

Evaluation of the incidence of foliar application of gibberellic acid in flowering trees of *Coffea arabica* L. and its impact on climate change

Leidy Natalia Zapata-Restrepo & Luz Maribel Guevara-Ortega

Facultad de Ingeniería, Universidad EAN, Bogotá, Colombia. lmguevara@universidadean.edu.co, lnzapata@universidadean.edu.co

Received: February 27th, 2020. Received in revised version: September 22th, 2020. Accepted: October 19th, 2020

Abstract

Gibberellin is known as a phytohormone that actively participates in the control of flowering of several species. In the present study, the exogenous application of gibberellic acid (0.1% and 0.5%) to 2959 *Coffea arabica* L. plants, Castillo cultivar Rosario variety; with the aim of establishing the relationship between the flowering of coffee and the number of internodes induced in the middle and upper main branch by foliar application of the hormone. The project was developed in the Finca “El Limón” of the Municipality of Buriticá (Antioquia) during the months of August and February. Regardless of the concentration of phytohormone applied, as a result of the exogenous application an increase was found in the number of internodes and in the production of flower buds. Finally, to determine the significance analysis, the data obtained in the different parameters were analyzed by means of the 95% T-Student statistical test.

Keywords: *Coffea arabica* L.; gibberellins; flowering; internodes; “La Niña” and “El Niño” phenomenon; climate change.

Evaluación de la incidencia de la aplicación foliar de ácido giberélico en la floración de árboles de *Coffea arabica* L. y su impacto frente al cambio climático

Resumen

La giberelina es conocida como una fitohormona que participa activamente en el control de la floración de varias especies. En el presente estudio se evaluó la aplicación exógena de ácido giberélico (0.1% y 0.5%) a 2959 plantas de *Coffea arabica* L., variedad Castillo cultivar Rosario; con el objetivo de establecer la relación existente entre la floración del café y el número de entrenudos inducidos en la rama principal media y superior mediante la aplicación foliar de la hormona. El proyecto se desarrolló en la Finca “El Limón” del Municipio de Buriticá (Antioquia) durante los meses de agosto y febrero. Independientemente de la concentración de fitohormona aplicada, como resultado de la aplicación exógena se encontró un aumento en el número de entrenudos y en la producción de brotes florales. Finalmente determinar el análisis de significancia, los datos obtenidos en los diferentes parámetros fueron analizados mediante la prueba estadística T-Student del 95%.

Palabras clave: *Coffea arabica* L.; giberelinas; floración; entrenudos; fenómeno de “La Niña” y “El Niño”; cambio climático.

1. Introduction

Según la [1], la cosecha anual del país supera los 13,8 millones de sacos de 60 kilos del grano, representan más de \$3 billones en exportaciones y pesa cerca de un 25% en el Producto Interno Bruto (PIB) agrícola.

La floración del café es un estado fenológico asociado

directamente con la producción del cultivo, por tanto, es necesario comprender e identificar los factores que limitan o favorecen la aparición de este estado. Entender el fenómeno de floración y establecer una relación con las variables agrometeorológicas, es de gran utilidad en el momento de tomar decisiones de tipo agronómico y nuevas investigaciones dado que podrá cuantificar el efecto potencial de la variabilidad

How to cite: Zapata-Restrepo, L.N. and Guevara-Ortega, L.M.A. Evaluation of the incidence of foliar application of gibberellic acid in flowering trees of *Coffea arabica* L. and its impact on climate change. DYNA, 87(215), pp. 263-269, October - December, 2020.

climática sobre el cultivo y avanzar en la estimación de dichos efectos potenciales sobre la producción [2]. En la zona cafetera colombiana la variabilidad climática asociada a los fenómenos meteorológicos de “El Niño” y “La Niña” produce cambios en la distribución y magnitud de los elementos del clima [3]. Durante los últimos tres años, estos cambios han reducido la producción de café en un 30% por disminución en la floración y por incidencia de enfermedades como la roya del café (*Hemileia vastatrix*), [4].

Los periodos de exceso de lluvias ocasionan que las flores permanezcan en reposo durante un tiempo más largo y en consecuencia las floraciones sean dispersas, muy poco concentradas, de poca magnitud o que presenten anomalías en el desarrollo de la flor [3]. Según lo planteado por [5], existen tres vías para la estimulación de la floración en las plantas: la luz, la temperatura y las giberelinas, siendo la más corta la tercera vía. Cada una de estas vías tiene como elementos generadores los fotoreceptores, los termoreceptores y los codones GA1 y GA4, respectivamente. Este mismo autor plantea que en la floración de otras especies, como el cacao y el maíz, se han identificado secuencias a través de las cuales las giberelinas regulan la expresión de los genes correspondientes a la activación de los codones GA1 y GA4. Dado que la especie *Coffea arabica* L. es una planta de día corto y teniendo en cuenta que la estimulación de la floración se ve alterada por los fenómenos meteorológicos de “El Niño” y “La Niña”, es necesario conocer alternativas que permitan hacer sostenible la producción de café. El presente trabajo pretende establecer la relación existente entre el desarrollo de entrenudos y la floración de *Coffea arabica* L., variedad Castillo, cultivar Rosario frente a la aplicación foliar de ácido giberélico. Se espera que los resultados de esta investigación sirvan como punto de partida para nuevas investigaciones asociadas a la estimulación e inducción floral de café; con la realización de nuevos proyectos que abarquen diferentes campos del conocimiento como la fisiología, bioquímica, biología y biología molecular y lograr con ello sopesar las actuales problemáticas en producción asociadas a los bruscos cambios climáticos para mantener la caficultura sostenible.

2. Cambio climático

Los impactos climáticos son definidos como las consecuencias del cambio o variabilidad climáticas en los sistemas naturales, generados de forma natural y/o antropogénica; por lo tanto, las fases fenológicas de especies silvestres o domesticadas pueden ser afectadas por estos impactos [6]. El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como lo evidencian un número significativo de cambios observados y sus respuestas que están siendo investigados tanto para los sistemas naturales como para los intervenidos. Estas evidencias abarcan impactos en los ciclos estacionales y de vida (fenológicos) de las especies, lo que incluye desde la retención o caída de las hojas hasta cambios en la floración y la maduración de frutos, entre otros [6]. El cambio climático está presente en la subregión andina desde hace más de tres décadas. En 1990 se registraron a nivel

mundial cambios en la temperatura global de 0,2°C por década y, entre 1974 y 1998, este incremento en la región de los Andes Centrales fue de 0,34 °C; es decir, un 70% más que el promedio mundial, asociada al retroceso y a la desaparición de los glaciares, la alteración de los caudales afectaría el acceso a fuentes de agua para consumo humano, lo que implicaría, casi indiscutiblemente, graves consecuencias [7]. Los sistemas agrícolas de subsistencia ya se ven afectados por los patrones anómalos de lluvia y la subida de las temperaturas. Los ecosistemas de montaña (páramos, humedales de altitud, bosques nublados) se encuentran entre los ecosistemas más sensibles a los cambios climáticos. Aunque no existen pruebas científicas comprobadas, hay datos recientes que sugieren que las alteraciones de los ciclos hidrológicos de los ecosistemas de altitud podrían estar relacionados con la alta incidencia de incendios forestales ocurridos en la última década. Dicha alteración de los ciclos hidrológicos causaría desequilibrios que pueden repercutir incluso en la región amazónica. “El Niño” y “La Niña” (El Niño Southern Oscillation - ENSO) son fenómenos climatológicos que representan una amenaza. (IPCC- WGI, 2013) Estudios realizados en Perú sugieren que este fenómeno aumentará en intensidad y, probablemente, en frecuencia, por efecto del cambio climático.

En los últimos siete años, las emergencias por inundaciones, sequías, deslizamientos y heladas, entre otros, se han duplicado mostrando la vulnerabilidad de la región respecto a la adaptación y la necesidad de respuesta a dichos fenómenos [8]. Durante el desarrollo de “El Niño”, se identifican cuatro fases: Inicio, desarrollo, madurez y debilitamiento. La fase inicial corresponde al desplazamiento de aguas cálidas desde el sureste de Asia y Polinesia ecuatorial hacia el centro del océano Pacífico, debido a la disminución en la intensidad de los vientos alisios que soplan desde el Oriente hacia el Occidente; en la fase de desarrollo las aguas cálidas se desplazan desde Asia hacia Suramérica; en la fase de madurez ocurre el máximo calentamiento frente a las costas de Perú, Ecuador y Colombia y, por último, en la fase de debilitamiento se va retornando a la normalidad, en la cual los vientos alisios empiezan a recuperar su intensidad y la temperatura de las aguas superficiales comienzan a disminuir. Estas condiciones originan lluvias intensas en Ecuador y Perú, y sequías en algunas regiones del continente asiático, en África y Australia [3]. Hoy se puede afirmar que “El Niño” y “La Niña” existen hace miles y quizás millones de años, pues estos fenómenos, que afectan a la atmósfera y a los océanos, son el resultado, entre otros muchos factores, de la rotación de la tierra, de la redistribución de la energía recibida desde el sol y de la disposición de los continentes en relación con los mares, que data desde hace unos 50 millones de años [9]. Sin desconocer que causas antropogénicas como el aumento de los gases de invernadero, el dióxido de carbono, el metano y el óxido nítrico han acelerado los procesos e intensificado las frecuencias e intensidades de los eventos (IPCC-WGI, 2007).

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 [3]. Durante los últimos tres años, estos cambios han reducido la producción de café por disminución en la floración y por incidencia de enfermedades como la roya del café *Hemileia vastatrix*. Los periodos de excesos de lluvias durante las épocas habituales de mayor floración ocasionan que los “cominos” permanezcan en reposo durante un tiempo más largo y que en consecuencia las floraciones sean dispersas, muy poco concentradas, de poca magnitud o que presenten anomalías en el desarrollo de la flor.

El exceso hídrico se relaciona negativamente con el número de botones florales en café, por tanto, cuando se presentan más de 20 días por trimestre con valores mayores 0,5 IEH (Índice de exceso hídrico). Se reduce fuertemente el número de botones florales [2]. La temperatura, representada por la suma térmica o tiempo térmico y por la amplitud térmica explicaciones en la floración del café. Es necesario que se acumulen 1100°C de temperatura por trimestre y que no se presenten más de 50 días por trimestre con amplitud térmica inferior a 10°C. La amplitud térmica con diferencias superiores a 10°C coincide con la mayor floración de las localidades. Las correlaciones entre la cantidad total de lluvia y las producciones de café en el área de Chinchiná (Colombia), mostraron que, para una eficiente correlación entre el transcurso del clima y la próxima producción de café, no es suficiente el registro de crecimiento del año anterior o el de la florescencia, que se efectúa en relación directa con la precipitación. Hay que tener también en cuenta el transcurso meteorológico (favorable y desfavorable), durante la época en la cual ocurre la competencia causada por las necesidades de la planta para la maduración. Otros elementos pueden aprovecharse para investigar la correlación con la formación de las yemas florales [10]. Según la [11], la disminución por producción debido al fenómeno de “La Niña” ha sido de un 30% de la producción, durante los últimos años.

3. Metodología

La fase experimental se realizó en el Municipio de Buriticá en el Departamento de Antioquia, ubicado sobre la cordillera occidental, en la vertiente del Cauca a 1630 m.s.n.m. de la cabecera municipal y a 1836 m.s.n.m en la vereda Sincierco, en la Finca el Limón. Se llevó a cabo en un lote de 0,5 hectáreas, con 2959 árboles de café Arabica, variedad Castillo cultivar Rosario, sembrados, a una distancia de 1,3 X 1,3 m siembra en cuadro. Luego, a las plantas seleccionadas se les realizó aplicación de ácido giberélico (AG) Nombre comercial GIBGRO® 90% SP distribuido por Nufarm en presentación de 100 g como polvo soluble. Ingrediente activo:

(3S,3aS,4S,4aS,7S,9aR,9bR,12S) -7,12-dihydroxy-3-methyl-6-methylene-2-oxoperhydro-4a,7-methano-9b,3-propeno[1,2-b]furan-4carboxylic acid.

La aplicación se realizó en dosis: i). 100 ml de AG en 20 litros de agua. Concentración del 0,5%. Este tratamiento fue llamado tratamiento (T3); ii). 20 ml de AG en 20 litros de agua, concentración 0,1%. Este tratamiento fue llamado (T2); iii). 0 ml de AG. Testigo (T1).

Estas soluciones fueron aplicadas en forma foliar entre las 7 a.m y 10 a.m con bomba de espalda, con boquilla de baja descarga (menos de 180 cc/ minuto), en aplicaciones desde abajo hacia arriba, con el fin de asperjar el envés de la hoja.

La muestra fue de 256 individuos dentro de una población de 2959 árboles. Para la compilación de los datos se tomaron 28 árboles por tratamiento y se evaluó la rama más larga de la parte media superior de los árboles.

Teniendo en cuenta lo propuesto por [12], la medición o conteo de la floración se hizo después de la latencia. Se realizó medición con pluviómetro artesanal diariamente y posteriormente se realizaron promedios con información pluviométrica regional IDEAM.

Los datos fueron sometidos a análisis estadístico mediante la prueba T- Student con probabilidad del 95% de nivel de significancia.

3.1. Precipitación

Las precipitaciones en milímetros durante un año (Fig. 1), en el año de estudio se observó que los meses más lluviosos fueron abril, mayo, agosto, octubre y noviembre, con valores promedios de entre 240 y 370 mm de lluvia. Mientras que, durante los meses de febrero (inicio y final del estudio), se observó una menor precipitación con valores de 50 a 150 mm por mes (ver Tabla No. 1)

Según [13] para *C. canephora* y *C. arabica* L., es necesaria una fase seca para estimular la floración. Además, plantean que las precipitaciones abundantes son responsables de bajos rendimientos en la producción del café. Con base en esto y en los datos de precipitación presentados en la Fig. 1, se espera tener una menor floración después de los meses más lluviosos es decir durante los meses de agosto y noviembre. Después de un periodo seco y se debe presentar con las primeras lluvias entre los meses de enero y marzo.

3.2. Análisis de suelos

El análisis de suelos fue realizado en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. El suelo empleado en estudio presenta comportamiento ácido, lo cual es característico de los Andisoles de clima frío. El contenido de materia orgánica es bastante alto (17 %) debido a que la meteorización en las zonas altas es baja. El nivel de fósforo fue también alto, 20 65 mg/kg. Lo cual concuerda con lo reportado por Jaramillo (2002), indica que en este tipo de suelo se fija el fósforo. Los demás niveles de minerales están en promedios normales, a excepción del porcentaje de saturación de aluminio el cual fue es del 20%. Este suelo es Franco Arenoso con densidad aparente de 0,62 y con 65.7% de humedad gravimétrica. Adicionalmente, el resultado de la concentración de los cationes (K⁺, Ca⁺, Mg⁺⁺), mostró que no están en balance; lo cual se verá reflejado en alteraciones o problemas durante las fertilizaciones.

Tabla 1.

Mes	Precipitaciones en mm
Febrero 1	113,34
Febrero 0	55,27
Agosto	314,17
Septiembre	210,09
Octubre	325,70
Noviembre	239,75
Diciembre	110,92

Fuente: Los Autores

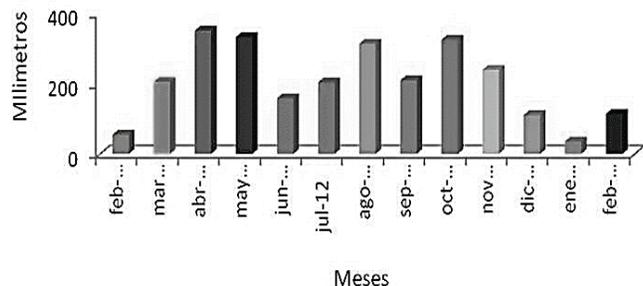


Figura 1. Precipitaciones por mes

Fuente: Los Autores

Según [14], el café es un cultivo muy exigente en una buena relación aire-agua, según la calificación de los factores del suelo se requiere una calificación mayor de 70 puntos, menos de 50 sería mala. El pH debe estar entre 4,8 a 6,0. Un grado de agregación mayor de 80 da una estabilidad estructural muy alta, en cambio menos de 20 es 66 muy baja. El suelo es resistente a la erosión cuando la pendiente de un suelo (cafetales al sol) es de 70 por ciento y éste tiene estructura fuerte, muy estable, abundante contenido de materia orgánica y agentes cementantes. Es muy susceptible si tiene una pendiente del 10 por ciento y sus características inversas al anterior. Para el cultivo del café los rangos térmicos favorables son: temperatura media anual entre 19 y 21,5 grados °C. Se recomienda para cafetales al sol aquellas zonas que presentan entre 160 a 200 días lluviosos al año (Tabla 2).

3.3. Desarrollo de entrenudos

Los desarrollos de los entrenudos de los árboles de café fueron mayores durante los meses de noviembre y febrero, después de tres y seis meses respectivamente de las aplicaciones. Además, se observó que el desarrollo de los entrenudos fue mayor en las plantas sometidas al Tratamiento 3 (T3) (Aplicación foliar de ácido giberélico al 0,5%) durante los meses de agosto y noviembre, encontrando entre 15 y 17 entrenudos respectivamente. (Fig. 2).

3.4. Análisis de suelos

El análisis de suelos fue realizado en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. El suelo empleado en

estudio presenta comportamiento ácido, lo cual es característico de los Andisoles de clima frío. El contenido de materia orgánica es bastante alto (17 %) debido a que la meteorización en las zonas altas es baja. El nivel de fósforo fue también alto, 20 65 mg/kg. Lo cual concuerda con lo reportado por Jaramillo (2002), indica que en este tipo de suelo se fija el fósforo. Los demás niveles de minerales están en promedios normales, a excepción del porcentaje de saturación de aluminio el cual fue es del 20%. Este suelo es Franco Arenoso con densidad aparente de 0,62 y con 65.7% de humedad gravimétrica. Adicionalmente, el resultado de la concentración de los cationes (K⁺, Ca⁺, Mg⁺⁺), mostró que no están en balance; lo cual se verá reflejado en alteraciones o problemas durante las fertilizaciones.

Sin embargo, en el mes de febrero del año (fin del estudio), se observó un mayor desarrollo de entre nudos en el tratamiento 2 con un valor de 18 entrenudos en promedio. Según [12], entre los meses de enero y abril hay una disminución del crecimiento vegetativo debido a que disminuye la disponibilidad de agua en el suelo para la planta y por tanto el ácido abscísico disminuye. Por el contrario, el desarrollo reproductivo empieza y los niveles de giberelinas aumentan.

Para [15], el número de entrenudos por rama aumentó durante los meses de enero a abril en un promedio de 2,32 a libre exposición. Según los mismos autores existe una estrecha relación entre el número de entrenudos y la producción de café cereza del año siguiente. Según el análisis de varianza para el desarrollo de entrenudos por mes, se obtuvo que cada dos meses se presentó un aumento en el número de entrenudos de 1,84. Es decir que hubo un aumento de 0,38 mayor que en condiciones sin aplicación de giberelinas. El anterior resultado es soportado por [16], quien afirma que las giberelinas intervienen además en la división mitótica en los ápices de las plantas haciendo que haya una mayor longitud de los entrenudos o bien, aumentando la cantidad de éstos. El mismo autor plantea que la respuesta principal a las giberelinas es el alargamiento del tallo y que éste lleva indirectamente a la floración. Se forman en ápices de tallos y raíces, en hojas jóvenes, partes florales, semillas inmaduras, embriones en germinación. En general las partes vegetativas contienen menos giberelinas que las partes reproductivas.

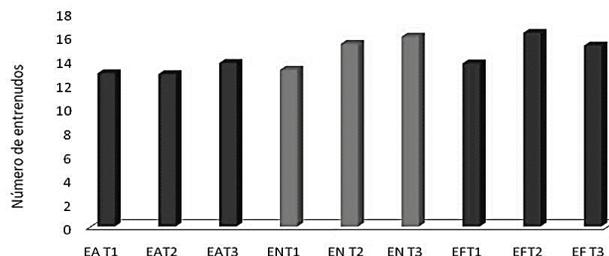


Figura 2. Comparación de media del desarrollo de entrenudos por tratamiento por mes
Fuente: Los Autores

Tabla 2.

Precipitación (mm)	2500	Altitud (m s.m.m.)	10000			
Densidad aparente	0,62	Densidad (árboles ha)	10000			
Área (Ha)	2,00	Exposición	Sol			
Resultados del análisis	Determinación de necesidades nutric					
	Elemento	Extracción		Necesidad (Kg/Ha)		
Ph	5,30	Micronutrientos	N	312	293	
M.O. (%)	17,00	Fe (mg/kg)	157,00	P ₂ O ₅	173	167
P mg/kg	20,00	Mn mg/kg	7	K ₂ O	390	390
K cmol _o /kg	0,18	Cu mg/kg	9	CaO	719	719
Ca cmol _o /kg	2,00	Zn mg/kg	4	MgO	230	230
Mn cmol _o /kg	0,50	B mg/kg	0,52	S	52	45
S mg/kg	7,00	Clase Textural	F.A.	Fe	Revisión N.C.	Revisión cultivo
Al cmol _o /kg	0,70	Arena (%)	68	Mn	Revisión N.C.	Revisión cultivo
C.I.C.E	3,36	Limo (%)	16	Cu	Revisión N.C.	Revisión cultivo
Sat de Al (%)	20,83	Arcilla (%)	16	Zn	Revisión N.C.	Revisión cultivo
				B	Revisión N.C.	Revisión cultivo

Fuente: Los Autores

3.5. Desarrollo de la floración

Con respecto a la Comparación de medias de floración entre tratamientos por mes. El desarrollo floral presentado por los árboles de café durante los meses de agosto y noviembre y febrero (mes final del estudio). Donde, durante el mes de agosto se presentaron entre 20 y 70 flores por rama; valor superior al obtenido al promedio. El tratamiento (T3) - Aplicación foliar de ácido giberélico al 0,5%- arrojó una mayor floración.

Durante el mes de noviembre (mes de precipitaciones promedio de 239 mm) se presentaron floraciones de entre 1 y 5 flores por rama, Fig. 3 fue el mes donde se presentó la menor cantidad de flores en comparación con los otros meses y comparando los 70 tratamientos aplicados se presentó una mayor floración en los tratamientos que el testigo, con diferencia estadísticamente significativa, Tabla 3. A su vez, en el mes de febrero se observó una mayor floración comparada con los otros 2 meses de medición anteriores, agosto y noviembre del año anterior.

En el mes de enero se presentó una precipitación promedio de 114 mm, siendo precedida por precipitaciones promedio de 110 y 90 mm durante los meses de diciembre y enero, Fig. 4. Precipitaciones presentadas por mes. dicho déficit hídrico posiblemente provocó una mayor floración en

los árboles de café sujetos de medición, contrario a lo ocurrido en los meses de agosto y noviembre. Durante el mes de febrero hubo una mayor floración con los arboles sometidos al tratamiento 2 y al testigo que es el tratamiento 1 Con floraciones entre 110 y 120 flores por rama media superior del árbol medido. Teóricamente la floración en la Zona Andina colombiana se presenta en el mes de febrero para la cosecha principal, lo anterior no había ocurrido durante los últimos cinco años, donde por excesos de lluvia por fenómeno de “La Niña”, la floración había sido dispersa y disminuida. (Fig. 4) La giberelina en las yemas disminuye tan pronto como se inicia el crecimiento rápido. Los contenidos absolutos de ácido abscisico no cambian sino hasta cuatro días antes de la antétesis aumentando de allí en adelante. Según [17], sugiere que el re-inicio de crecimiento que lleva a la antétesis puede ser regulado por la liberación de giberelinas libres a partir de formas ligadas a las yemas. Reconoce la existencia de un estímulo secundario que se transporta en el xilema, posiblemente una citoquinina podría estar involucrada. Después de romperse la dormancia de las yemas florales por la lluvia, aumenta el contenido de almidón en la corola, hasta nueve días antes de la antesis. Posteriormente, disminuye poco a poco al principio y violentamente al llegar al cuarto día previo a la antesis. La variabilidad en el desarrollo floral durante los meses de medición fue de 2343, es decir que el aumento de la floración desde agosto a febrero, presentó un aumento de 2400 veces aproximadamente. Por medio de la prueba de significancia T-Student con probabilidad del 95%, se identificó diferencia significativa entre la floración generada por los árboles medidos durante los 6 meses de medición. (Tabla 3).

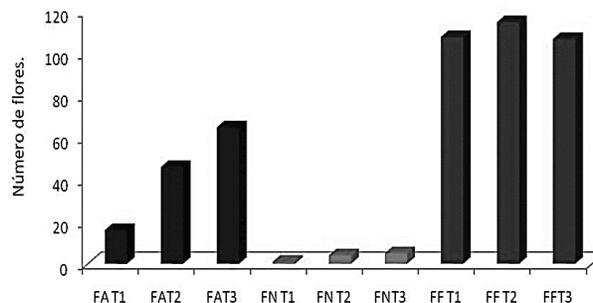


Figura 3. Comparación de medias de floración entre tratamientos por mes. Fuente: Los Autores

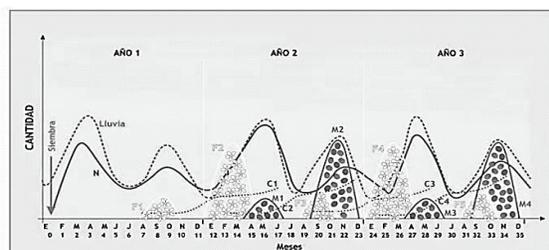


Figura 4. Distribución de la floración del café en la Zona Andina Colombiana Fuente: Los Autores

Tabla 3.

Diferencia significativa de Floración en los meses		P- Value
T -Student	Agosto y Noviembre	4,51294E-20
T -Student	Agosto y Febrero fin estudio	2,19387E-35
T - Student	Noviembre y Febrero fin estudio	7,92382E-57

Fuente: Los Autores

Tabla 4.

Evaluación de la diferencia significativa de la floración evaluando mes y tratamiento

Meses	Prueba T- Student por tratamiento	P- Value
Agosto	T student FAT1 y FAT2	7,83513E-17
	T student FAT1 y FAT3	6,85712E-08
	T Student FAT2 y FAT3	0,010914925
Noviembre	T student FNT1 y FNT2	6,48713E-07
	T student FNT1 y FNT3	6,972E-20
	T Student FNT2 y FNT3	0,15491115
Febrero fin estudio	T Student FFT1 y FFT2	0,323007795
	T Student FFT1 y FNT3	0,881352521
	T Student FFT2 y FFT3	0,306815811

Fuente: Los Autores

En la Tabla 4. Evaluación de la diferencia significativa de la floración evaluando mes y tratamiento. Se observa que no hubo diferencia significativa entre las floraciones de los tratamientos durante el mes de agosto, mientras que entre tratamientos y testigo si hubo diferencia significativa. De igual manera ocurre durante el mes de noviembre, donde no se encuentra diferencia significativa entre los tratamientos, pero si se encuentra con el testigo. Para finalizar se analizó la floración obtenida durante el mes de febrero y se encontró que no hubo diferencia significativa entre la floración de los arboles sin tratamiento y los arboles del tratamiento 3 (T3) -Aplicación foliar de ácido giberélico al 0,5%. De la misma forma tampoco se encontró diferencia significativa entre los dos tratamientos. Es decir que factores como la baja precipitación y el estrés hídrico presentado por las plantas pudo presentar un efecto positivo en el desarrollo floral, lo anterior ocurre en consecuencia a lo enunciado por Moreno (2007) cuando define que los periodos de diferenciación y latencia están controlados por disponibilidad hídrica, hormonas y 72 nutrientes y que la florescencia o apertura de la flor está condicionada a un estrés hídrico previo a un periodo lluvioso.

Finalmente, Se observa que durante el mes de noviembre existió una floración muy baja en comparación con el número de entrenudos existentes; mientras que en el mes de febrero ocurrió lo contrario, es decir, una floración mucho mayor al número de entrenudos desarrollados. Se esperaría entonces según la literatura [18], que los niveles de giberelinas endógenos fueron bajos durante el mes de noviembre y aumentaron durante el mes de febrero (Fig. 5).

4. Conclusiones

Existe una relación directa entre el desarrollo floral y la aplicación externa de forma foliar al ácido giberélico. Entre los meses de agosto y febrero se presentó una respuesta directa de la floración a la aplicación de ácido giberélico, no presentándose diferencia significativa con relación a las dos dosis aplicadas

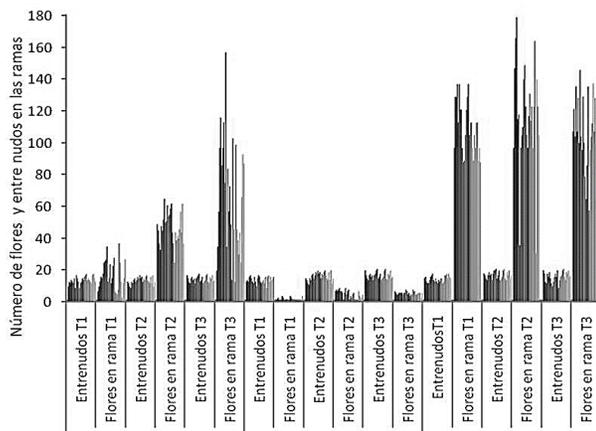


Figura 5. Desarrollo de entrenudos y flores durante los seis meses de medición por los tres tratamientos.

Fuente: Los Autores

La respuesta de la floración a la aplicación de ácido giberélico actuó de forma redundante con las vías fotoperiódicas y termoperiódicas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observaron diferencias entre tratamientos T1 (testigo, T2 y T3) sin existir diferencia entre los tratamientos T2 y T3, es decir que es coherente aplicar AG al 0,1%.

Según los resultados se puede indicar que en condiciones climáticas óptimas para la floración de café el cultivo no necesita aplicación de ácido giberélico, pero en condiciones climáticas alteradas cómo ocurre en los fenómenos climáticos de Niño y Niña si se podría recomendar éste tratamiento para inducir floración.

Referencias

- [1] Federación Nacional de Cafeteros. [en línea]. [Consulta: 25 de noviembre de 2018] Disponible en: https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/Informe_de_la_Industria_Cafetera_20182.pdf
- [2] Ramírez B.V.R., Arcila, J. y Montoya R.E., Estimación de la Humedad del suelo de cafetales a libre exposición. *Cenicafé*, 61(3), pp. 251-259, 2010.
- [3] Jaramillo R.A. y Arcila P.J., Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento del Niño y su efecto en la caficultura. *Avances técnicos Cenicafé*, (389), pp. 1-3, 2009.
- [4] Federación Nacional de Cafeteros. Una mirada al estado actual y al futuro de la producción de café en Colombia. *Café de Colombia*. Agrocadenas. Documento de trabajo, (59), Bogotá D.C., Colombia, 2012, pp. 2-18.
- [5] Blázquez, M.A., Integration of floral inductive signals in Arabidopsis. *Nature*, 404(6780), pp. 889-892, 2000. DOI: 10.1038/35009125.
- [6] Villers, L., Arizpe, N., Orellana, R., y Conde, C., Hernández, J., Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia*, 34(5), pp. 322-329, 2009.
- [7] Comunidad Andina. Cambio climático en la región andina: efectos en el sector agropecuario, [online]. 2011. [Consulta 12 de noviembre 2018] Disponible en: https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/cambio_climatico/efectos_sector.pdf
- [8] Jarma-Orozco, A., Cardona-Ayala, C. y Araméndiz-Tatis, H., Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), pp. 63-76, 2012. DOI: 10.31910/rudca.v15.n1.2012.803m_2012

- [9] Roberto, A., El fenómeno del Niño y su influencia en el clima. [en línea]. [Consulta: 13 de febrero 2019]. Disponible en: http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed433/fenomeno_el_nino.htm
- [10] Rivera, M. del R. et al., Vulnerabilidad de la producción del café (*Coffea arabica* L.) al cambio climático global. Terra Latinoam. [en línea]. [Consulta: 1 de noviembre 2018]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000500305&lng=es&nrm=iso. ISSN 2395-8030.
- [11] Rodomiro-Ortiz, BID. El cambio climático y la producción agrícola, [en línea]. [Consulta: el 03 de febrero de 2020]. Disponible en: http://siatma.org/sitios/biblioteca/uploads/ESG-TN-383_El_cambio_climatico_y_la_.pdf
- [12] Davis, A.P., Gole, T.W., Baena, S. and Moat, J., The impact of climate change on Indigenous Arabica Coffee (*Coffea arabica*): Predicting future trends and identifying priorities. PLoS ONE, 7(11), e47981, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0047981, 2012
- [13] Ronchi, M., Maestri, R. and Barros, S., Ecophysiology of coffee growth and production. Brazilian Journal of Plant Physiology, (9,4), 2007.
- [14] Lince-Salazar, L.A. y Sadeghian-Khalajabadi, S., Producción de café (*Coffea arabica* L.) en función de las propiedades del suelo, en dos localidades de Quindío, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 7(1), pp. 71-82, 2016. DOI: 10.22490/21456453.1547
- [15] Montoya, L., Influencia de la luz y de la fertilización Nitrogenada sobre equilibrio, pp. 40-52, 1961
- [16] Salisbury, F.J., Botánica. Mc GRAW-Hill, México. D.F., México, 1998, pp. 48-302.
- [17] Browning, G., Perspectives in the hormones, Physiology, 1975, pp. 5-20.
- [18] García, M., La biodiversidad del olivo (*Olea europaea* L.) en Colombia: estudio molecular, morfológico y fenológico del germoplasma local. Trabajo Doctoral, 2012, pp. 20-60.

L.N. Zapata-Restrepo, es Dra. en Proyectos de investigación ambiental de la Universidad CEPES, en desarrollo sostenible de la Universidad de Manizales. Es docente asociada de la Universidad EAN, Bogotá, Colombia, en las áreas de Medio ambiente y sostenibilidad.
ORCID: 0000-0002-3314-2844

L.M. Guevara-Ortega, es Dra. en Ingeniería de Procesos, de la Universidad EAN, MSc. en Ing. Industrial, ambos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Es docente asociada de la Universidad EAN, Bogotá, Colombia, en las áreas de investigación de operaciones y alineación estratégica y gestión de procesos.
ORCID: 0000-0002-9883-4964