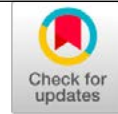


CAMBIOS EN SISTEMAS PRODUCTIVOS Y ELEMENTOS BIOFÍSICOS, EN FINCAS CAFETERAS DE LA ZONA CENTRAL COLOMBIANA

Juan Carlos García López  *

García-López, J. C. (2020). Cambios en sistemas productivos y elementos biofísicos, en fincas cafeteras de la zona central colombiana. *Revista Cenicafé*, 71(2), 21-38. <https://doi.org/10.38141/10778/71202>



En algunos municipios cafeteros de los departamentos de Caldas y Risaralda, en la Zona Central de Colombia, los cultivos de café se encuentran en riesgo asociado a variaciones climáticas extremas. Con el fin de evaluar las relaciones entre los cambios en los sistemas de producción y las variaciones de los elementos biofísicos, se recopiló información de todas las fincas cafeteras ubicadas en los municipios de Santuario y Balboa (Risaralda) y Salamina (Caldas), en los años 2006, 2009, 2012 y 2015. Se determinaron las estadísticas con respecto a los factores de producción, edad, densidad, variedades, entre otros. Se analizó la información climática de las redes meteorológicas del Ideam y la Red Cafetera, para los elementos de temperatura y lluvia. Los valores de exceso y déficit hídrico e índice de humedad del suelo fueron derivados del cálculo de balance hídrico. Se evaluaron los cambios entre años y por etapas fisiológicas del cultivo. Se concluyó que, Salamina y Santuario disminuyeron su área cafetera entre 2009 y 2015, mientras Balboa la incrementó. Los factores de amenaza se relacionaron con las condiciones hídricas de exceso (Santuario y Salamina) y déficit (Balboa). En todos los municipios de este estudio la mayor vulnerabilidad se presenta en áreas por debajo de 1.300 m de altitud, en el escenario El Niño, 2015, relacionada con incremento de la temperatura y disminución de la oferta hídrica anual. La condición biofísica (clima y suelo) no estuvo asociada a la dinámica de cambio, en área y cultivos de café, en los municipios estudiados.

Palabras clave: Cultivo de café, dinámica de cambio, adaptación climática, Colombia.

CHANGES IN PRODUCTIVE SYSTEMS AND BIOPHYSICAL ELEMENTS IN COFFEE FARMS IN THE COLOMBIAN CENTRAL ZONE

In some coffee-growing municipalities in the departments of Caldas and Risaralda, in the Central Zone of Colombia, coffee crops are at risk due to extreme climatic variations. In order to evaluate the relationship between the changes in production systems and the variations in biophysical elements, information from all coffee farms located in the municipalities of Santuario and Balboa (Risaralda) and Salamina (Caldas) was collected in the years 2006, 2009, 2012 and 2015. Statistics regarding production, age, density, and varieties, among others, were determined. Data about temperature and rain retrieved from the climatic networks of the IDEAM and the *Red Cafetera* were analyzed. The values of water excess and deficit as well as soil moisture index were obtained from the water balance calculation. The changes between years and by physiological stages of the crop were evaluated. The results show that Salamina and Santuario decreased their coffee area between 2009 and 2015, while Balboa increased it. Threat factors were related to water excess (Santuario and Salamina) and deficit (Balboa). In all the municipalities, the greatest vulnerability occurs in areas below 1,300 m.a.s.l., under El Niño conditions, 2015, related to temperature increase and annual water supply decrease. The biophysical condition (climate and soil) was not associated with the dynamics of change, in area and coffee crops, in the studied municipalities.

Keywords: Coffee crop, dynamics of change, climate adaptability, Colombia.

* Investigador Científico II. Disciplina de Agroclimatología, Centro Nacional de Investigaciones de Café. <https://orcid.org/0000-0003-4861-9649>



El clima de la zona cafetera colombiana es definido como Tropical Ecuatorial de montaña; tropical por la posición latitudinal con respecto al Ecuador geográfico y de montaña por la ubicación de los cultivos sobre las laderas de las cordilleras de los Andes (Gómez, Caballero, y Baldión, 1991).

La variabilidad climática hace referencia a las variaciones en los valores promedios del clima a escala temporal y espacial, más allá de los eventos individuales del tiempo (Ramírez y Jaramillo, 2009). En la zona cafetera colombiana la variabilidad climática asociada a los Fenómenos de El Niño y La Niña produce cambios en la distribución y magnitud de los elementos del clima. Con respecto a una condición Neutra, bajo condiciones de La Niña, la precipitación se incrementa entre un 30% y un 50%, y bajo condiciones de El Niño las precipitaciones se reducen entre un 8% y un 24% (Jaramillo y Arcila, 2009a; Jaramillo y Arcila, 2009b; Ramírez y Jaramillo, 2009).

En la zona de estudio, correspondiente a los departamentos cafeteros de Caldas y Risaralda, investigaciones realizadas sobre cambio climático, teniendo en cuenta el escenario de emisiones A2¹, cuarto informe del IPCC (Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2008), indican que la temperatura media se incrementará en cerca de 1°C en 2030 y en 2050 en 1,8°C (García, Laderach, y Posada, 2018); esta situación también se reconoce en el tercer

informe sobre escenarios de cambio climático para precipitación y temperaturas en Colombia (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales et al., 2015), la cual se basa en la descripción de trayectorias de concentración representativas² (RCP, por su sigla en inglés), que siguen la metodología del IPCC quinto informe (IPCC, 2014) y, en los departamentos de Risaralda y Caldas, podrá representar aumentos de temperatura media del aire, en el período 2011-2040, entre 0,83 y 0,91°C para el RCP2.6 y entre 0,97 y 1,07°C para RCP8.5 y, en el período 2041-2070 entre 1,13 y 1,29°C y entre 2,19 y 2,32°C para RCP2.6 y RCP8.5, respectivamente. La precipitación, que para la zona oscila entre 1.500 y 5.000 mm anuales en la actualidad, registrará aumentos anuales de 10 a 20 mm en 2030 y de 20 a 40 mm en 2050, en un escenario de emisiones A2 (García et al., 2018), y de acuerdo con la tercera comunicación del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales et al., 2015) para los departamentos de Risaralda y Caldas indican incrementos anuales, en el período 2011-2040, entre 16% y 21% y entre 23% y 28% para RCP2.6 y RCP8.5, respectivamente.

Con relación a variabilidad climática interanual, Ramírez y Jaramillo (2009), establecieron la relación entre la lluvia y el índice oceánico de El Niño (ONI, por sus siglas en inglés). Peña et al. (2012), con información de ese trabajo, establecieron las probabilidades de ocurrencia de valores

1 Corresponde a un escenario pesimista, de incremento de emisiones, en el que la población global aumenta, con crecimiento económico fragmentado y lento, tal como sucede hoy. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gu%C3%ADa+Escenarios+para+Tomadores+de+Decisiones.pdf/fá7abe38-43cc-49c8-96a3-f2b5c24ecce3>.

2 Utilizados para hacer proyecciones basadas en el tamaño de la población, la actividad económica, el estilo de vida, el uso de la energía, los patrones de uso del suelo, la tecnología y la política climática. RCP2,6 escenario de mitigación de bajas emisiones en el que es probable mantener el calentamiento global. A 2100, a menos de 2°C por encima de las temperaturas preindustriales; RCP8,5 es un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero, con incrementos de temperatura por encima de 4,5°C a 2100. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4-wg1-spm-sp.pdf>

anuales de precipitación de 2.900 y 1.400 mm, considerados como los límites por encima o por debajo de los cuales se presenta el exceso y el déficit hídrico, respectivamente.

Ramírez et al. (2014) utilizaron el criterio del índice de humedad del suelo (IHS) obtenido del balance hídrico modelado para cada una de 99 unidades de suelo analizadas, los autores establecieron la relación entre la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y el número de días con un índice de humedad del suelo inferior a 0,3 ($IHS < 0,3$). Definieron que la condición más vulnerable la presentaban los suelos que en 15 días alcanzan el déficit hídrico crítico, los vulnerables alcanzan su déficit hídrico crítico entre 15 y 30 días y, los poco vulnerables, soportan más de 30 días sin alcanzar el déficit hídrico crítico. A partir del momento en el que un suelo supera el límite de días con déficit se reduce la actividad fotosintética de la planta de café y se inicia el daño en los frutos de café por la falta de agua (Ramírez et al., 2013).

Recientemente Montoya y Jaramillo (2016) establecieron que por cada 100 unidades térmicas (diferencia entre la temperatura diaria media del aire y la temperatura base para el cultivo de 10°C) que se tengan por exceso o por defecto, la producción se disminuye en 2,6%, siempre y cuando se hayan acumulado los grados día de cada etapa fisiológica.

El estudio del brillo solar, considerado un elemento clave determinante de la productividad, en eventos de El Niño o La Niña, ayuda entender el impacto interanual sobre los sistemas de producción cafeteros (Ramírez et al., 2012). En el análisis por departamento, los autores observaron que existen reducciones de la oferta de brillo solar entre el 6% y 22%, en La Niña; adicionalmente en El Niño, se registra aumento hasta del 24%.

Fundamentados en los valores de los extremos, a partir de los cuales se reconoce la amenaza o por condición hídrica, térmica o energética, para cada uno de los elementos meteorológicos de lluvia, temperatura y brillo solar, descritos anteriormente (Arcila y Jaramillo, 2003; Ramírez et al., 2010; García et al., 2014; García et al., 2015; García et al., 2018), generaron índices agroclimáticos para las condiciones de la caficultura colombiana, los cuales relacionaron con expresiones fenológicas del cultivo sobre dos conceptos espaciales, puntual (Arcila y Jaramillo, 2003, Ramírez et al., 2010, García et al., 2015), y a nivel de una grilla o malla para una región (García et al., 2014, García et al., 2018), estas últimas a una resolución de 5 km² (el área que cubre cada recuadro de la grilla es equivalente a 2.500 hectáreas), con cálculo de los índices a nivel mensual.

En la investigación propuesta se utilizó la metodología de los autores antes mencionados, en la cual, con la georreferenciación de las fincas de la zona, se construyó una malla con resolución espacial de 1 km² (el área que cubre cada recuadro de la grilla es equivalente a 100 hectáreas), sobre la cual se generaron las capas de información climática de los elementos de lluvia y temperatura y los índices derivados de la primera. Además de aumentar el nivel de detalle, en el presente trabajo se incursionó en el análisis multitemporal, que no lo realizaron los autores mencionados, con cálculo de los índices a nivel diario.

El objetivo propuesto en esta investigación fue evaluar las relaciones entre los cambios en los sistemas de producción y las variaciones de los elementos biofísicos, para las fincas cafeteras ubicadas en los municipios de Santuario y Balboa (Risaralda) y Salamina (Caldas), en los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

Tipo de estudio. El estudio fue de tipo descriptivo, en una primera fase, con acceso a información derivada de la estructura productiva de las fincas cafeteras (SICA³) de los tres municipios estudiados (Santuario y Balboa en Risaralda y Salamina en Caldas), se realizó un análisis de cambio multitemporal; en una segunda fase, con información climática de fuentes gubernamentales e institucionales, se aplicaron técnicas de interpolación y geoproceso para la generación de capas de cobertura climática de la zona de estudio en diferentes años y, en una tercera fase, se modelaron indicadores climáticos en función de la fenología del cultivo y sus cambios temporales.

FASE I

Consolidación de información de la estructura productiva en la población objeto de estudio. Se tomó la información del SICA correspondiente a todas las fincas cafeteras de los municipios de Santuario y Balboa en el departamento de Risaralda y Salamina en el departamento de Caldas, en los años 2006, 2009, 2012 y 2015 (fechas de muestreo). En cada fecha de muestreo, se determinaron las estadísticas con respecto a los factores de producción. El procesamiento de la base SICA generó una tabla para cada zona que incluyó los atributos más importantes como tamaño de las fincas, área cafetera, rangos altitudinales de las fincas, densidad de siembra, edad del cafetal, variedades, luminosidad y densidades. Se identificaron los cambios para cada factor de producción entre las fechas de muestreo.

Grilla cafetera por municipio. Se generó el *ráster* (matriz de píxeles organizada en filas y columnas que contienen valores de atributos y coordenadas de ubicación) con resolución espacial de 1 km², sobre la máscara cafetera de los tres municipios, usando el *shape* (almacenamiento de datos vectoriales con ubicación, forma y atributos de las características geográficas) de ecotopos de propiedad de la FNC y un modelo de elevación digital (DEM, por su sigla en inglés⁴) de 1 km². El área cafetera, en la zona de influencia, quedó representada por 118 píxeles en Salamina, 129 píxeles en Santuario y 85 en Balboa.

Parametrización de bases climáticas e interpolación. La información de las variables de precipitación y temperatura fueron obtenidas del histórico meteorológico de las estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y de la red meteorológica cafetera de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Con esta información se procedió a depurar datos, tomando como referente los años de las estaciones que tuvieran como mínimo 330 días de información.

Interpolación. La información consolidada a nivel diario para los cuatro años de este estudio se interpoló con la metodología propuesta por Hutchinson (Hutchinson, 2006), mediante el interpolador Anusplin[®] versión 4.4, que utiliza como covariables las coordenadas geográficas y el DEM. En el proceso de interpolación con el software Anusplin[®] se generó una superficie suavizada que refleja una condición

3 Es un sistema de información, conformado por una base de datos dinámica y georreferenciada de cobertura nacional, en la cual se actualiza, consulta, analiza, modela y visualizan datos geo-espaciales de la información básica de productores, fincas y lotes cafeteros del país.

4 <http://srtm.csi.cgiar.org/>

promedio del elemento climático, sobre la grilla cafetera municipal. En la ecuación se pretendió encontrar una función *spline* (polinomio a trozos) que, con dos derivadas continuas, minimizara la suma de cuadrados, penalizada con lambda como parámetro de suavizado. Se utilizaron rutinas en código del software R, adaptadas por el CIAT y Cenicafé. El resultado entregado por el proceso de interpolación fueron imágenes en formato TIF para cada uno de los días modelados, a partir de la cual se exportó la información a una base de datos de doble entrada (número de píxeles y número de días por año).

La información se analizó teniendo en cuenta el test de consistencia interna de la serie (OMM, 2004), realizado con base en la relación entre dos parámetros, por ejemplo, que la temperatura mínima diaria fuera siempre menor a la temperatura máxima y media. En el caso de precipitación ningún dato debió asumir valores negativos.

FASE III

Metodología de análisis de la variabilidad interanual. Con la información de los valores diarios asignados por elemento climático, a cada pixel de cada municipio se realizaron los siguientes cálculos:

Para temperatura: se obtuvieron los promedios anuales (°C).

Para lluvia: se obtuvo el total anual acumulado (mm).

Balance hídrico (BH): se modeló a nivel diario para cada pixel, con base en la rutina descrita por Jaramillo y Gómez (2002). Para el cálculo de la lluvia efectiva (Lle)

y la evapotranspiración de referencia (ET_o) dentro del BH, se utilizaron las siguientes expresiones empíricas <1> <2> (Jaramillo y Chaves, 1999; Jaramillo, 2006):

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

Donde:

Lle = lluvia efectiva (mm día⁻¹)

LI = lluvia medida (mm día⁻¹)

$$ET_o = 4,21 \times \exp(-0,0002 \times Alt) \quad <2>$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

Alt = altitud expresada en m

De la rutina de BH se obtuvieron los valores anuales de exceso y déficit hídrico (mm) y el número de días con déficit por cada año del estudio.

Obtención de indicadores hídricos y térmicos. Se asumió para efectos de análisis y de acuerdo con información de la fluctuación trimestral del ONI (índice oceánico El Niño, por su sigla en inglés), reportado por la NOAA⁵, que los años 2006 y 2012 son predominantemente Neutros, el 2009 es de transición Neutro El Niño y el 2015 El Niño.

Se definieron tres momentos fisiológicos previos al mes de cosecha principal con el fin de relacionarlos con indicadores hídricos y térmicos: a. Cuatro meses previos a la máxima floración, que define la cosecha principal (etapa 1); b. Cuatro primeros meses de desarrollo del fruto de cosecha principal (etapa 2); c. Cuatro meses previos a la cosecha principal (etapa 3). (García et al., 2014).

⁵ http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Espacialización de las respuestas a cambios en factores de producción y climáticos.

La información asociada a los cambios en los factores de producción y los factores climáticos hídricos y de temperatura, entre los años comparados, fue espacializada con el fin de interpretar si se evidenciaban patrones de cambio asociados a condiciones locales específicas. Para este último se utilizaron las técnicas de geoproceto y edición incorporadas en el software ArcGis 10.3.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FASE I

Estadísticas de la estructura productiva del cultivo de café por municipio

Análisis Municipio de Salamina, Departamento de Caldas. El análisis del cambio en la propiedad entre 2006 y 2015 muestra para Salamina una disminución del número de fincas, que repercute en una reducción del área cafetera del municipio en el 20% (Tabla 1). Adicionalmente, se observa una disminución del tamaño de la finca, aunque el área dedicada al cultivo

de café por finca se incrementó. El análisis espacial del cambio, referido a las fincas que dejaron de ser cafeteras y las que ingresaron nuevas entre 2009 y 2015, se representa en la Figura 1.

El análisis en el área cafetera por finca muestra entre 2006 y 2015 que las fincas del municipio de Salamina, que ocupaban entre 5 y 10 ha y más de 20 ha, perdieron representatividad y ésta la ganaron las fincas entre 1 y 3 ha y entre 10 y 20 ha (Tabla 2).

Al verificar la distribución de las fincas por rango altitudinal, se observa un incremento de la proporción del área cafetera por encima de 1.700 m de altitud. Un análisis a la estructura productiva muestra cambios en el manejo y adopción de variedades; entre 2006 y 2015 la caficultura pasó de ser predominantemente de sombra y semisombra a libre exposición solar, la densidad promedio por hectárea aumentó en más de 1.000 plantas, con adopción de variedades resistentes a la roya del cafeto (Tabla 3), sumado a que cerca del 80% de los cultivos de café en 2015 presentaba menos de 8 años de edad, comparado con 2006 cuando cerca del 50% tenía más de 8 años.

Tabla 1. Cambios en la propiedad y tamaño de las fincas en el municipio de Salamina (Caldas).

Año	Número de fincas	Área total de las fincas (ha)	Área total en café (ha)	Cambio en área cafetera respecto a 2006	Tamaño promedio por finca (ha)	Porcentaje de área dedicada a café por finca
2006	1.878	6.293	3.051		3,4	48%
2009	1.803	6.035	2.990	-2%	3,3	50%
2012	1.596	4.863	2.605	-15%	3,0	54%
2015	1.595	4.794	2.451	-20%	3,0	51%
Cambio respecto a 2006	-15,1%	-23,8%	-19,7%		-10,3%	5,4%

Análisis Municipio de Santuario, Departamento de Risaralda. El análisis del cambio en la propiedad entre 2006 y 2015 muestra para Santuario una disminución del número de fincas que repercuten en una disminución del área cafetera del municipio del 10% (Tabla 4). Adicionalmente, se observa una disminución del tamaño de la finca, aunque el área dedicada al cultivo de café por finca se incrementa. El análisis espacial del cambio, de las fincas que dejaron de ser cafeteras y las que ingresaron nuevas entre 2009 y 2015, se representa en la Figura 2.

El análisis en el área cafetera por finca (Tabla 5) muestra entre 2006 y 2015 que, a

excepción del rango entre 1,0 y 3,0 ha, los demás rangos redujeron su participación.

Al verificar la distribución de las fincas por rango altitudinal, no se observa modificación en la proporción del área cafetera. Un análisis a la estructura productiva muestra cambios en el manejo y adopción de variedades; entre 2006 y 2015 la caficultura continuó desarrollándose a libre exposición solar, la densidad promedio por hectárea aumentó en más de 1.000 plantas, con adopción de variedades resistentes (Tabla 6), con una estructura de edades similar a través de los años.

Tabla 4. Cambios en la propiedad y tamaño de las fincas en el municipio de Santuario (Risaralda).

Año	Número de fincas	Área total de las fincas (ha)	Área total en café (ha)	Cambio en área cafetera respecto a 2006	Tamaño promedio por finca (ha)	Porcentaje de área dedicada a café por finca
2006	6.229	67.064	6.273		10,8	9%
2009	6.187	63.318	6.329	1%	10,2	10%
2012	5.969	59.051	6.420	2%	9,9	11%
2015	4.870	47.348	5.640	-10%	9,7	12%
Cambio respecto a 2006	-21,8%	-29,4%	-10,1%		-9,7%	27,3%

Tabla 5. Cambios en área dedicada al cultivo de café por finca en el municipio de Santuario (Risaralda).

Año	Menor que 1 ha	Entre 1 y 3 ha	Entre 3 y 5 ha	Entre 5 y 10 ha	Entre 10 y 20 ha	Mayor que 20 ha
2006	3,0%	11,3%	14,6%	28,0%	20,1%	22,9%
2009	2,7%	11,9%	14,4%	26,8%	22,5%	21,7%
2012	2,7%	13,0%	14,1%	27,8%	21,1%	21,3%
2015	3,0%	13,9%	14,1%	25,3%	20,4%	23,3%
Cambio respecto a 2006	0,0%	2,6%	-0,5%	-2,8%	0,4%	0,4%

Al verificar la distribución de las fincas por rango altitudinal, no se observa modificación en la proporción del área cafetera. Un análisis a la estructura productiva muestra cambios en el manejo y adopción de variedades; puede observarse entre 2006 y 2015 que la caficultura aumenta su proporción en sistemas a libre exposición solar, la densidad promedio por hectárea se presenta en el rango de 4.300 a 5.500 plantas, con mayor adopción de variedades resistentes (Tabla 9), con una estructura de edades con predominio para 2015 de caficultura menor de 8 años.

Del análisis del cambio en la propiedad entre 2006 y 2015, para los tres municipios,

como se presentó en las Figuras 1, 2 y 3, se observa que las siembras nuevas y la eliminación de lotes se dieron de forma aleatoria y no es posible argumentar una tendencia que muestre un patrón de cambio espacial, atribuible a una condición geográfica, orográfica o topográfica.

La pérdida de representatividad de las áreas con mayor extensión (>20 ha) en Salamina–Caldas y la disminución de área en café dentro de la misma finca en Santuario–Risaralda, se consideran aspectos asociados a la reducción en área. Para Balboa–Risaralda, que incrementó su área, se presentó una situación contrastante con Santuario, ya que el área en café dentro de la misma finca se aumentó.

Tabla 7. Cambios en la propiedad y tamaño de las fincas en el municipio de Balboa (Risaralda).

Año	Número de fincas	Área total de las fincas (ha)	Área total en café (ha)	Cambio en área cafetera respecto a 2006	Tamaño promedio por finca (ha)	Porcentaje de área dedicada a café por finca
2006	2.765	22.636	2.386		8,2	11%
2009	2.971	22.648	2.464	3%	7,6	11%
2012	2.907	21.086	2.641	11%	7,3	13%
2015	2.753	18.911	2.726	14%	6,9	14%
Cambio respecto a 2006	-0,4%	-16,5%	14,3%		-16,1%	36,8%

Tabla 8. Cambios en área dedicada al cultivo de café por finca en el municipio de Balboa (Risaralda).

Año	Menor que 1 ha	Entre 1 y 3 ha	Entre 3 y 5 ha	Entre 5 y 10 ha	Entre 10 y 20 ha	Mayor que 20 ha
2006	6,7%	26,2%	21,3%	23,6%	13,6%	8,6%
2009	7,0%	25,2%	22,4%	21,5%	14,0%	10,0%
2012	6,8%	25,1%	21,7%	21,2%	13,2%	12,0%
2015	5,7%	27,3%	21,2%	20,2%	14,9%	10,7%
Cambio respecto a 2006	-1,0%	1,2%	-0,1%	-3,4%	1,3%	2,1%

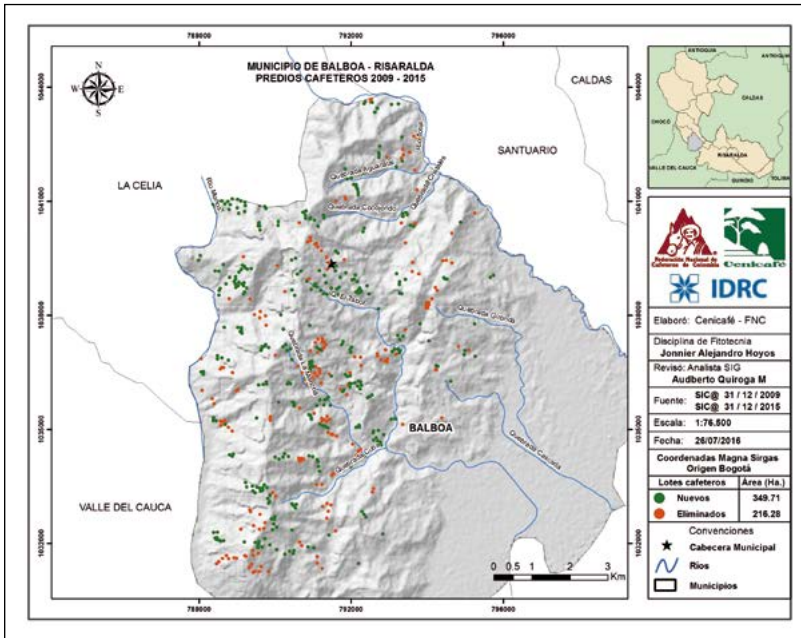


Figura 3. Análisis espacio temporal de las fincas nuevas y las que se eliminan, en el municipio de Balboa (Risaralda).

Tabla 9. Distribución porcentual por tipo de variedad, municipio de Balboa (Risaralda).

Año	Resistente	Susceptible
2006	61,6%	38,4%
2009	68,0%	32,0%
2012	84,9%	15,1%
2015	94,9%	5,1%
Cambio respecto a 2006	33,3%	-33,3%

Lo anterior no resuelve la pregunta sobre qué patrones asociados determinan las reducciones o incrementos en área dedicada al cultivo de café, ya que se esperaba que el municipio de Balboa, con mayor área en rangos altitudinales menos óptimos, disminuyera su área y, por el contrario, la aumentó. No obstante, se resalta que el factor de producción más importante, como lo es la siembra de variedades de café resistentes a la roya, tuvo el mayor dinamismo,

al aumentar en proporción del área de cada municipio en más del 40%.

FASES II Y III

Análisis espacial y temporal de los cambios en el promedio anual de la temperatura media del aire. La representación de los rangos de temperatura media anual para Santuario, Balboa y Salamina se presenta en las Figuras

4 y 5, respectivamente. En 2006, 2009 y 2012 la condición térmica, en los tres municipios muestra, en zonas por debajo de 1.300 m de altitud, temperaturas superiores a 21°C, mientras en franjas entre 1.300 y 1.800 m la temperatura fluctuó entre 20 y 22°C y en zonas por encima de 1.800 m temperaturas entre 18 y 19°C. En 2015, en condición El Niño, las franjas altitudinales menores a 1.300 m presentaron 22°C o más, entre 1.300 y 1.500 m temperaturas promedio entre 21 y

23°C y zonas con más de 1500 m temperaturas entre 19 y 21°C.

Análisis espacial de los períodos de déficit hídrico por fase fisiológica

Con la información del balance hídrico se totalizaron las décadas (períodos de diez días) con déficit hídrico por cada fase del período reproductivo (floración y desarrollo del fruto) (Figura 6).

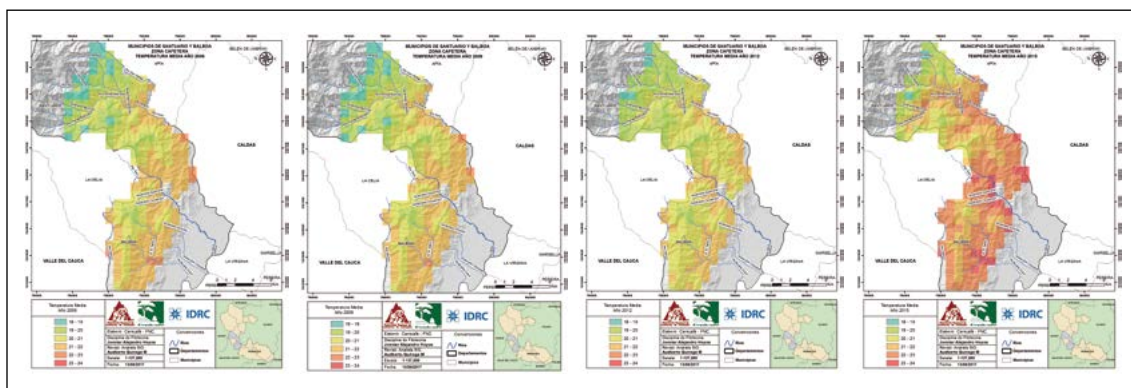


Figura 4. Zonas cafeteras de los municipios de Santuario y Balboa. Dinámica espacio - temporal de la temperatura media anual. De izquierda a derecha los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

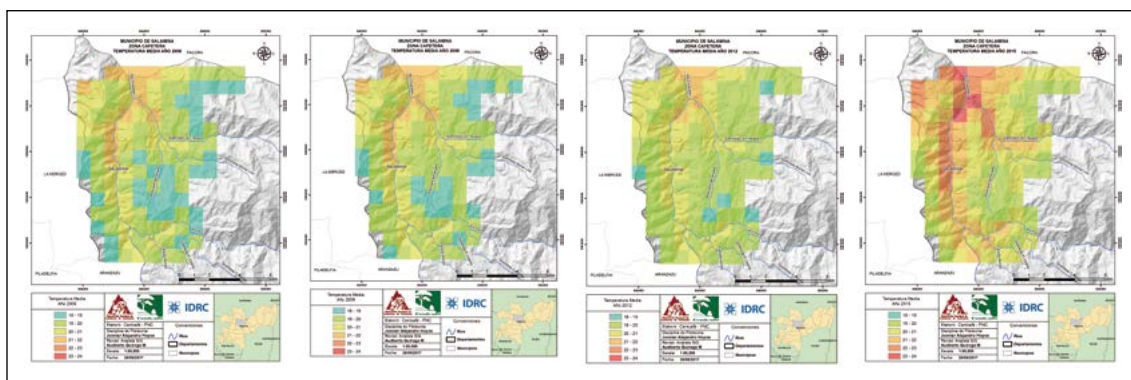


Figura 5. Zona cafetera del municipio de Salamina. Dinámica espacio - temporal de la temperatura media anual. De izquierda a derecha los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

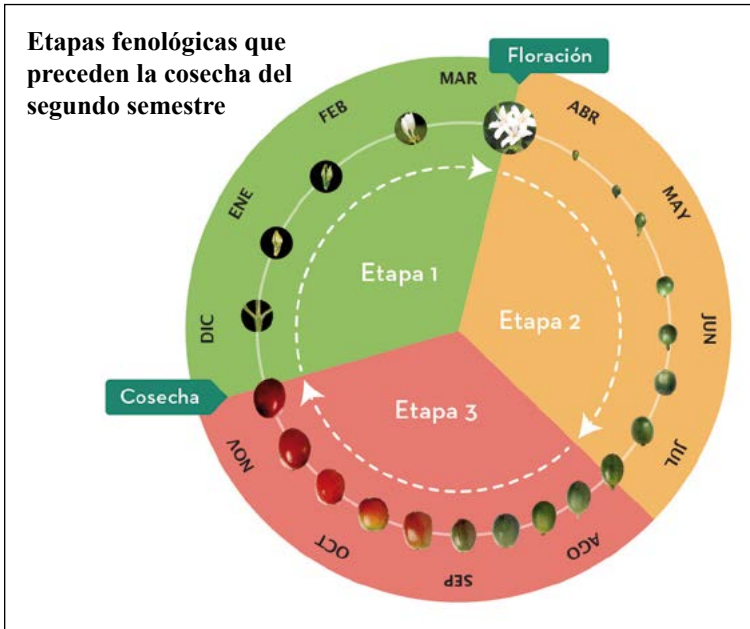


Figura 6. Etapas de desarrollo en fase reproductiva del cultivo de café. En todos los casos para los municipios de Risaralda y Caldas, con cosecha principal en segundo semestre. Dentro de la figura se indican los meses para la floración en color verde, desde diciembre hasta marzo (cuatro meses) y, para el desarrollo del fruto desde abril hasta noviembre (ocho meses). Adaptada de Flórez et al. (2013).

Fase de Floración

En las Figuras 7 y 8 se observan los valores de las décadas con déficit en la fase de floración para Santuario y Balboa (Figura 7) y Salamina (Figura 8). De izquierda a derecha se representan los años 2006 y 2009, 2012 y 2015. Se aprecia cómo, para 2006, los períodos secos pueden determinar una floración normal en los tres municipios (color verde en los mapas). La condición de normalidad continúa para 2009 y 2012 en Balboa y Santuario, mientras en Salamina se presentan dos décadas menos secas, que pueden afectar la concentración de floración (color amarillo en el mapa). En 2015 la situación contrasta entre los departamentos de Caldas y Risaralda, en el primero, el municipio de Salamina, continúa presentando dos décadas menos de déficit, mientras en el segundo, Santuario presenta gran parte de su área entre cinco y ocho décadas secas y Balboa registra más de ocho décadas, ambas situaciones en

Risaralda, aunque pueden promover una mayor concentración de la floración, puede afectar la cosecha del primer semestre, ya que los frutos que se originaron de una floración entre septiembre y octubre del año anterior, se encuentran en la etapa de llenado.

Fase de desarrollo del fruto

En las Figuras 9 y 10 se observan los valores acumulados de décadas con déficit hídrico en la fase de desarrollo de fruto para Santuario y Balboa (Figura 9) y Salamina (Figura 10). Se observan las zonas con menos de tres décadas de déficit que, si bien no afectan el desarrollo del fruto, no permiten una floración concentrada de travesía. Las zonas con períodos entre tres y seis décadas con déficit, no afectarían el desarrollo del fruto y sí permitirían la expresión normal de la floración de travesía; las zonas con más de seis décadas secas, afectarían el llenado del fruto y pueden alterar el desarrollo de una floración de travesía.

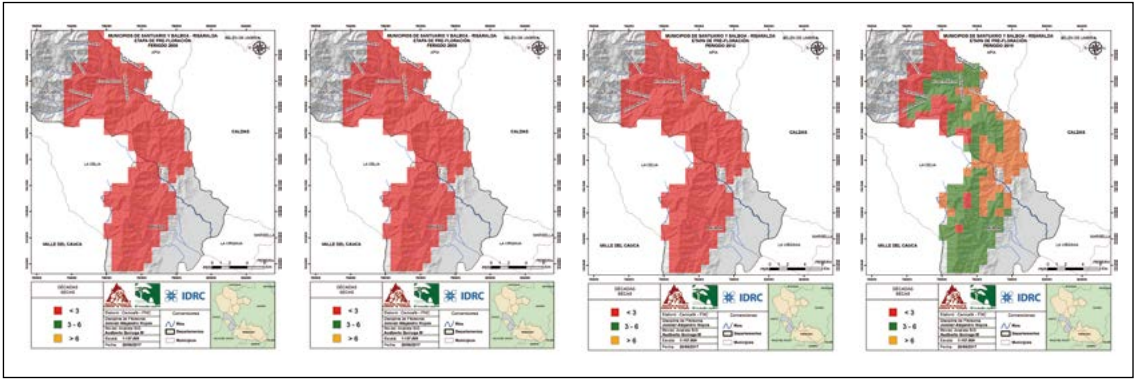


Figura 7. Zonas cafeteras de los municipios de Santuario y Balboa. Dinámica espacio - temporal de las décadas secas durante la floración. De izquierda a derecha los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

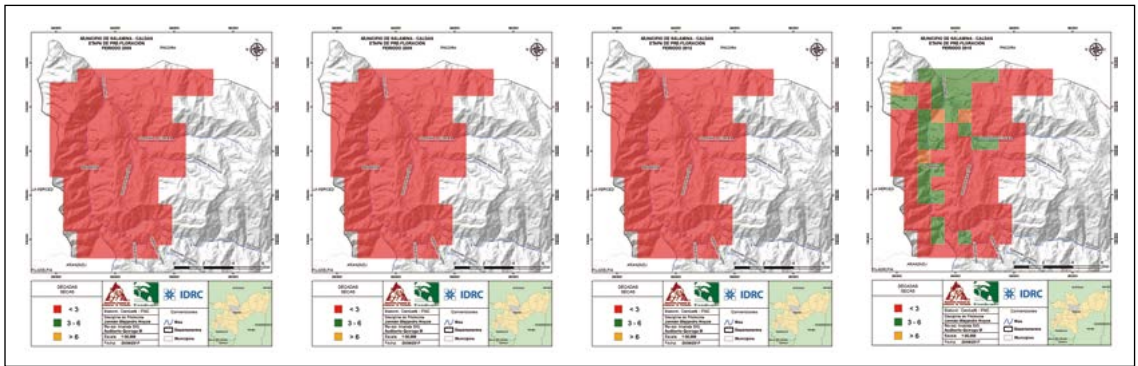


Figura 8. Zona cafetera del municipio de Salamina. Dinámica espacio - temporal de las décadas secas durante la floración. De izquierda a derecha los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

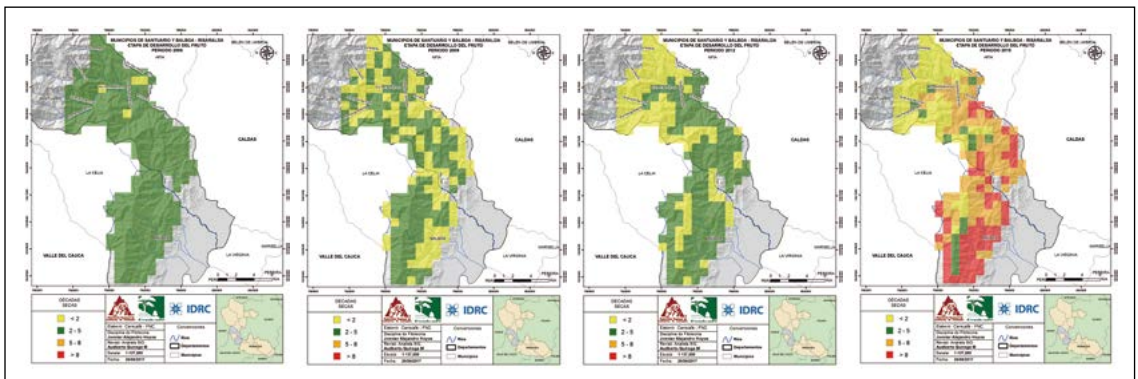


Figura 9. Zonas cafeteras de los municipios de Santuario y Balboa. Dinámica espacio - temporal de las décadas secas durante el desarrollo del fruto. De izquierda a derecha los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

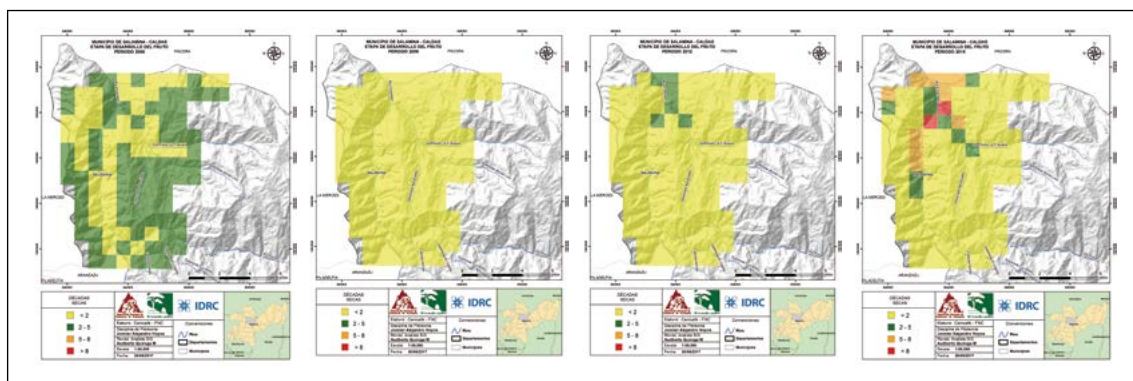


Figura 10. Zona cafetera del municipio de Salamina. Dinámica espacio - temporal de las décadas secas durante el desarrollo del fruto. De izquierda a derecha los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

En cuanto al análisis de los períodos de déficit hídrico por etapa fenológica, en los tres municipios, entre 2006 y 2012 prevalecieron condiciones de normalidad para el desarrollo del fruto, aunque pudo haberse limitado la floración de traviesa. En 2015, la situación es contrastante y pudo afectar tanto el desarrollo del fruto como las fases vegetativas, en parte de la caficultura en zonas de ambas vertientes del río Totuú entre Balboa y Santuario, y en la parte baja de la cuenca del río Chamberí en Salamina. De acuerdo con el estudio realizado por Farfán (2017), sobre la percepción de afectación de los caficultores ante eventos extremos, el 62,4% de los caficultores de Salamina, el 74,0% de Balboa y el 58,2% de Santuario consideran que son afectados por las condiciones de clima impuestas por los eventos El Niño, lo cual confirma el grado de vulnerabilidad en presencia de este evento y que el presente estudio también identifica.

Lo anterior puede explicarse por una condición de vulnerabilidad al déficit hídrico y altas temperaturas, principalmente en el municipio de Balboa, por tener gran parte de la caficultura por debajo de 1.600 m de altitud; esta misma situación fue reportada por García et al. (2014), cuando describieron las condiciones

de aptitud de las zonas agroclimáticas, en las que los autores, para las zonas en las que se incluye este municipio, definieron como limitaciones el riesgo al déficit hídrico en la etapa 2 de desarrollo del fruto, y concuerda con la percepción de los caficultores, que con relación a El Niño, en Salamina – Caldas, principalmente predios ubicados entre 1.500 y 1.900 m de altitud, para Santuario – Risaralda en predios entre 1.300 y 1.500 m y, en Balboa – Risaralda predios ubicados en altitudes por debajo de 1.300 m, indican una disminución de ingresos por afectación de sus cultivos, principalmente por daños en los granos de café (Farfán, 2017).

En los tres municipios el cambio extremo que más reconocen los caficultores se asocia con los eventos La Niña y los relacionan con lluvias intensas y continuas, granizadas y vendavales, principalmente (Farfán, 2017) en el presente estudio en los municipios de Santuario y Salamina, con mayor representatividad de fincas cafeteras por encima de 1.600 m de altitud, tienen mayor vulnerabilidad a los excesos hídricos.

Al igual que en la dinámica espacio - temporal de cambio en las estructuras

productivas, no se observa que las dinámicas de cambio asociadas a los elementos meteorológicos y los índices agroclimáticos derivados, tengan relación con las dinámicas de cambio en área.

A través de los años, excepto en el 2015, varias zonas, principalmente en Santuario y Salamina, experimentaron una condición de exceso hídrico, que pudo cuantificarse, a partir de los resultados de balances hídricos, en valores superiores a 400 mm por año, situación que en el municipio de Balboa sólo se registró en 2009 y 2012 en una zona hacia el Centro. Los excesos hídricos, relacionados con precipitaciones superiores a 2.500 mm por año, son correlacionados con disminución de la oferta de brillo solar, lo cual afecta negativamente la producción de fruto de los cafetos. En un estudio sobre el comportamiento del brillo solar en estaciones del departamento de Caldas, Ramírez et al. (2012) determinaron que en un año El Niño, el potencial productivo está entre 80% y 90% y, en años La Niña, puede reducirse entre 60% y 80%. Frente a la susceptibilidad a la reducción de la producción por menor oferta de brillo solar en año La Niña, determinan que aquellas zonas ubicadas en rango óptimo de altitud, con distribución bimodal de la cosecha, tienen mayor vulnerabilidad; situación contraria la presentan zonas por debajo de 1.250 m.

Lo anterior es importante mencionarlo, ya que en el período analizado predominaron eventos con mayor oferta hídrica entre 2006 y 2013, que favoreció las zonas normalmente secas, como el caso de Balboa, en las cuales se incrementó el área y, para el caso de Santuario y Salamina, con mayor área en rango óptimo, la disminuirían.

Las variedades susceptibles a la roya del cafeto muestran la mayor vulnerabilidad en eventos de exceso hídrico como los que

predominaron en el período analizado. El municipio de Balboa presentaba en 2006 la mayor área en variedades resistentes a la roya, con 61,6% de su parque productivo, mientras Santuario y Salamina, sólo cubrían el 44,5% y 16,4% de su área, respectivamente. La situación anterior indica que el municipio de Balboa se encontraba mejor adaptado a las condiciones de amenaza derivadas de exceso hídrico, situación que pudo estar relacionada con incremento en área y se promovió aún más hasta alcanzar el 95% del área total en variedades resistentes en 2015, mientras Santuario y Salamina perdieron 10% y el 19% del área total, respectivamente, ambas con aumento a 77% del área total con variedades resistentes en 2015. Aunque no se resuelve de manera directa la relación entre los cambios en los sistemas de producción y las variaciones de los elementos biofísicos como era el objetivo, el estudio sí permite identificar las posibles situaciones de variabilidad interanual que limitan a los cultivos y que determinan las acciones de adaptación de los caficultores.

De este estudio puede concluirse que

- Se determinaron cambios temporales y espaciales en las estructuras productivas de las áreas cafeteras de los municipios. Se concluyó que, Salamina y Santuario disminuyeron su área cafetera entre 2009 y 2015 en 20% y 10%, respectivamente, mientras Balboa la incrementó en 14,3%.
- Los factores de amenaza se relacionan en Santuario y Salamina con la condición de exceso hídrico y, en Balboa, con déficit hídrico.
- En todos los municipios de este estudio la mayor vulnerabilidad se presenta en áreas de su caficultura por debajo de 1.300 m de altitud, en las cuales el incremento en temperatura promedio, entre un año Neutro y un año El Niño, es de 1,8°C o más.

- En todos los municipios, la caficultura entre 1.000 y 1.600 m de altitud, presenta variaciones de 500 mm entre un año Neutro y El Niño que, por su distribución, generan periodos secos acentuados con posibilidad de afectación del cultivo.
- El análisis realizado del comportamiento interanual de los índices térmicos e hídricos, asociados a las etapas fenológicas reproductivas del cultivo de café, no permite definir a la condición biofísica (clima y suelo) como una causa de la dinámica de cambio, en área y cultivos de café, en los municipios en el período de estudio.
- Existen situaciones relevantes en el período analizado como el predominio de eventos con mayor oferta hídrica entre 2006 y 2013

que favoreció a zonas normalmente secas, en las cuales se promovió la siembra, como el caso del municipio de Balboa.

AGRADECIMIENTOS

A IDRC (*International Development Research Centre*), a Cenicafé por facilitar los recursos físicos y definir las prioridades en tiempos de dedicación al desarrollo del mismo. Al Ing. MSc Fernando Francisco Farfán quien dirigió el proyecto. Al Biólogo Esp SIG Audberto Quiroga y Técnico Jonnier Alejandro Hoyos, por su colaboración en el tratamiento de la información climática. A los Comités Departamentales de Cafeteros de Caldas y Risaralda.

LITERATURA CITADA

- 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>
- Farfán, F. (2017). *Aumentando la resiliencia a eventos climáticos extremos en el sector cafetero colombiano: Percepción de los caficultores de los municipios de Salamina (Caldas) Santuario y Balboa (Risaralda) frente a la variabilidad climática*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/961>
- García, J., Läderach, P., & Posada, H. (2018). Valoración del cambio de aptitud del cultivo de café en Colombia, por variación en escenarios climáticos futuros. *Revista Cenicafé*, 69(1), 91–111. <http://hdl.handle.net/10778/1095>
- García, J., Posada, H., & Läderach, P. (2014). Recommendations for the Regionalizing of Coffee Cultivation in Colombia: A Methodological Proposal Based on Agro-Climatic Indices. *PLoS ONE*, 9(12), e113510. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113510>
- García, J., Posada, H., & Salazar, F. (2015). Factores de producción que influyen en la respuesta de genotipos de *Coffea arabica* L. bajo diversas condiciones ambientales de Colombia. *Revista Cenicafé*, 66(2), 30–57. <http://hdl.handle.net/10778/654>
- Gómez, L., Caballero, A., & Baldión, J. (1991). *Ecotopos cafeteros de Colombia*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/818>
- Hutchinson, M. (2006). *Anusplin version 4.36 User Guide*. Australian National University.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Dirección Nacional de Planeación. (2015). *Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones*. IDEAM. <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=37489>
- Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2008). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (R. K. Pachauri & A. Reisinger, Eds.). IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf
- Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad—Resumen para responsables de políticas (C. B. Field., V.R. Barros., D.J. Dokken., K.J. Mach.,

- M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, & L.L. White, Eds.). IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf
- Jaramillo, A. (2006). Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia. *Revista Cenicafé*, 57(4), 282–298. <http://hdl.handle.net/10778/232>
- Jaramillo, A., y Arcila, J. (2009a). Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de El Niño y su efecto en la caficultura. *Avances Técnicos Cenicafé*, 390, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/1133>
- Jaramillo, A., & Arcila, J. (2009b). Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de La Niña y su efecto en la caficultura. *Avances Técnicos Cenicafé*, 389, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/1132>
- Jaramillo, A., & Chaves, 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., & Gómez, O. (2002). *Desarrollo de una aplicación de cómputo para el cálculo del balance hídrico en cafetales*. Cenicafé.
- Montoya, E., & Jaramillo, A. (2016). Efecto de la temperatura en la producción de café. *Revista Cenicafé*, 67(2), 58–65. <http://hdl.handle.net/10778/729>
- Peña, A., Ramírez, V., Valencia, J., & Jaramillo, A. (2012). La lluvia como factor de amenaza para el cultivo del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 415, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/336>
- 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. H., Jaramillo, A., & Arcila, J. (2013). Factores climáticos que intervienen en la producción del café en Colombia: 205-237. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 205–237). Cenicafé.
- Ramírez, V. H., Arcila, J., Jaramillo, A., Rendón, J. R., Cuesta, G., Menza, H., Mejía, C., Montoya, D., Mejía, J., Torres, J., Sanchez, P., Baute, J., & Peña, Q. (2010). Floración del café en Colombia y su relación con la disponibilidad hídrica, térmica y de brillo solar. *Revista Cenicafé*, 61(2), 132–158. <http://hdl.handle.net/10778/492>
- Ramírez, V. H., & Jaramillo, A. (2009). Relación entre el índice oceánico del Niño y la lluvia, en la Región Andina Central de Colombia. *Revista Cenicafé*, 60(2), 161–172. <http://hdl.handle.net/10778/228>
- Ramírez, V. H., Jaramillo, A., Peña, A., y Valencia, J. (2012). El brillo solar en la zona cafetera colombiana, durante los eventos El Niño y La Niña. *Avances Técnicos Cenicafé*, 421, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/329>