el cambio en fotoperíodo de junio a diciembre es inferior a 30 minutos y no se relaciona con la floración del primer semestre del año, lo que significa que estas zonas sólo dependen del estímulo a la diferenciación por cambios en la amplitud térmica, la cual se presenta en los meses de junio, y que

Estímulo	Año	Mes	Época de siembra No. de cruces		Estímulo	Año	Mes	Época de siembra No. de cruces	
	1	E			Flor	4	S	44	38
	1	F			Estm-FT	4	O	45	39
	1	M	2		Estm-FT	4	N	46	40
	1	A	3			4	D	47	41
	1	MY	4		Flor	5	E	48	42
	1	JU	5		Flor-Estim-AT	5	F	49	43
	1	JL	6		Flor-Estim-AT	5	M	50	44
	1	A	7		Flor-Estim-AT	5	A	51	45
	1	S	8	2		5	MY	52	46
Estm-FT	1	O	9	3	Estm-AT	5	JU	53	47
Estm-FT	1	N	10	4	Flor-Estim-AT	5	JL	54	48
	1	D	11	5	Flor-Estim-AT	5	A	55	49
Flor	2	E	12	6	Flor	5	S	56	50
Flor-Estim-AT	2	F	13	7	Estm-FT	5	O	57	51
Flor-Estim-AT	2	M	14	8	Estm-FT	5	N	58	52
Flor-Estim-AT	2	A	15	9		5	D	59	53
	2	MY	16	10	Flor	6	E	60	54
Estm-AT	2	JU	17	11	Flor-Estim-AT	6	F	61	55
Flor-Estim-AT	2	JL	18	12	Flor-Estim-AT	6	M	62	56
Flor-Estim-AT	2	A	19	13	Flor-Estim-AT	6	A	63	57
Flor	2	S	20	14		6	MY	64	58
Estm-FT	2	O	21	15	Estm-AT	6	JU	65	59
Estm-FT	2	N	22	16	Flor-Estim-AT	6	JL	66	60
	2	D	23	17	Flor-Estim-AT	6	A	67	61
Flor	3	E	24	18	Flor	6	S	68	62
Flor-Estim-AT	3	F	25	19	Estm-FT	6	O	69	63
Flor-Estim-AT	3	M	26	20	Estm-FT	6	N	70	64
Flor-Estim-AT	3	A	27	21		6	D	71	65
	3	MY	28	22	Flor	7	E	72	66
Estm-AT	3	JU	29	23	Flor-Estim-AT	7	F	73	67
Flor-Estim-AT	3	JL	30	24	Flor-Estim-AT	7	M	74	68
Flor-Estim-AT	3	A	31	25	Flor-Estim-AT	7	A	75	69
Flor	3	S	32	26		7	MY	76	70
Estm-FT	3	O	33	27	Estm-AT	7	JU	77	71
Estm-FT	3	N	34	28	Flor-Estim-AT	7	JL		72
	3	D	35	29	Flor-Estim-AT	7	A		73
Flor	4	E	36	30	Flor	7	S		74
Flor-Estim-AT	4	F	37	31	Estm-FT	7	O		75
Flor-Estim-AT	4	M	38	32	Estm-FT	7	N		76
Flor-Estim-AT	4	A	39	33		7	D		77
	4	MY	40	34					
Estm-AT	4	JU	41	35					
Flor-Estim-AT	4	JL	42	36					
Flor-Estim-AT	4	A	43	37					

Tabla 7.

Relación entre dos épocas de siembra, número potencial de cruces formadas, estímulo de floración por fotoperíodo y épocas de floración del primer semestre del año.

Estm-FT Estímulo por Fotoperíodo
Flor-Estim-AT Floración y estímulo por amplitud térmica
Flor Floración
Renovación

Año	Estímulo en noviembre por reducción en fotoperíodo Floración de principal (Cosecha II semestre)			
	Siembra en marzo		Siembra en septiembre	
	No. cruces	Diferencia	No. cruces	Diferencia
2	22	22	16	16
3	34	12	28	12
4	46	12	40	12
5	58	12	52	12
6	70	12	64	12
7				
Total cruces	70		64	

Tabla 8.

Número de cruces potencialmente formadas en café durante 6 años, para dos épocas de siembra diferentes, primer semestre (Marzo) y segundo semestre (Septiembre), para una zona con mayor distribución de cosecha hacia el segundo semestre del año, donde la floración principal está influenciada por el estímulo de reducción de fotoperíodo calculado en noviembre, y la floración de mitaca (Cosecha de primer semestre) se da por el estímulo de amplitud térmica de mitad de año.

Año	Estímulo en junio por amplitud térmica Floración de mitaca (Cosecha I semestre)			
	Siembra en marzo		Siembra en septiembre	
	No. cruces	Diferencia	No. cruces	Diferencia
2	17	17	11	11
3	29	12	23	12
4	41	12	35	12
5	53	12	47	12
6	65	12	59	12
7				
Total cruces	65		59	
Fecha de Renovación	Junio		Diciembre	

corresponde a la floración de los meses de agosto a octubre, que determina la cosecha principal de primer semestre, y la amplitud térmica del mes de febrero que determina la floración de marzo a abril, correspondiente a la cosecha de mitaca de segundo semestre (Tabla 9); en este caso, aún sin el estímulo por fotoperíodo, es mejor hacer las siembras en el primer semestre, ya que en el segundo semestre del año, después de la siembra, las plantas sembradas en marzo tendrán 17 cruces para recibir el estímulo de la amplitud térmica, mientras que la siembra de septiembre solo tendrán 11 cruces, y así sucesivamente al finalizar el ciclo la siembra de primer semestre los cafetos habrán tenido mayor proporción de cruces que aprovecharon el estímulo de la amplitud térmica para la floración que las siembras de segundo semestre.



Si la temperatura media del aire y la humedad relativa son muy altas, se corre el riesgo que se presenten daños en las flores como “flor estrellada” y pudrición de botones florales, y si la zona es de mucho brillo solar y altas temperaturas se corre el riesgo de generar golpe de sol en botones florales.

Año	Estímulo en junio por amplitud térmica Floración de principal (Cosecha I semestre)			
	Siembra en marzo		Siembra en septiembre	
	No. cruces	Diferencia	No. cruces	Diferencia
2	17	17	11	11
3	29	12	23	12
4	41	12	35	12
5	53	12	47	12
6	65	12	59	12
7				
Total cruces	65		59	

Tabla 9.

Número de cruces potencialmente formadas en café durante 6 años, para dos épocas de siembra diferentes, primer semestre (Marzo) y segundo semestre (Septiembre), para una zona con mayor distribución de cosecha hacia el primer semestre del año, donde la floración principal está influenciada por el estímulo de la amplitud térmica en junio, y la floración de mitaca (Cosecha de segundo semestre) se da por el estímulo de amplitud térmica a principios de año.

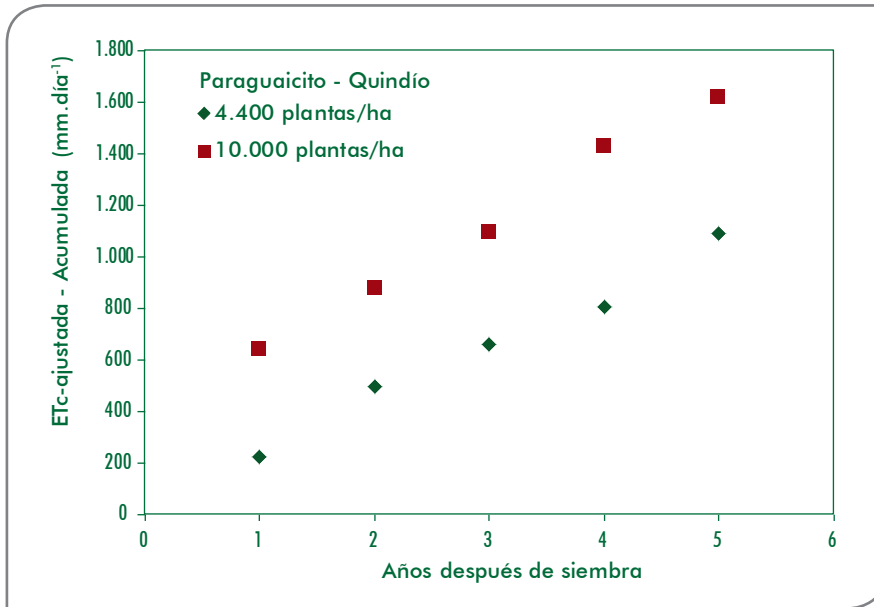
Año	Estímulo en febrero por amplitud térmica Floración de mitaca (Cosecha II semestre)			
	Siembra en marzo		Siembra en septiembre	
	No. cruces	Diferencia	No. cruces	Diferencia
2	14	14	8	8
3	26	12	20	12
4	38	12	32	12
5	50	12	44	12
6	62	12	56	12
7			68	12
Total cruces	62		68	
Fecha de Renovación	Junio		Diciembre	

Disponibilidad hídrica

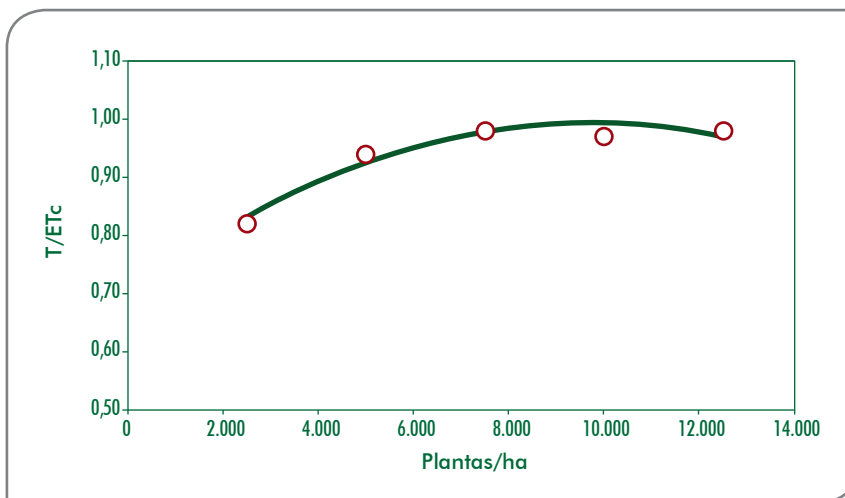
El agua en el suelo es necesaria para todos los procesos de crecimiento y desarrollo del cultivo, y además, es el medio de transporte de los nutrientes provenientes del suelo. Los requerimientos hídricos de un cultivo hacen referencia a la cantidad de agua que necesita la planta para suplir la demanda evaporativa de la atmósfera y, por lo tanto, la disponibilidad hídrica debe ser como mínimo igual a los requerimientos hídricos. El cultivo de café suple la demanda evaporativa de la atmósfera a través de dos procesos: i) La transpiración, que es un proceso físico-fisiológico y ii) La evaporación, que es un proceso físico, por lo tanto, la cantidad de agua que extrae el cultivo para suplir la demanda evaporativa de la atmósfera depende de la densidad de siembra, la edad del cultivo y el tipo de sistema de producción (libre exposición o agroforestal).

En la Figura 12 se muestra cómo un cultivo bajo una misma demanda evaporativa (Igual zona), al aumentar en área foliar o años después de siembra aumenta la evapotranspiración acumulada (ET_c -ajustada), y dicho incremento es mayor en una densidad alta (10.000 plantas/ha) que en una densidad baja (4.400 plantas/ha).

La densidad de siembra influye directamente en el incremento de área foliar por unidad de área o índice de área foliar. Es así como al incrementar la densidad de siembra aumenta el área de transpiración o área para intercambio gaseoso (Figura 13) hasta un punto máximo. Por ejemplo, al momento del máximo desarrollo foliar, en bajas densidades de siembra como 2.500 a 4.000 plantas/ha, entre el 82% y el 88% de la evapotranspiración (ET_c) es transpiración (T), lo que significa que entre un 18% y 12% del agua del sistema se pierde por evaporación del suelo, y no se aprovecha en intercambio gaseoso, por el contrario, en densidades de

**Figura 12.**

Relación entre la evapotranspiración del café ajustada por déficit y exceso hídrico en dos densidades, con los años después de la siembra.

**Figura 13.**

Relación entre la densidad de siembra y el porcentaje de agua que toma el cultivo por transpiración (T) del total de la evapotranspiración del cultivo (ETc).

siembra superiores a 7.500 plantas/ha, más del 98% de la evapotranspiración es transpiración, lo que demuestra un mejor aprovechamiento del agua, y un intercambio gaseoso más eficiente en función de la producción.

Existen otros factores que actúan en determinados momentos para controlar la evapotranspiración en las condiciones donde el cultivo, bien sea por déficit hídrico o por exceso hídrico, no puede suplir la demanda evaporativa de la atmósfera, y es así como la planta activa mecanismos para controlar el intercambio gaseoso y, por lo tanto, disminuye la transpiración; en el caso del café, uno de esos mecanismos es el cierre estomático, el cual se da en condiciones de déficit y

de exceso hídrico (Gómez, 2000), y en ambos casos la evapotranspiración del cultivo se limita, y es lo que se llama evapotranspiración ajustada.

Al relacionar la evapotranspiración del cultivo ajustada por déficit y exceso hídrico, se observa una relación directa entre la producción acumulada de café durante el ciclo de producción con la ET_c -ajustada. En el caso de la Figura 14 se observa la ET_c -ajustada para tres localidades de la zona cafetera, relacionada con la producción, incluye dentro de su cálculo la densidad, la cual como se dijo anteriormente influye sobre el índice de área foliar, la profundidad de raíces y la proporción transpiración/evaporación.

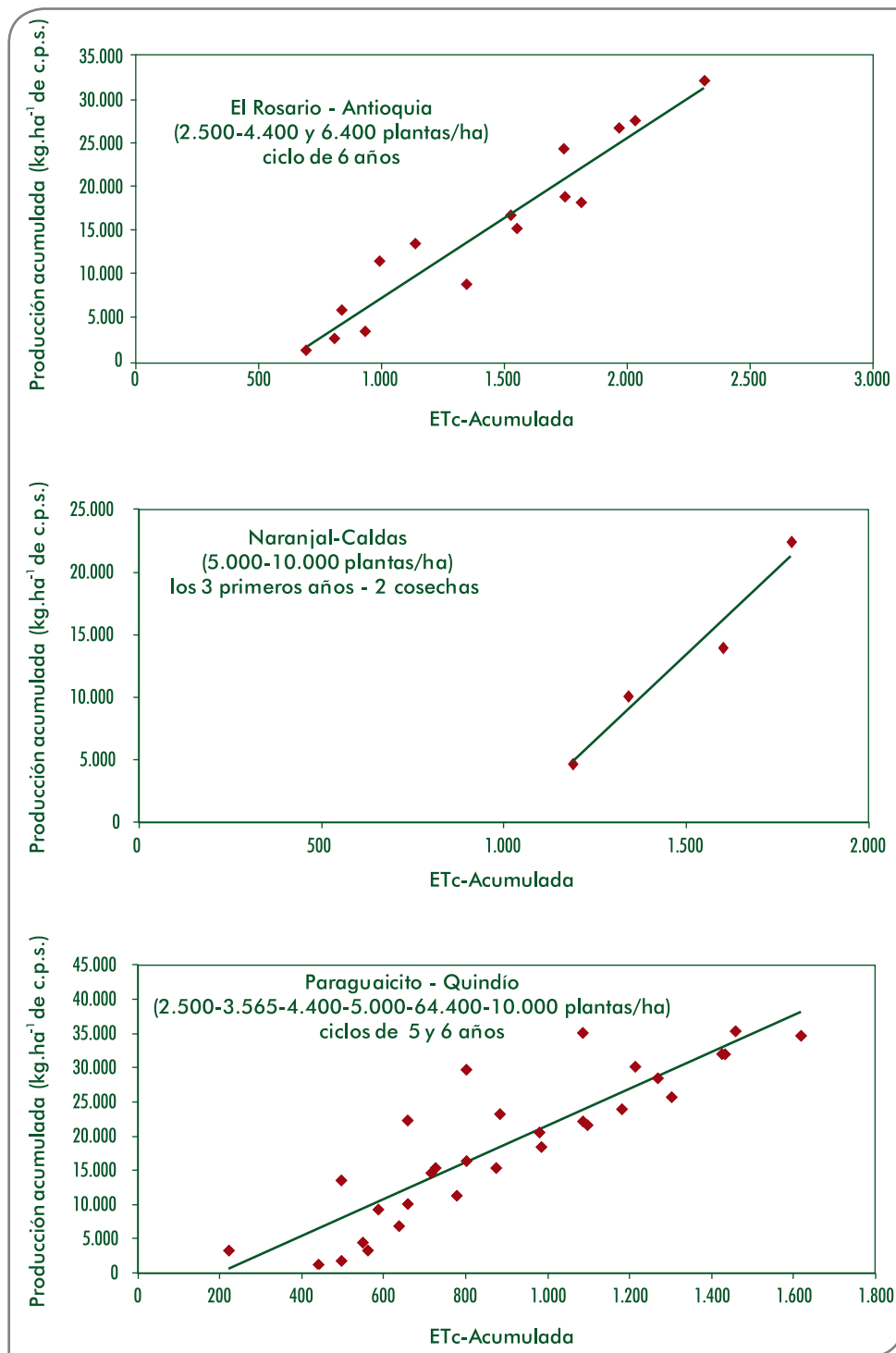


Figura 14.

Relación entre la producción acumulada de café en tres localidades y en diferentes densidades de siembra, con la evapotranspiración ajustada por déficit y exceso hídrico.

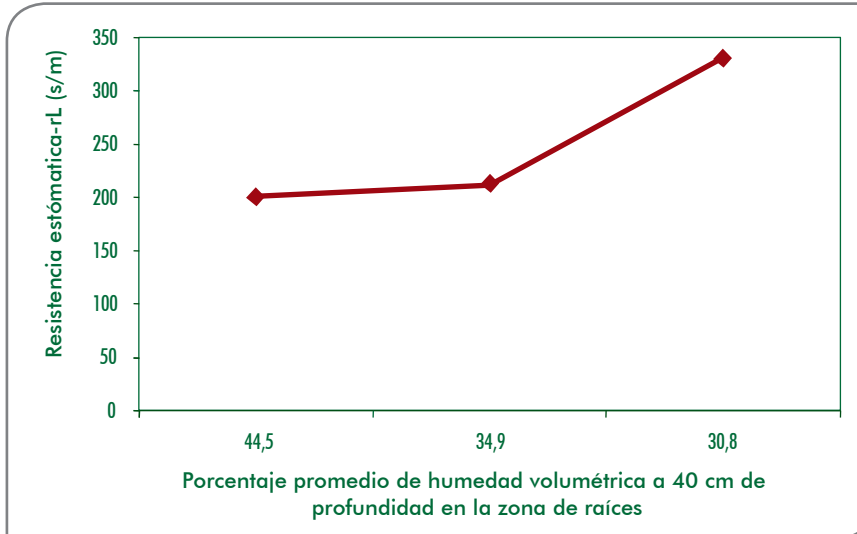
En la medida que un cultivo incrementa su evapotranspiración, está incrementando su intercambio gaseoso (Libera vapor de H₂O y toma CO₂), está moviendo más agua y nutrientes del suelo y está recibiendo más energía desde la atmósfera, cuando se presentan condiciones limitantes para el intercambio gaseoso, se reduce la ET_c-ajustada y, por lo tanto, se reduce la productividad del cultivo.

Déficit hídrico fenología y producción. El déficit hídrico en café depende de la magnitud y la duración del mismo. Cuando el déficit hídrico es moderado se presentan síntomas asociados a pérdida de turgencia de las hojas o deshidratación y caída en el ángulo de inclinación foliar (Figura 15a), los estomas se cierran reduciendo el intercambio gaseoso, como se observa en la Figura 16, en donde los estomas aumentan

**Figura 15.**

Síntomas de déficit hídrico en café.

a. Pérdida de turgencia y caída del ángulo de las hojas; **b.** Reducción del área foliar en hojas nuevas y reducción de la distancia entre nudos.

**Figura 16.**

Relación entre la resistencia estomática (A mayor resistencia menor intercambio gaseoso) con la humedad del suelo. Los datos de resistencia son un promedio diario de lecturas entre las 06:00 horas hasta las 18:00 horas, medida en tres tercios de la planta. Datos tomados en la Estación Experimental La Catalina (Pereira, Risaralda), en plantas de café de la Variedad Castillo®.

su resistencia a abrirse (Reducen su apertura), en la medida que disminuye la humedad del suelo. En la medida que el déficit hídrico se hace más prolongado, se empiezan a observar alteraciones morfológicas en la planta como reducción del área foliar de las hojas nuevas y reducción en la distancia de los entrenudos (Figura 15b) y caída prematura de hojas.

Una forma de estimar el déficit hídrico integralmente es empleando índices hídricos, que reúnen los aspectos de

capacidad de retención de humedad del suelo, la edad y densidad del cultivo y la demanda atmosférica, uno de ellos es el índice de déficit hídrico-IDH (Ramírez *et al.*, 2010b).

La magnitud del estrés hídrico de un cultivo por déficit, se estima en función de la reducción de la evapotranspiración real (ET_r) respecto a su valor máximo (ET_m), por lo tanto, el IDH se estima como la reducción de ET_r respecto a la ET_m (Ramírez *et al.*, 2010b)².

²Bajo condiciones de apropiado contenido de agua en el suelo, todo cultivo tiene una evapotranspiración máxima (ET_m) que está en función de variables atmosféricas como la energía disponible, el déficit de presión de vapor y la velocidad del viento, y de variables agronómicas como el porcentaje de cobertura (Densidad de siembra) y la edad (Estado fenológico), las cuales se integran en el coeficiente de cultivo (K_c), y el agua disponible en el suelo. A medida que el suelo se seca, la evapotranspiración máxima del cultivo disminuye y se convierte en evapotranspiración real (ET_r) o evapotranspiración del cultivo ajustada (ET_c -ajustada).

Ecuación 1

$$IDH = \frac{ETr}{ETm} \quad 0 \leq IDH \leq 1,0$$

Si el IDH es igual 1,0 (Ecuación 1), significa que no hay déficit y en la medida que disminuye el IDH de 1,0, indica que el déficit hídrico está aumentando y que el agua disponible en el suelo no es suficiente para suplir la demanda atmosférica y mantener la capacidad máxima de evapotranspiración del cultivo.

En suelos de baja capacidad de retención de agua, como un suelo arenoso, a una tasa constante de evapotranspiración, y para un cultivo en producción en alta densidad, el IDH alcanza valores críticos de déficit hídrico-IDH de 0,2 en 12 días (Figura 17), suelos con mayor capacidad de retención de humedad como los franco-arenoso-limosos y los franco-arenosos con materia orgánica, con igual demanda evapotranspirativa e igual densidad de siembra, alcanzan valores críticos de déficit-IDH de 0,2 entre los 22 y 28 días, respectivamente.

El cultivo del café en Colombia depende exclusivamente del aporte hídrico que hacen las lluvias, a excepción de algunas pequeñas áreas en algunas zonas del país, donde se cuenta con sistemas de riego, pero son áreas pequeñas comparadas con el total del área productiva del país. Por lo tanto, el cultivo es muy vulnerable a condiciones prolongadas de déficit hídrico, especialmente en los períodos de diciembre-marzo y junio-septiembre, que son los históricamente secos, y en los que se encuentra en diferentes estados de desarrollo las cosechas del primer y segundo semestres, respectivamente.

La vulnerabilidad de la cosecha al déficit hídrico depende de la distribución de la cosecha de la zona. Para las zonas de distribución de cosecha centro, centro-norte y centro-

sur, los períodos del año en donde el cultivo es vulnerable al déficit hídrico son de diciembre a marzo y de junio a septiembre, para las zonas con distribución de cosecha norte el período crítico del año al déficit hídrico es de junio a agosto y para las zonas con distribución de cosecha sur el período crítico del año al déficit hídrico es de diciembre a febrero. En estos períodos, dependiendo de la zona, es importante estar pendientes de las alertas climáticas y de las recomendaciones para reducir la vulnerabilidad al déficit hídrico.

Los principales daños ocasionados por el déficit hídrico en café dependen de la etapa de desarrollo en la que se encuentren los frutos, éstos son: granos vanos, negros, parcialmente llenos o completamente vacíos (Ver capítulos de Gestión del riesgo agroclimático). El porcentaje de daño depende de la magnitud del déficit, si el déficit es bajo $IDH < 0,6$ se requieren entre 35 y 40 días para iniciar el daño, y en la medida que aumenta el déficit (Tabla 10), disminuye el número de días para iniciar del daño en frutos, si el déficit hídrico es muy fuerte $IDH < 0,3$ a los 10 días se iniciaría el daño.

Requerimientos hídricos del cultivo de café. El requerimiento hídrico de un cultivo hace referencia a la cantidad de agua que mueve el cultivo desde la

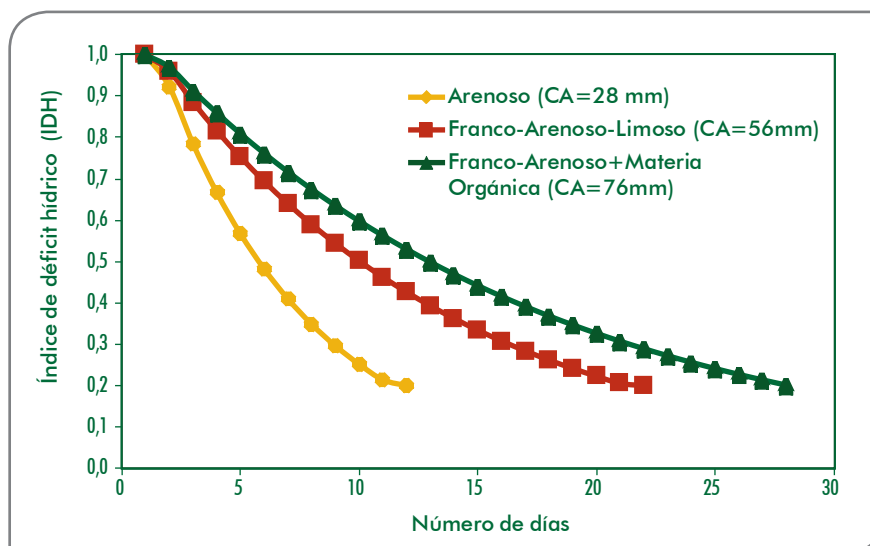


Figura 17.

Número de días en alcanzar déficit hídrico en función de la clase textural del suelo. Cálculo para un cultivo de café en producción asumiendo una tasa de evapotranspiración promedio de 3,5 mm/día, una profundidad de raíces de 40 cm y un $Kc = 1,3$ (CA=Capacidad de almacenamiento de agua del suelo).

Índice de Déficit Hídrico (I.D.H)	No. de días para inicio de daño en frutos
< 0,6	35 y 40
<0,5	28 y 32
<0,4	20 y 23
<0,3	10 y 13

Tabla 10.

Relación entre la magnitud del déficit hídrico y el inicio de daño en frutos de café por falta de agua.

zona de raíces hacia la atmósfera y se conoce como la evapotranspiración del cultivo. La evapotranspiración de un cultivo depende de varios factores a saber:

- **La demanda atmosférica**, que para el caso del café es muy variable por los rangos de altitud en los que se siembra el cultivo, por la influencia de los valles interandinos;
- **La edad del cultivo y la densidad de siembra**, ambos aspectos determinan la profundidad de raíces y el área foliar. En la Tabla 11 se presenta un ejemplo de los requerimientos hídricos calculados para el cultivo de café en un rango altitudinal, tres edades y cinco densidades de siembra, de acuerdo a estos aspectos los requerimientos hídricos del cultivo de café oscilan entre 62 mm.mes^{-1} (755 mm.año^{-1}) y 125 mm.mes^{-1} ($1.520 \text{ mm.año}^{-1}$).

Para el caso del cultivo de café en Colombia se ha introducido un concepto adicional conocido como los requerimientos de lluvia (Ramírez *et al.*, 2009), debido a que el aporte hídrico para el cultivo lo hacen las lluvias, parte de la lluvia se queda en las hojas como lluvia interceptada y otra se mueve superficialmente como escorrentía (Jaramillo, 2003; Ramírez y Jaramillo, 2007), lo que demuestra que los requerimientos de lluvia son mayores que los hídricos.

Por ejemplo, un cultivo de café en la cuenca del río Cauca, a 1.200 m.s.n.m., de 2 años de sembrado y en un suelo con una capacidad de almacenamiento de agua de 60 mm, necesita en el primer mes como mínimo 22 mm de lluvia, e inicia el exceso hídrico cuando la lluvia es superior a 134 mm (Figura 18a); en la misma finca, un cultivo de 5 años requiere como mínimo 42 mm, e inicia el exceso cuando la lluvia es superior a 182 mm (Figura 18b). Si la finca está en un suelo con capacidad de retención de agua de 20 mm, en el cultivo de 5 años, el requerimiento mínimo de lluvia sube a 74 mm (Figura 18c). En el mismo suelo de los dos primeros casos, en un cultivo de 5 años, pero ubicado a 1.800 m de altitud, el rango mínimo de lluvia disminuye de 42 mm a 36 mm, e inicia el exceso hídrico con menos lluvia 166 mm (Figura 18d).

El déficit hídrico y la floración. El déficit hídrico es otro factor estimulante en la floración del café, especialmente el déficit hídrico permite la concentración

Altitud (m)	Edad (años)	Densidad (plantas/ha)	Requerimientos hídricos			
			(mm/día)	(mm/mes)	(mm/año)	(L/día/planta)
1.400	0 a 1	2.500	2,1	62	755	8
1.400	0 a 1	5.500	2,5	75	916	5
1.400	0 a 1	7.500	2,7	80	979	4
1.400	0 a 1	8.500	2,8	83	1.005	3
1.400	0 a 1	10.000	2,8	85	1.038	3
1.400	1 a 3	2.500	2,7	82	996	11
1.400	1 a 3	5.500	3,2	95	1.157	6
1.400	1 a 3	7.500	3,3	100	1.220	4
1.400	1 a 3	8.500	3,4	102	1.246	4
1.400	1 a 3	10.000	3,5	105	1.279	4
1.400	> 3	2.500	3,4	102	1.237	14
1.400	> 3	5.500	3,8	115	1.398	7
1.400	> 3	7.500	4,0	120	1.461	5
1.400	> 3	8.500	4,1	122	1.487	5
1.400	> 3	10.000	4,2	125	1.520	4

Tabla 11.


Requerimientos hídricos calculados para el cultivo de café en Colombia para un rango altitudinal, en función de la densidad de siembra y la edad.

de los botones florales latentes, que entran en antesis o floración aproximadamente entre 7 y 10 días después de una lluvia superior a 10 mm.


Se ha observado que cuando en un trimestre (Noviembre-enero, febrero-abril, mayo-julio, agosto-octubre), iniciando 20 días antes, se presentan menos de 65 días con déficit hídrico moderado la floración es baja, pero si el número de días con déficit hídrico moderado es superior a 65 días por trimestre, la floración se incrementa (Ramírez et al., 2010a; Ramírez et al., 2011). En la medida en que el déficit hídrico se hace más fuerte, representado en el número de días

Consideraciones prácticas

La magnitud del déficit hídrico influye en la magnitud de la floración en café. Si el déficit hídrico es concentrado y prolongado la floración es concentrada, y viceversa (Arcila y Jaramillo, 2003).



Federación Nacional de Cafeteros de Colombia
Centro Nacional de Investigaciones de Café
Cálculo de los rangos adecuados de lluvia para el cultivo de café en Colombia



VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Mes (hace referencia a los meses consecutivos sin lluvia)		1
Altitud	metros	1200
Edad del cafetal	años	2
Capacidad de Almacenamiento de Agua del Suelo	mm	60
Cuenca		1
Lluvia mínima requerida por el cultivo	mm/mes	22
Lluvia máxima requerida por el cultivo	mm/mes	134

a

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Mes (hace referencia a los meses consecutivos sin lluvia)		1
Altitud	metros	1200
Edad del cafetal	años	5
Capacidad de Almacenamiento de Agua del Suelo	mm	60
Cuenca		1
Lluvia mínima requerida por el cultivo	mm/mes	42
Lluvia máxima requerida por el cultivo	mm/mes	182

b

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Mes (hace referencia a los meses consecutivos sin lluvia)		1
Altitud	metros	1200
Edad del cafetal	años	5
Capacidad de Almacenamiento de Agua del Suelo	mm	20
Cuenca		1
Lluvia mínima requerida por el cultivo	mm/mes	74
Lluvia máxima requerida por el cultivo	mm/mes	182

c

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Mes (hace referencia a los meses consecutivos sin lluvia)		1
Altitud	metros	1800
Edad del cafetal	años	5
Capacidad de Almacenamiento de Agua del Suelo	mm	60
Cuenca		1
Lluvia mínima requerida por el cultivo	mm/mes	36
Lluvia máxima requerida por el cultivo	mm/mes	166

d

Figura 18.

Ejemplo de aplicación de la calculadora de requerimientos hídricos en café para Colombia para cuatro casos diferentes (Ramírez et al., 2009). **a.** y **b.** Igual tipo de suelo y altitud, pero dos edades diferentes; **c.** Igual altitud, pero suelo diferente; **d.** Igual edad pero diferente altitud.

Si el déficit hídrico es moderado o escaso la apertura floral es escasa y dispersa, si el déficit hídrico es prolongado la apertura floral es concentrada. En este mismo sentido influyen los cambios diarios de temperatura como la amplitud térmica.

con $IDH < 0,5$, el número de botones florales aumenta, lo que significa que se requiere como mínimo 30 días de déficit hídrico fuerte por trimestre para una apropiada floración, más de 2.000 botones florales/trimestre.

Exceso hídrico producción. El impacto directo del exceso hídrico sobre el cultivo de café se relaciona directamente con la disminución en las tasas de evapotranspiración por efecto del exceso de agua en el suelo y su impacto en el cierre estomático ejerciendo un efecto similar al del déficit hídrico (Gómez, 2001). Al disminuir la ET_c , se disminuye el intercambio gaseoso y, por lo tanto, la asimilación neta y la acumulación de biomasa, mientras que por el otro lado se reduce el flujo de masas que es uno de los mecanismos que permite la toma de nutrientes de la solución del suelo por parte de las raíces. Aún no se ha hecho una medida directa del impacto del exceso hídrico sobre la producción, solo se cuenta con la estimación a partir de modelos.

Por ejemplo, cuando se analizó la relación entre la época de siembra y la producción influenciada por la acumulación de brillo solar en un ciclo productivo, se afirmó que la siembra realizada en el año 2005 en Chinchiná, al finalizar el ciclo en 2010, tuvo una reducción del 12,5% respecto a las siembras del 2000 y 2001, en tanto que al incluir en el modelo la reducción en evapotranspiración por déficit y exceso hídrico (ETc-ajustada), se incrementó la reducción en producción en 2% más (Figura 19).

Exceso hídrico y fenología. Para tener una primera aproximación de la cuantificación del efecto del exceso hídrico sobre la producción, se desarrolló un índice denominado índice de humedad el suelo -IHS (Ramírez et al., 2010b), que al igual que el IDH integra el comportamiento del agua en el suelo, edad y densidad del cultivo y demanda evapotranspirativa. El exceso hídrico se relaciona inversamente con el número de botones florales en café (Ramírez et al., 2011). Lo que significa que si se presentan más de 20 días por trimestre (Noviembre-enero, febrero-abril, mayo-julio, agosto-octubre), iniciando 20 días antes, con valores de $IHS > 0,5$, se reduce fuertemente el número de botones florales en café, en zonas en donde la acumulación térmica es baja (Temperatura media menor a $20^{\circ}C$), si la acumulación térmica y el brillo solar no son limitantes, se requiere mayor exceso hídrico para reducir la floración.

Disponibilidad hídrica y épocas de siembra. Hasta este punto se ha mencionado que para lograr el mejor aprovechamiento de la energía potencialmente disponible es más recomendable la siembra en el primer semestre del año y que dichas siembras son mucho

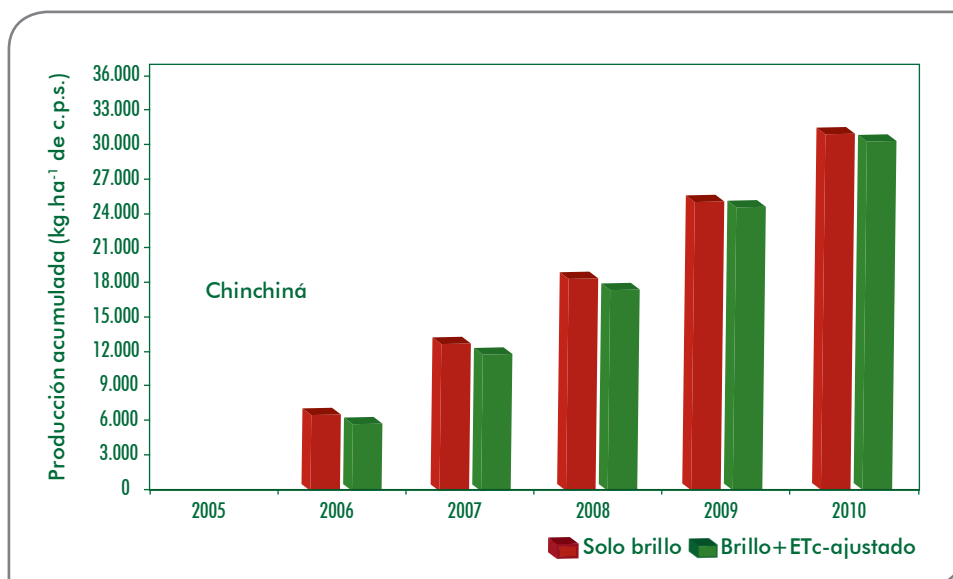


Figura 19.

Efecto del exceso y el déficit hídrico sobre la reducción de la producción potencial estimada en función del brillo solar.



El exceso hídrico es más limitante en zonas marginales altas, debido a que la acumulación térmica es menor, y los cambios diarios de temperatura (Amplitud Térmica) igualmente son menores, siendo en conjunto muy limitantes para la floración, y por ende, para la producción y productividad.

más significativas desde el punto de vista energético en las zonas cafeteras del centro y el norte del país, pero al mirar el patrón de distribución de las lluvias históricamente, se observa que en todos los casos no son más recomendables las siembras en el primer semestre, especialmente en las zonas centro sur y sur del país, donde el período de déficit hídrico de mitad de año es más prolongado que el déficit de principios de año (Tabla 12), por lo tanto, las épocas de siembra se deben ajustar a la disponibilidad hídrica de cada región, y en la zona sur deben estar más enfocadas en el segundo semestre.

Integrando conceptos

La floración del café es un proceso fenológico muy importante para la producción de café. La floración del café ocurre fundamentalmente en las yemas que se ubican en los nudos de las ramas primarias y secundarias (Figura 20a), pero ocasionalmente hay floración en yemas axilares (Arcila, 2007) (Figura 20b). Desde el punto de vista agroclimático, para que se formen las ramas y los nudos en las ramas es necesaria la acumulación de energía (Radiación + temperatura) y que

exista disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo. Una vez se han formado los nudos, se inicia un proceso de duración variable, el cual llamamos floración, dicho proceso de acuerdo con Wormer y Guituanja (1970) y Camayo y Arcila (1996) comprende las siguientes etapas: Diferenciación, dormancia, preantesis y antesis.

Para que un nudo indiferenciado pase a diferenciado se requieren de **factores climáticos estimulantes**, como la **reducción en el fotoperíodo** mayor a 30 minutos, lo cual ocurre en Colombia en zonas ubicadas por encima de los 4°31' de latitud Norte, y **diferencias entre la temperatura máxima y mínima, a nivel diario, mayores a 10°C**; estos dos estímulos influyen en el balance hormonal del cultivo, generando la señal para la diferenciación. En el centro-sur del país, donde no se presenta el estímulo por fotoperíodo, los cambios de temperatura diarios son muy importantes en la diferenciación floral.

Una vez las yemas se han diferenciado viene un proceso de crecimiento de las mismas, para lo cual se requiere de **factores climáticos de acumulación** como la **acumulación de energía y agua**, cuando se ha cumplido la acumulación de las yemas florales se inicia la dormancia o latencia, el cual es un proceso natural, desde el punto de vista productivo; la dormancia tiene una ventaja y es que permite la acumulación de botones florales y, por lo tanto, la concentración de la cosecha.

El déficit hídrico es el que mantiene la dormancia o latencia y es por esta razón que cuando se tienen muchos días secos, prolongados o consecutivos, se tienen menos eventos de floración, pero sí una floración más concentrada y mayor cantidad de botones florales, lo que comúnmente se conoce como floraciones concentradas.

Para interrumpir la dormancia o latencia y permitir el paso a la siguiente etapa, que es la pre-antesis, se requiere nuevamente de los **factores climáticos estimulantes**



Consideraciones prácticas

El proceso productivo de la planta de café, incluida la floración, es un proceso que depende de dos tipos de factores climáticos: Los estimulantes y los acumuladores; un cambio en cualquiera de estos dos, genera cambios en los patrones de distribución de la floración y en la cantidad. Es importante recordar que es un proceso que no se da de un día para otro, sino que dura hasta 4 meses, dependiendo de la ocurrencia y magnitud de todos los procesos anteriores para el caso de la floración, y hasta 18 meses para el caso de la producción.

Tabla 12.

Meses recomendados para la siembra (S) y fechas probables de floración (F) y de cosecha (C).

Departamento/Municipio/Estación		Latitud ° ' ° '	Longitud ° ' ° '	Altitud (m)	Meses		Lluvia (mm) Probabilidad 0,75											
					Siembra a floración	Siembra a cosecha	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Cesar																		
Pueblo Bello	Pueblo Bello	10 25	73 34	1.134	9	17					F-S						C	
El Helechal	Pueblo Bello	10 26	73 34	1.447	11	20					F-S						C	
Magdalena																		
La Victoria	Santa Marta	11 8	74 6	1.100	9	16	C				F-S							
Norte de Santander																		
Gabriel María Barriga	Convención	8 25	73 20	1.261	10	18					F-S						C C	
Francisco Romero	Salazar	7 44	72 47	903	9	15					F-S						C	
Blonay	Chinácota	7 34	72 37	1.250	10	18					F-S						C	
Santander																		
El Silencio	Rionegro	7 24	73 13	1.120	9	17					F-S						C	
Los Cocos	Rionegro	7 14	73 7	1.300	10	18					F-S						C	
Palestina	Rionegro	7 19	73 7	1.350	11	19					F-S						C	
Cocal	Rionegro	7 16	73 9	700	8	14					F-S						C	
Ceylan	Bucaramanga	7 11	73 7	1.304	10	18					F-C						C	
Miporal	Floridablanca	7 6	73 5	1.237	10	18	C					F-S						
San Antonio	Floridablanca	7 6	73 4	1.539	12	21	C					F-S						
Bonanza	Girón	7 5	73 17	1.250	10	18					F-S						C	
El Roble	Los Santos	6 52	73 3	1.646	13	22					F-S						C	
Cuchicute	Curití	6 34	73 4	1.600	12	22					F-S						C	
Santa Rita	San Gil	6 35	73 8	1.600	12	22					F-S						C	
Chapa (El Nogal)	Charalá	6 20	73 4	1.560	12	21					S-F						C	
Villanueva	Charalá	6 14	73 10	1.450	11	20					F-S						C	
Chochos	Hato	6 33	73 19	1.400	11	20					F-S						C	
Alberto Santos	Socorro	6 30	73 13	1.499	11	20					F-S						C	
La Chapola	Socorro	6 27	73 12	1.731	13	24					F-S						C	
La Plazuela	Socorro	6 27	73 14	1.672	13	23					F-S						C	
Las Delicias	Palmas del Socorro	6 24	73 16	1.450	11	20					F-S						C	
El Mesón	Valle de San José	6 25	73 9	1.330	10	18					F-S						C	
La Laguna	Páramo	6 30	73 9	1.550	12	21					F-S						C	
Las Flores	Pinchote	6 29	73 11	1.700	13	23					F-S						C	
La Cumbre	Puente Nacional	5 52	73 41	1.691	13	23					F-S						C	
Aguasblancas	San Vicente	6 50	73 29	964	9	15					F-S						C	
Casa de Teja	San Vicente	6 55	73 27	960	9	15					F-S	S					C	
Boyacá																		
Bertha	Moniquirá	5 53	73 34	1.677	12	21					F-S						C	
Cundinamarca																		
El Jardín (Clavel)	Yacopí	5 27	74 19	1.245	9	16					F-S	S					C	
Montelíbano	Yacopí	5 27	74 20	1.365	10	17					F-S	S					C	
Santa Rosita	El Peñón	5 16	74 17	1.437	10	18					F-S	S					C	
Canaima	La Palma	5 21	74 25	1.594	11	20					F-S	S					C	
La Vistosa	Topaipí	5 20	74 16	1.374	10	17					F-S						C	
Ceranza	Vergara	5 9	74 16	1.450	10	18											F-S S	
La Florida	Vergara	5 5	74 18	1.400	10	18											S-F S	

■ Mes seco ■ Mes húmedo ■ Mes muy húmedo

Continúa...

...continuación

Departamento/Municipio/Estación		Latitud				Altitud (m)	Meses		Lluvia (mm) Probabilidad 0,75											
		o	'	o	'		Siembra a floración	Siembra a cosecha	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Icalí	Sasaima	4	57	74	25	1.328	10	17						C				F-S	S	
Santa Bárbara	Sasaima	4	56	74	25	1.478	10	18						C				F-S	S	
San Luis	Arbeláez	4	14	74	26	1.700	11	19						C				F-S		
Mesitas de Santa Inés	Cachipay	4	43	74	27	1.340	12	21						C				F-S		
Honduras	La Mesa	4	41	74	27	1.077	10	17						C				F-S		
Misiones	Mesitas del Colegio	4	33	74	26	1.540	8	15			F			C				F-S	C	
Pinar del Río	Silvana	4	26	74	23	1.752	11	19			F			C				F-S	C	
Granja Tibacuy	Tibacuy	4	22	74	26	1.538	12	22			F			C				F-S	C	
Tolima																				
Tricontinental	Fresno	5	9	75	0	1.269	11	19						C				F-S		
La Danta	Casabianca	5	6	75	6	1.610	9	16				C				S-F	S			
Buenos Aires	Palocabildo	5	8	75	1	1.410	11	20					C			S-F	S			
El Edén	Libano	4	58	75	0	1.373	10	18				C				S-F	S			
La Trinidad	Libano	4	54	75	2	1.456	10	17				C				S-F	S			
Planes	Lérida	4	50	75	0	1.223	10	18			F-S		C				F-S		C	
Totalito	Alvarado	4	40	75	1	1.250	9	16			F-S		C				F-S		C	
Janiyof	Anzoátegui	4	38	75	4	1.720	9	16			F-S		C				F-S		C	
Chapetón	Ibagué	4	28	75	16	1.353	12	22			F-S		C				F-S		C	
El Recreo	Ortega	4	3	75	18	1.504	10	17			F-S		C				F-S		C	
El Horizonte	Cunday	4	4	74	36	1.270	11	19			F-S		C				F-S		C	
La Montaña	Dolores	3	33	74	54	1.219	9	16			F-S		C				F-S		C	
Huila																				
Guayabal	Algeciras	2	32	75	17	1.460	9	16			F			C				F-S	C	
Jorge Villamil	Gigante	2	20	75	31	1.420	10	18					C					F-S		
La Primavera	Gigante	2	15	75	31	1.386	10	18					C					F-S		
Montenegro	Gigante	2	17	75	29	2.099	10	18					C					F-S		
Villa Consuelo	Garzón	2	11	75	34	1.570	11	20					C					F-S		
Conc. Desarrollo	Timaná	1	57	75	56	1.141							C					F-S		
Corrales	Teruel	2	45	75	37	1.450	10	18					C					F-S		
Antioquia																				
Carimagua	Amagá	6	1	75	41	1.802	13	23			F-S								C	
El Trapiche	Bolívar	5	48	76	1	1.277	9	17			F-S								C	
Bariloche	Fredonia	5	55	75	42	1.748	12	22			F-S								C	
El Olvido	Fredonia	5	50	75	40	971	8	14			F-S								C	
La Blanquita	Fredonia	5	49	75	41	570	10	18			F-S								C	
Santa Cruz	Fredonia	5	54	75	38	1.400	15	26			F-S								C	
Santa Isabel	Fredonia	5	53	75	41	1.963	11	20			F-S								C	
Miguel Valencia	Jardín	5	36	75	51	1.621	14	25			F-S								S	
El Porvenir	Jericó	5	48	75	46	1.906	12	21			F-S								C	
La Cristalina	Támesis	5	42	75	40	775	12	20			F-S								C	
Virgen De Oro	Támesis	5	45	75	42	1.656	10	17			F-S								C	
El Rosario	Venecia	5	58	75	42	1.635	14	25				F-S	C				F-S			C
Cocorná	Cocorná	6	4	75	11	1.344	11	20				F-S	C				F-S			C
Caldas																				
Cuatro Esquinas	Aguadas	5	40	75	25	1.900	12	21			F-S		C				F-S		C	
Guaymaral	Aguadas	5	39	75	27	1.600	11	20			F-S		C				F-S		C	
San José	Aguadas	5	34	75	28	1.663	12	22			F-S		C				F-S		C	

Continúa...

...continuación

Departamento/Municipio/Estación		Latitud		Longitud		Altitud (m)	Meses		Lluvia (mm) Probabilidad 0,75											
		°	'	°	'		Siembra a floración	Siembra a cosecha	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
La Cascada	Pácora	5	28	75	33	1.600	13	22			F-S		C				F-S		C	
La Linda	Pácora	5	33	75	32	1.750	13	24			F-S	C				F-S			C	
La Gaviota	Salamina	5	22	75	29	1.772	12	21			F-S		C				F-S		C	
El Socorro	La Merced	5	23	75	33	1.852	12	21			F-S		C				F-S		C	
El Mirador	Filadelfia	5	14	75	34	1.650	11	20			F-S		C				F-S		C	
La Julia	Filadelfia	5	18	75	34	1.650	11	20			F-S		C				F-S		C	
Piamonte	Neira	5	11	75	31	1.625	13	22			F-S		C				F-S		C	
Agronomía	Manizales	5	3	75	30	2.088	13	23			F-S		C				F-S		C	
El Pistacho	Manizales	5	4	75	33	1.582	10	17			F-S		C				F-S		C	
Java	Manizales	5	1	75	32	1.778	10	18			F-S		C				F-S		C	
La Juliana	Manizales	5	8	75	29	1.785	12	21			F-S		C				F-S		C	
La Selva	Manizales	5	5	75	36	1.312	9	16			F-S		C				F-S		C	
Las Colinas	Manizales	5	6	75	34	1.450	12	21			F-S		C				F-S		C	
Santa Teresa	Manizales	5	7	75	32	1.698	12	21			F-S		C				F-S		C	
Santa Teresita	Manizales	5	4	75	37	1.172	10	17			F-S		C				F-S		C	
Bello Horizonte	Villamaría	4	59	75	33	1.690	11	20			F-S		C				F-S		C	
Cenicafé	Chinchiná	5	0	75	36	1.310	9	16			F-S		C				F-S		C	
La Divisa	Chinchiná	4	59	75	36	1.590	10	17			F-S		C				F-S		C	
La Francia	Chinchiná	4	59	75	41	1.267	10	18			F-S		C				F-S		C	
La Romelia	Chinchiná	4	58	75	40	1.335	9	16			F-S		C				F-S		C	
La Sierra	Chinchiná	4	59	75	38	1.440	10	17			F-S		C				F-S		C	
Moravo	Chinchiná	5	1	75	43	1.146	10	18			F-S		C				F-S		C	
Naranjal	Chinchiná	4	58	75	39	1.381	8	15			F-S		C				F-S		C	
El Recreo	Palestina	5	2	75	39	1.430	10	17			F-S		C				F-S		C	
Granja Luker	Palestina	5	4	75	41	1.031	10	18			F-S		C				F-S		C	
La Argentina	Palestina	5	2	75	41	1.354	9	16			F-S		C				F-S		C	
La Margarita	Palestina	5	2	75	37	1.436	8	15			F-S		C				F-S		C	
La Palma	Palestina	5	1	75	41	1.165	13	23			F-S		C				F-S		C	
Santágueda	Palestina	5	4	75	40	1.026	10	18			F-S		C				F-S		C	
El Descanso	Marmato	5	30	75	37	1.803	10	18			F-S		C				F-S		C	
Rafael Escobar	Supía	5	27	75	38	1.307	10	18			F-S		C				F-S		C	
La Argentina	Riosucio	5	28	75	42	1.420	12	21			F-S		C				F-S		C	
La Manuelita	Riosucio	5	22	75	41	1.460	10	18			F-S		C				F-S		C	
El Tabuyo	Anserma	5	15	75	47	1.669	9	15			F-S		C				F-S		C	
Santa Fe	Anserma	5	11	75	47	1.410	12	21			F-S		C				F-S		C	
San Lucas	Risaralda	5	7	75	45	1.105	10	17			F-S		C				F-S		C	
La Divisa	San José	5	7	75	48	1.686	10	18			F-S		C				F-S		C	
La Esmeralda	Viterbo	5	5	75	54	1.365	13	23			F-S		C				F-S		C	
El Tiburio	Samaná	5	33	75	1	1.403	11	19			F-S		C				F-S		C	
Granja Kennedy	Pensilvania	5	20	75	6	1.800	12	21			F-S		C				F-S		C	
Hogar Juvenil	Pensilvania	5	30	75	11	1.560	10	18			F-S		C				F-S		C	
Villaraz	Pensilvania	5	23	75	4	1.650	10	18			F-S		C				F-S		C	
La Esperanza	Marquetalia	5	18	75	5	1.463	10	18			F-S		C				F-S		C	
Santa Helena	Marquetalia	5	19	75	0	1.395	8	15			F-S		C				F-S		C	
Llanadas	Manzanares	5	12	75	8	1.390	9	15			F-S		C				F-S		C	
Cuba	Victoria	5	20	74	56	1.054	10	18			S-F		C				S-F		C	
La Pastorita	Victoria	5	19	74	58	1.122	12	20			S-F		C				S-F		C	
Risaralda																				
La Palmera	Marsella	5	0	75	45	1.450	10	18			S-F		C				S-F		C	
El Jazmín	Santa Rosa de Cabal	4	55	75	37	1.635	9	16			S-F		C				S-F		C	
El Bosque	Dosquebradas	4	51	75	41	1.458	9	15			S-F		C				S-F		C	

Continúa...

...continuación

Departamento/Municipio/Estación		Latitud		Longitud		Altitud (m)	Meses		Lluvia (mm) Probabilidad 0,75											
		°	'	°	'		Siembra a floración	Siembra a cosecha	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Combia	Pereira	4	51	75	47	1.173	10	17			S-F	C					S-F		C	
El Pílamó	Pereira	4	52	75	48	1.113	9	17			S-F	C					S-F		C	
La Catalina	Pereira	4	45	75	44	1.321	9	16			S-F	C					S-F		C	
La Playa	Pereira	4	49	75	45	1.290	9	16			S-F	C					S-F		C	
La Renta	Pereira	4	47	75	47	1.194	11	19			S-F	C					S-F		C	
Los Cábmulos	Pereira	4	49	75	50	1.189	11	19			S-F	C					S-F		C	
Planta de Tratamiento	Pereira	4	48	75	40	1.487	12	22			S-F	C					S-F		C	
El Diamante	Quinchía	5	19	75	42	1.550	13	23			S-F	C					S-F		C	
La Oriental	Quinchía	5	22	75	43	1.730	12	21				S-F	C				S-F			C
Buenos Aires	Guática	5	19	75	48	1.814	11	20				S-F	C				S-F			C
Ospirma	Guática	5	20	75	49	1.661	10	18			F-S	S	C				F	F-S	C	
El Barranco	Mistrató	5	20	75	53	1.580	11	20			F-S	C	C				F-S		C	
Los Cábmulos	Belén de Umbría	5	9	75	53	1.400	12	21			F-S	C	C				F-S		C	
Los Naranjos	Santuario	5	3	76	0	1.580	10	18			F-S	C	C				F-S		C	
Quindío																				
La Esperanza	Filandia	4	38	75	41	1.671	10	17			F-S	C	C				F-S		C	
La Ilusión	Circasia	4	35	75	43	1.442	10	18			F-S	C	C				F-S		C	
Almacafé Vivero	Quimbaya	4	37	75	46	1.330	9	17			F-S	C	C				F-S		C	
Maracay	Quimbaya	4	36	75	44	1.402	9	16			F-S	C	C				F-S		C	
El Agrado	Montenegro	4	31	75	48	1.275	9	16			F-S	C	C				F-S		C	
La Julia	Montenegro	4	33	75	45	1.250	10	17			F-S	C	C				F-S		C	
Sorrento	Montenegro	4	33	75	49	1.203	9	16			F-S	C	C				F-S		C	
La Pradera	Armenia	4	28	75	43	1.350	10	17			F-S	C	C				F-S		C	
Tucumán	Armenia	4	32	75	44	1.250	10	18			F-S	C	C				F-S		C	
El Jardín	Calarcá	4	28	75	42	1.365	11	19			F-S	C	C				F-S		C	
La Bella	Calarcá	4	30	75	40	1.449	9	16			F-S	C	C				F-S		C	
Quebradanegra	Calarcá	4	27	75	40	1.500	9	16			F-S	C	C				F-S		C	
La Argentina	La Tebaida	4	27	75	47	1.200	10	17			F-S	C	C				F-S		C	
La Miranda	La Tebaida	4	26	75	51	1.193	10	18			F-S	C	C				F-S		C	
Mónaco	Córdoba	4	25	75	42	1.350	9	16			F-S	C	C				F-S		C	
La Esperanza	Buenavista	4	22	75	45	1.428	10	18			F-S	C	C				F-S		C	
Paraguaicito	Buenavista	4	24	75	44	1.203	11	20			F-S	C	C				F-S		C	
El Porvenir	Pijao	4	19	75	47	1.470	12	21			F-S	C	C				F-S		C	
La Alejandría	Génova	4	11	75	47	1.600	9	16			F-S	C	C				F-S		C	
La Esperanza	Génova	4	13	75	48	1.650	10	18			F-S	C	C				F-S		C	
Valle																				
Arturo Gómez	Alcalá	4	40	75	47	1.259	9	16			F-S	C	C				F-S		C	
El Recreo	Ulloa	4	42	75	44	1.421	9	16			F-S	C	C					F-S		C
El Berrión	Cartago	4	40	75	50	1.166	11	20			F-S	C	C				F-S		C	
Venecia	Caicedonia	4	20	75	50	1.168	13	23			F-S	C	C				F-S		C	
La Sirena	Sevilla	4	17	75	54	1.519	13	22			F-S	C	C				F-S		C	
La Selva	Ginebra	3	45	76	12	1.805	11	19				F-S	C	C				F-S		C
Santa Marta	El Águila	4	53	76	3	1.764	12	22			F-S		C	C				F-S		C
Bellavista	Ansermanuevo	4	45	76	6	1.528	11	19				F-S	C	C				F-S		C
El Placer	Ansermanuevo	4	47	76	4	1.744	11	19				F-S	C	C				F-S		C
Santiago Gutiérrez	Argelia	4	44	76	7	1.530	10	17				F-S	C	C				F-S		C
Albán	El Cairo	4	47	76	11	1.510	10	17				F	C	C				F-S		C
Manuel M. Mallarino	Trujillo	4	13	76	19	1.331	11	20					C	C				F-S		C
Julio Fernández	Restrepo	3	49	76	32	1.381	10	17					C	C				F-S		C

Continúa...

...continuación

Departamento/Municipio/Estación	Latitud ° ' ° '	Longitud ° ' ° '	Altitud (m)	Meses		Lluvia (mm) Probabilidad 0,75																								
				Siembra a floración	Siembra a cosecha	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D													
Cauca																														
Mondomo (El Fontanar)	Santander de Quilichao	2 54 76 33	1.380	10	17										C											F-S				
Madrigal	Caldono	2 51 76 33	1.434	10	18										C													F-S		
La Trinidad	Piendamó	2 45 76 35	1.671	12	21										C													F-S		
La Suecia	El Tambo	2 29 76 50	1.693	12	21										C													F-S		
Manuel Mejía	El Tambo	2 24 76 44	1.735	12	22										C													F-S		
Portichuelo	Rosas	2 16 76 45	1.695	12	21										C													F-S		
Nariño																														
Ospina Pérez	Consacá	1 15 77 29	1.603	11	20					F					C													F-S		C
El Sauce	La Unión	1 37 77 7	1.609	11	20										C													F-S		



Figura 20.

a. Floración en las yemas de los nudos de las ramas primarias y secundarias;
b. Floración en las yemas axilares de las ramas y en el tallo.

como **la lluvia**, que interrumpa el déficit hídrico, y permita el paso de la pre-antesis. Regularmente una lluvia superior a 10 mm permite el rompimiento de la latencia.

como lo es el **cambio diario de temperatura**. Los cambios diarios de temperatura en muchas zonas del país y en algunas épocas del año, no permiten que se concentre la latencia y, por lo tanto, las floraciones son de poca cantidad y dispersas a lo largo del año. Una vez se presenta la pre-antesis rápidamente se da la antesis o apertura floral llamada “floración”.

En algunas épocas del año se observa pre-antesis y antesis sin haber déficit hídrico previo, lo cual significa que el rompimiento de la latencia se dio por otro estímulo

Ecuación 2

$$I.Hi.He.T = \frac{\text{Factor estimulante}}{110} * \frac{\text{No días IDH} < 0,8}{1.768} * \frac{\text{Factor estimulante}}{\text{Nº días AT} < 10} * \frac{20}{12 - (N - n)}$$

Factor de acumulación
Factor de acumulación

Los factores de acumulación y los de estímulo se han integrado en un índice denominado índice hidroheliotérmico (I.Hi.He.T) (Ramírez et al., 2010), el cual integra el número de días con déficit hídrico (IDH), la acumulación de temperatura (TT), los cambios diarios de temperatura (AT) y la diferencia entre el brillo solar astronómico posible y el medido en la estación (N-n) (Ecuación 2).

El índice permite comparar cómo han sido las condiciones agrometeorológicas entre períodos de floración para una misma localidad. Por ejemplo, en la Figura 21 se muestra el comportamiento del índice para la zona de influencia de la Estación Experimental Paraguacito, en los períodos de floración de mayo a julio y agosto a octubre, que determinan la cosecha del primer semestre, se puede observar cómo las condiciones de acumulación y de estímulo fueron mucho mejores en el período de mayo a

octubre de 2012, que determinaron la cosecha del primer semestre del año 2013, comparadas con las condiciones agrometeorológicas del mismo período mayo a octubre del 2011, que determinaron la cosecha del primer semestre del 2012, lo que se vio reflejado en el número de botones florales registrados (Figuras 21 y 22).

De esta manera, se puede concluir que la variación de los elementos climáticos, como radiación, temperatura, brillo solar, cambios diarios de temperatura, humedad atmosférica, disponibilidad hídrica, entre otros, influye de manera directa en la producción y la productividad del cultivo de café. Conocer esta influencia permite la aplicación adecuada y oportuna de estrategias de manejo del cultivo, que optimice estos factores y reduzca la vulnerabilidad de los sistemas productivos a ellos, y aumentar la capacidad de adaptación del cultivo a condiciones variables de clima.

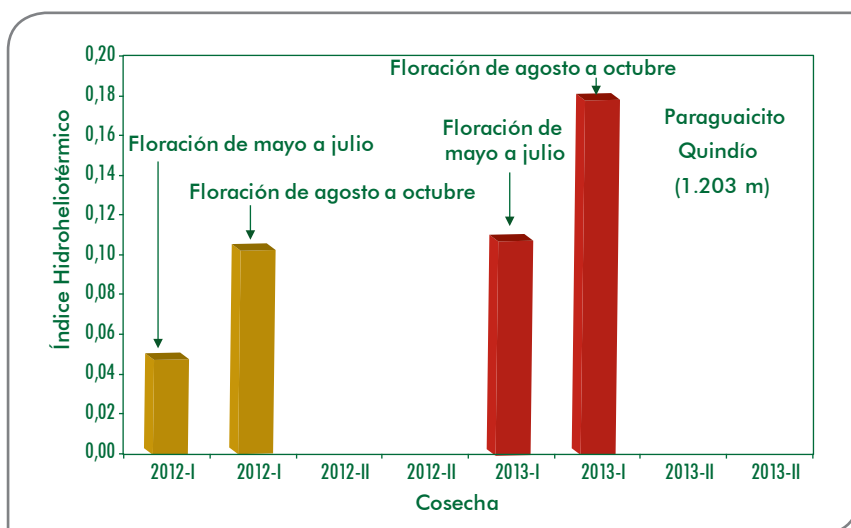


Figura 21.

Comparativo del comportamiento del índice hidro-helio-térmico en una localidad para dos años climáticamente contrastantes.

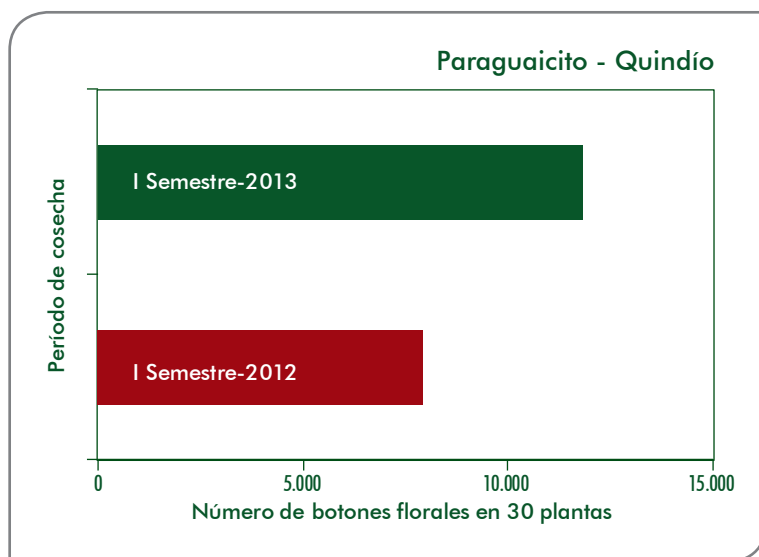


Figura 22.

Floración acumulada para la cosecha de primer semestre para los períodos mayo-octubre de 2011, correspondiente a la cosecha de 2012, con valores de baja acumulación y estimulación a la floración, y el mismo período de 2012 correspondiente a la cosecha de 2013, con valores de mejor acumulación y estimulación a la floración.

Recomendaciones prácticas

- La época de siembra del cultivo de café debe coincidir con la época del año de mayor disponibilidad de energía (Brillo solar) y mayor disponibilidad hídrica.
- Las épocas de siembra del café no deben coincidir con el inicio de las épocas secas, que en las zonas central y centro sur ocurren en enero y junio, en la zona sur en junio y en la zona norte en diciembre.
- En las zonas centro y centro norte se debe aprovechar el estímulo que da el fotoperíodo y se deben hacer las siembras a principio de año, dependiendo de la disponibilidad hídrica de la región.
- Como la temperatura media del aire determina la velocidad de crecimiento del cultivo, en las zonas con altitudes superiores a 1.500 m se debe compensar la reducción en la velocidad de crecimiento con mayor densidad de siembra (Plantas por hectárea).
- En zonas bajas para la zona cafetera central (<1.200 m de altitud) las siembras de café y los sistemas de producción deben establecerse en sistemas agroforestales, para reducir el efecto de las altas temperaturas sobre el cultivo del café.
- En zonas de alta precipitación y suelos vulnerables a la erosión deben emplearse barreras de árboles como estrategia de conservación de suelos.
- En zonas donde los períodos secos de principio y mitad de año sean mayores a 2 meses deben incluirse árboles en el sistema de producción de café. En aquellas zonas donde el período seco sea inferior a 2 meses deben implementarse estrategias que permitan reducir el efecto del déficit hídrico sobre el llenado de los frutos, tales como el uso de coberturas muertas en los platos de los árboles, fertilización adecuada en las épocas recomendadas, eliminación de arvenses de interferencia alta y media para el cultivo, entre otras (Ver capítulo Gestión del riesgo agroclimático - Vulnerabilidad y capacidad de adaptación del sistema de producción de café).

Literatura citada

- ARCILA, P.J. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. En: *Sistemas de producción de café en Colombia*. Chinchiná. Cenicafé: 21-60.2007.
- ARCILA, P. J.; JARAMILLO, R. A. Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé*. N° 311. 8p. 2003.
- CASTILLO, Z.J.; LÓPEZ, A.R. Nota sobre el efecto de la intensidad de luz en la floración del cafeto. *Cenicafé*. 17(2):51-60. 1966.
- CAMAYO, G.; ARCILA, P.J. Estudio anatómico y morfológico de la diferenciación y desarrollo de las flores del cafeto *Coffea arabica* L. variedad Colombia. *Cenicafé* 47(3): 121-139.1996.
- CHAVES, C.B.: JARAMILLO, R.A. Regionalización de la temperatura del aire en Colombia. *Cenicafé*. 49(3):224-230.
- FARFÁN, V.F., JARAMILLO, R.S. Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región. *Avances Técnicos Cenicafé*. No.379.8p.2009.
- FARFÁN, V.F.; MESTRE, M.A. Fertilización de cafetales con sombrío en la zona cafetera norte de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*. No 331.8p. 2005.
- GÓMEZ, M. O. Efecto del estrés hídrico sobre la actividad fotosintética en la planta de café (*Coffea arabica* L. c.v, Colombia). Tesis de Grado de Ing. Agrónomo. Universidad de Caldas. 68p. 2000
- JARAMILLO, R.A. La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. *Cenicafé*. 54(2):134-144.2003
- JARAMILLO, R.A.; VALENCIA, A.G. Los elementos climáticos y el desarrollo de *Coffea arabica* L., en Chinchiná, Colombia. *Cenicafé*. 31(4):127-144.1980.
- JARAMILLO, R.A.; GUZMÁN, M.O. Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L., variedad Caturra. *Cenicafé*. 35(3):57-65.1984
- JARAMILLO, R.A. Clima Andino y Café en Colombia. *Cenicafé*.2005.196p.
- JARAMILLO, R.A.; RAMÍREZ, B.V.H.; ARCILA, P.J. Distribución de la lluvia clave para planificar las labores en el cultivo de café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*. No 411.8p.2011
- PEÑA, Q.A.J.;RAMÍREZ, B.V.H.;JARAMILLO, R.A.;RENDÓN, S.J.R.;ARCILA, P.J. 2011. Effects of the Daylength and Soil Humidity on the Flowering of the Coffee Cop *Coffea arabica* L. in Colombia. *Rev. Fac.Nal.Agr.Medellin*. 64(1):5745-5754.
- RAMÍREZ, B.V.H.; JARAMILLO, R.A. Distribución de la lluvia en cuatro coberturas vegetales de la zona andina. *Investigaciones de Unisarc Bol*. 5(1):19-33.2007.
- RAMÍREZ, B.V.H., JARAMILLO,R.A., ARCILA, P.J. Rangos adecuados de lluvia para el cultivo de café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*. No 395. 8p.2009
- RAMÍREZ, B.V.H.; ARCILA, P.J.; JARAMILLO, R.A.; RENDÓN, S. J.S.; CUESTA, G.G.; MENZA, F. H.D.; MEJÍA, M.C.G.; MONTOYA, D.F.; MEJÍA, M.J.W.; TORRES, N.J.C.; SÁNCHEZ, A.P.M.; BAUTE, B.J.E.; PEÑA, Q.A. Floración del café en Colombia y su relación con la disponibilidad hídrica, térmica y de brillo solar. *Cenicafé* 61 (2):132-158.2010a.
- RAMÍREZ, B.V.H.; JARAMILLO, R.A.; ARCILA, P.J. Índices para evaluar el estado hídrico en los cafetales. *Cenicafé*. 61(1):55-66.2010b.
- RAMÍREZ, B.V.H.; ARCILA, P.J.; JARAMILLO, R.A.; RENDÓN, S. J.S.; CUESTA, G.G.; MENZA, F. H.D.; MEJÍA, M.C.G.; MONTOYA, D.F.; MEJÍA, M.J.W.; TORRES, N.J.C.; SÁNCHEZ, A.P.M.; BAUTE, B.J.E.; PEÑA, Q.A. Variabilidad climática y la floración del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*. No 407.8p. 2011
- RAMÍREZ, B.V.H.; JARAMILLO, R.A.; PEÑA, Q.A.J.; VALENCIA, A. J.A. El brillo solar en la zona cafetera Colombiana durante los eventos El Niño y La Niña e impactos potenciales en el cultivo del café. *Avances Técnicos Cenicafé* No 421.12p. 2012a.
- RAMÍREZ, B. V. H.; JARAMILLO, R. A. Relación entre índices de El Niño/La Niña (ENSO) y el brillo solar en la zona cafetera de Colombiana. *Cenicafé*. (en edición). 15p. 2012b
- WORMER, T.M.; GITUANJA, J.1970. Floral initiation and flowering of *coffea arabica* in Kenya. *Experimental Agriculture*. 6:1957-1970.