



COMPORTAMIENTO VEGETATIVO Y REPRODUCTIVO DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) POR EFECTO DE LA PODA

VEGETATIVE AND REPRODUCTIVE BEHAVIOR OF COCOA (*Theobroma cacao* L.) DUE TO PRUNING

Edna I. Leiva-Rojas^{1*}, Eduardo E. Gutiérrez-Brito¹,
Camilo J. Pardo-Macea² y Ramiro Ramírez-Pisco³

¹Universidad Nacional de Colombia (UNAL), Facultad de Ciencias Agrarias. ²UNAL, Facultad de Minas. ³UNAL, Facultad de Ciencias, Medellín, Colombia.

*Autor para correspondencia (eileiva@unal.edu.co)

RESUMEN

La poda es una práctica común en los sistemas productivos de cacao; sin embargo, existe incertidumbre del momento y la forma de efectuarla para asegurar el mayor beneficio para el agricultor. El objetivo de esta investigación fue estudiar los cambios que genera la poda en el comportamiento vegetativo y reproductivo del cacao. La fase experimental se realizó en fincas de productores del municipio de Chigorodó, departamento de Antioquia, Colombia, durante 2016. Se eligieron los clones CCN 51 e ICS 95, de ocho años, los cuales recibieron los tratamientos de poda de altura (-h), poda base (b), poda base menos 25 % de área foliar (AF) (b - 25 %), base menos 50 % de AF (b - 50 %) y base menos 75 % de AF (b - 75 %) del dosel; estos fueron dispuestos en un diseño completamente al azar con cinco tratamientos de poda y cuatro repeticiones; cada árbol fue considerado como unidad experimental. Se midió el índice de área foliar (IAF), número de flores y frutos, peso fresco de cáscara, placenta, grano fermentado y seco; además, se determinó el índice de mazorca (IM) y de grano (IG). Se realizó un análisis de varianza y una prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). En CCN 51 el IAF presentó diferencias significativas entre tratamientos a los 65 y 245 días después de la poda (ddp), y en ICS 95 a los 169 ddp, el IAF en el tratamiento (-h) fue de 3.8 para CCN 51 a los 245 ddp y de 3.7 para ICS 95 a los 169 ddp. El número de frutos y la producción fueron mayores en los tratamientos (-h) y (b-25 %) en CCN 51, mientras que en el clon ICS 95 sobresalieron los tratamientos (-h) y (b). La cantidad de grano seco por árbol con el tratamiento (-h) en el clon CCN 51 fue de 4.7 kg y en ICS 95 fue de 1.6 kg. El IM y el IG no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos en ambos clones.

Palabras clave: Área foliar, índice de área foliar, poda, cacao, producción.

SUMMARY

Pruning is a common practice in cocoa production systems; however, there is uncertainty about the time and the way to carry it out to ensure the greatest benefit for the farmer. The objective of this research was to study the changes that pruning generates on vegetative and reproductive behavior of cocoa. The experimental phase was conducted in farms of the municipality of Chigorodó, Antioquia, Colombia, during 2016. Eight years old clones CCN 51 and ICS 95 were chosen; they received the treatments of pruning height (-h), base pruning (b), base pruning minus 25 % leaf area (LA) (b - 25 %), base minus 50 % LA (b - 50 %) and base minus 75 % LA (b - 75 %) of the canopy; these were arranged in a completely randomized design with five pruning treatments and four replications; each tree was considered as an experimental unit. The leaf area index (LAI), number of flowers and fruits, fresh weight of peel, placenta,

fermented and dry grain were measured. In addition, pod index (PI) and grain index (GI) were also determined. An analysis of variance and a Tukey test ($P \leq 0.05$) were performed. In CCN 51, the LAI showed significant differences between treatments at 65 and 245 days after pruning (dap), and in ICS 95 at 169 dap, the LAI in the treatment (-h) was 3.8 for CCN 51 at 245 dap and 3.7 for ICS 95 at 169 dap. The number of fruits and production were greater in treatments (-h) and b - 25 % in CCN 51, while in clone ICS 95 treatments (-h) and b excelled. The amount of dry grain per tree with treatment (-h) in clone CCN 51 was 4.7 kg and in ICS 95 it was 1.6 kg. The PI and the GI did not present significant differences between treatments in both clones.

Index words: Leaf area, leaf area index, pruning, cocoa, production.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, alrededor de 38 mil familias dependen de manera directa del cultivo del cacao, establecido en una superficie de 172 mil ha, con una producción para el año 2016 de 56,785 t (Muller y Valle, 2012), en un sistema productivo con bajos niveles de tecnología y rendimientos promedio anuales inferiores a 500 kg ha⁻¹ (FEDECACAO, 2015).

Entre las prácticas de manejo aplicadas al cultivo se encuentra la poda, que modifica el área foliar y repercute sobre las variables vegetativas, reproductivas y de producción (Casierra-Posada y Fischer, 2012); sin embargo, en el cacao esta práctica cultural se realiza sin conocer la magnitud de su efecto sobre el rendimiento en grano de cacao; por tanto, es indispensable cuantificar y relacionar las variables de crecimiento y producción con el área foliar.

El área foliar (AF) del árbol define su capacidad para interceptar la radiación solar incidente, fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios (Almeida y Valle, 2007). Área foliar es sinónimo de potencial fotosintético e influye en el crecimiento, desarrollo, potencial de rendimiento biológico y agronómico, interceptación de radiación solar, uso eficiente del agua y nutrición mineral

(Rodríguez *et al.*, 2016); además, se relaciona con procesos agronómicos, biológicos, ambientales y fisiológicos. El AF es afectada por los procesos de poda y, en consecuencia, repercute sobre la relación fuente-demanda (Arévalo *et al.*, 2012).

La poda estimula la demanda por fotoasimilados para renovar el aparato fotosintético, de esta manera, se dinamiza la movilización de fotoasimilados a vertederos reproductivos (flores y frutos); la eliminación de hojas maduras (fuente) puede forzar la producción y translocación de fotoasimilados de las hojas presentes (Santos *et al.*, 2010). La dinámica foliar puede monitorearse mediante el índice de área foliar (IAF), que es la relación del área de hojas por unidad de superficie de suelo (Hunt, 1982), donde el IAF en diferentes clones y variedades de cacao oscila entre 1.5 y 6 (Alvim, 1977; Hutcheon, 1976).

En general, al realizar la poda de los árboles se pretende regular su capacidad vegetativa, generar la brotación de las yemas terminales e incrementar la floración y la producción de frutos (Bedker *et al.*, 2004; Casierra-Posada y Fischer, 2012). En este contexto, el objetivo del presente estudio fue cuantificar el crecimiento vegetativo y reproductivo de árboles de cacao a los que se les aplicaron diversos tratamientos de poda y que, en consecuencia, presentaron diferentes niveles de área foliar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área experimental

La investigación se realizó en cultivos de agricultores en la subregión de Urabá del departamento de Antioquia, en el municipio de Chigorodó, Colombia. El área se ubica en las coordenadas 7° 39' 2.5" latitud N y 76° 41' 58.0" longitud O, a una altitud de 40 msnm, con temperaturas que oscilaron entre los 21 y 34 °C, humedad relativa promedio de 84 % y una precipitación anual de 3257 mm en 2016. La zona de vida corresponde a bosque húmedo tropical, según el sistema de clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales propuesto por Holdridge (1947) y adaptado por IDEAM (2002).

Material vegetal

Se seleccionaron 20 árboles de los genotipos CCN 51 e ICS 95, por su adaptación y productividad en etapa productiva, con ocho años de edad y un perímetro de tallo de 35 a 50 cm, medido 10 cm abajo del injerto. Los genotipos fueron verificados con la base de datos internacional de germoplasma de cacao (ICGD, International Cocoa Germplasm Database, por sus siglas en inglés).

Diseño, unidad experimental y aplicación de los tratamientos

Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones; la unidad experimental, fue un árbol. Los tratamientos se obtuvieron a partir de la combinación de la poda y el área foliar del árbol. A todos los árboles se les podó a 4 m de altura, del suelo al ápice de la planta (Figura 1); mientras que, para obtener el área foliar total del árbol (AFT), primero se determinó el área foliar de 50 hojas de diversos tamaños obtenidas al azar de la copa, después se cuantificaron todas las hojas del dosel y a partir de ambos datos se calculó el área foliar total. Los tratamientos fueron: 1) poda de altura (-h), se podó la planta a 4 m de altura; 2) poda base (b), se aplicó poda de altura y se eliminaron ramas improductivas, entrecruzadas, ramas secundarias y terciarias dirigidas hacia el interior del dosel o al suelo; 3) poda base menos 25 % del AFT (b - 25 %), 4) poda base menos 50 % del AFT (b - 50 %) y 5) poda base menos 75 % del AFT (b - 75 %), esta última es la utilizada por los productores de la zona (Cuadro 1).

Variables medidas

Se midió el índice de área foliar durante el ciclo productivo con el equipo ceptómetro (AccuPAR LAI, Modelo LP-80, METER Group, Inc. Pullman, Washington, EUA). Las variables reproductivas medidas correspondieron a número de flores abiertas, número de frutos de cero a dos meses, número de frutos de dos a cuatro meses, número de frutos después de cuatro meses y número de frutos secos durante un ciclo productivo a escala anual, con periodicidad mensual. La definición de las etapas de floración y fructificación se estableció a partir de la máxima ocurrencia del evento; para el análisis se totalizó el número de estructuras en cada etapa.

La cosecha de cacao fue en noviembre y diciembre de 2016. Los granos fueron clasificados y pesados, posteriormente fermentados en cajones durante 4 d y finalmente secados en horno de convección (Memmert, Modelo 600, Schwabach, Alemania). Las variables de producción fueron peso fresco de cáscara y placenta y peso de grano fermentado y seco; además, se determinó el índice de mazorca (IM) e índice de grano (IG) con una balanza de precisión (Shimadzu TX3202L, Columbia, Maryland, EUA).

Durante el ciclo productivo se evaluó la humedad volumétrica de suelo con el equipo Theta probe ML3 (Delta T-Devices, Cambridge, Reino Unido) y se registró la precipitación con Collector II (Davis® Instruments, Hayward, California, EUA), la humedad relativa y la

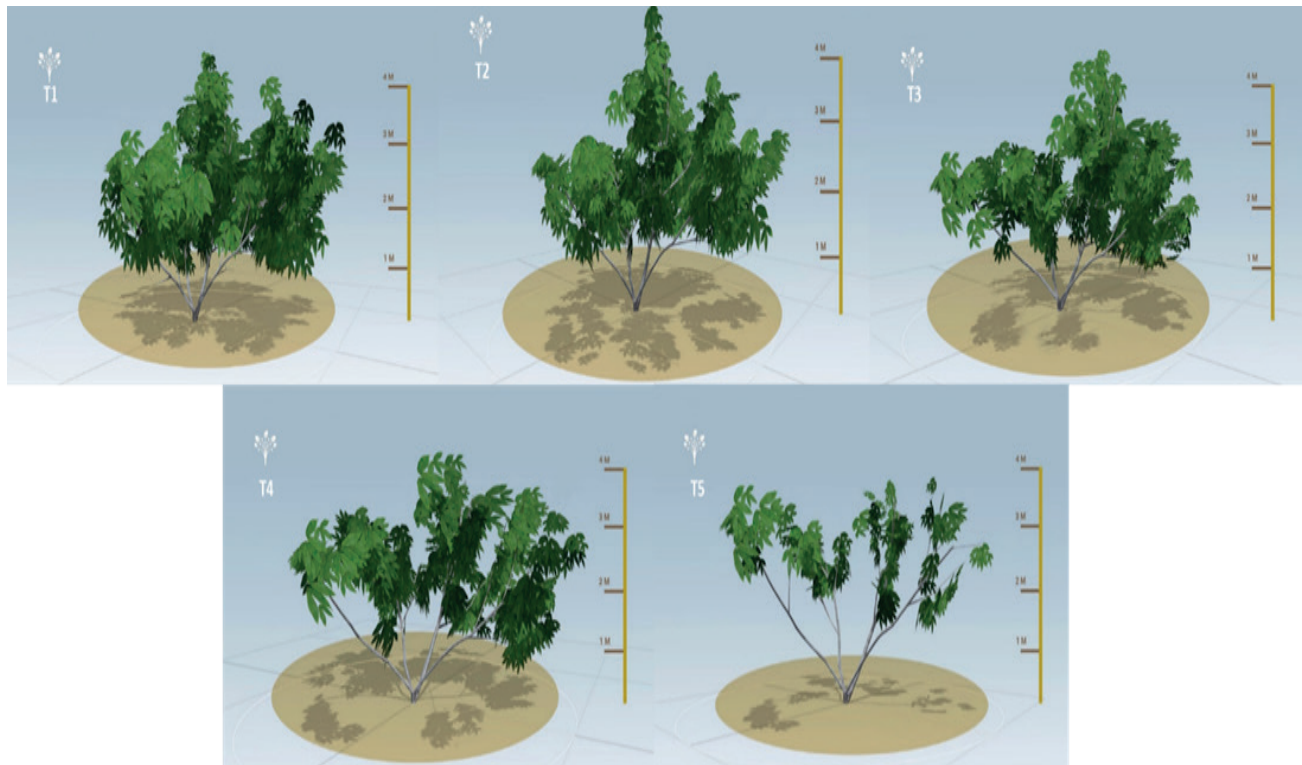


Figura 1. Modelo en 2D de representación de los tratamientos de poda. T1 (-h): poda de altura, T2 (b): poda base, T3 (b-25 %): poda base menos 25 % del AFT, T4 (b-50 %): poda base menos 50 % del AFT, T5 (b-75 %): poda base menos 75 % del AFT.

Cuadro 1. Tratamientos combinados de poda más área foliar aplicados a los clones de cacao, CCN 51 e ICS 95, considerados en el experimento.

Clon	Variables	Tratamientos				
		(-h)	(b)	(b - 25 %)	(b - 50 %)	(b - 75 %)
CCN 51	AF	51.8	20.6	15.6	10.4	5.20
	IAF	2.19	1.81	1.53	2.05	1.95
ICS 95	AF	37.4	14.5	10.5	7.3	3.70
	IAF	2.15	2.11	1.63	1.06	1,2

AF: área foliar, IAF: índice de área foliar, (-h): poda de altura, (b): poda base, (b-25 %): poda base menos 25 % del área foliar total AFT, (b-50 %): poda base menos 50 % del AFT, (b-75 %): poda base menos 75 % del AFT.

temperatura con THR 102, y la radiación PAR con un sensor QSO 110 (Apogee Instruments, North Logan, Utah, EUA) en el Em50G (Decagon Devices, Pullman, Washington, EUA) de la estación meteorológica.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza con un nivel de significancia del 5 %. El análisis de varianza y la comparación se realizó con los totales de flores y frutos de cada etapa, independiente para cada clon. Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y de homogeneidad

de varianzas con la prueba de Bartlett. Para determinar las diferencias entre los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) con el empleo del software R-Studio (R Core Team, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica del área foliar con distintos niveles de poda

La poda del cacaotero no alteró los periodos de brotación ni el tiempo de expansión y crecimiento de las ramas, lo que coincide con lo reportado para esta zona de vida, donde

la duración de un ciclo de brotación desde la activación de la yema hasta la madurez de la rama es de 60 d (Gil *et al.*, 2017), aunque puede oscilar entre 45 y 75 d (Tovar *et al.*, 1991). En este estudio se evidenció la brotación en CCN 51 en marzo, julio y septiembre, mientras que en ICS 95 desde marzo hasta septiembre. El ciclo de desarrollo de las ramas está caracterizado por la alternancia entre crecimiento y latencia, (Greathouse *et al.*, 1971), lo que generalmente es activado por cambios del clima (Almeida y Valle, 2007); sin embargo, en esta zona con condiciones de precipitación constante desde mayo, se presenta la sucesión de brotación y crecimiento, que en el clon CCN 51 puede suceder por la influencia de factores endógenos (Almeida y Valle, 2010). En el clon ICS 95, con brotación y crecimiento permanente, podría estar explicada por la constante precipitación.

En el clon CCN 51 el IAF presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos, el mayor valor fue para (-h) con 2.3 y 3.8, a los 65 y 245 ddp, respectivamente, el cual fue significativamente superior a (b-25 %) con 1.4 y 1.8, pero sin diferencias con los demás tratamientos (Figura 2).

El tratamiento (b-75 %) presentó un IAF de 2.4 a los 65 ddp (Figura 2); es decir, la poda en mayor magnitud aumentó el crecimiento vegetativo con respecto a los demás tratamientos (Sharma, 2014). Con los cortes se incrementa la presión radical que genera mayor irrigación en los meristemas cercanos, lo que desencadena la brotación, que se estimula debido al desbalance entre la parte aérea y la raíz, se modifica la dominancia apical, las auxinas se incrementan en todos los puntos de corte y se promueve el crecimiento vegetativo (Casierra-Posada y Fischer, 2012).

El clon ICS 95 a los 169 ddp presentó un IAF de 3.8 con la aplicación del tratamiento (-h), superó significativamente ($P \leq 0.05$) al tratamiento (b-25 %) (2.2 de IAF) y no mostró diferencias significativas con los demás tratamientos (Figura 3), aunque los promedios del IAF disminuyen correspondientemente con el incremento de AF podada. Posiblemente, este proceso de foliación se ve favorecido por la disponibilidad hídrica del suelo, que estuvo cercana al 45 % debido a la precipitación acumulada desde abril.

Los valores de IAF reportados para árboles productivos son muy variados, desde 1.5 hasta 6 en Ghana (Hutcheon, 1976); en tanto que en Brasil, en árboles de ocho años, el IAF fluctuó entre 3.7 y 5.7 (Alvim, 1977) y en Perú, en clones de cacao en etapa productiva, entre 1.37 y 5.6 (González, 2008, Com. Pers.)¹. Los IAF medidos en este trabajo estuvieron entre esos intervalos, que son muy amplios, dadas las distintas condiciones y genotipos de los reportes.

El IAF corresponde al área foliar que cubre una superficie de suelo; se puede afectar por la arquitectura del árbol. Los clones ICS 95 y CCN 51 presentan una configuración diferente por el ángulo de inserción de sus ramas primarias con respecto al eje (tronco) perpendicular al suelo. En el CCN 51, sus ramas forman ángulos entre 55° y 60° que conforman un dosel estrecho con follaje denso, mientras que en ICS 95 se presentan ángulos de inserción de 25° a 35° que forman un dosel más amplio y menos denso (Figura 1) y con menor densidad de follaje. Tras considerar esta característica distintiva, el área de suelo puede estar

¹González H. F. S. (2008) Ecofisiología del cacao. Diplomado 2007 Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo Maria, Huánuco, Perú. <http://diplomado2007.unas.blogspot.com.co/2008/01/ecofisiologia-del-cacao.html> (Marzo, 2016).

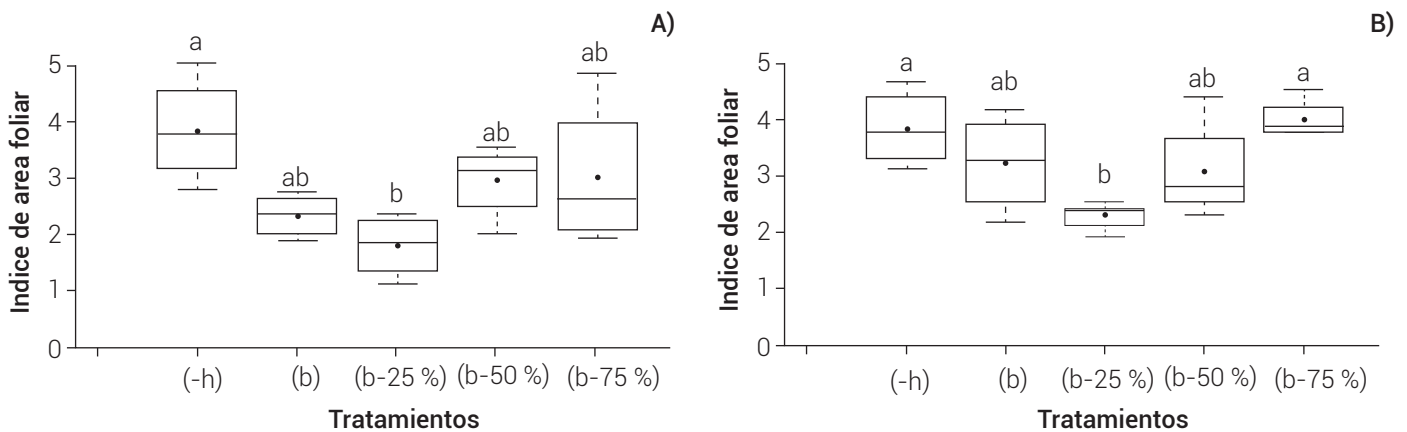


Figura 2. Índice de área foliar del clon CCN 51. A) 65 ddp, B) 245 ddp. Letras distintas indican diferencias significativas Tukey ($P \leq 0.05$).

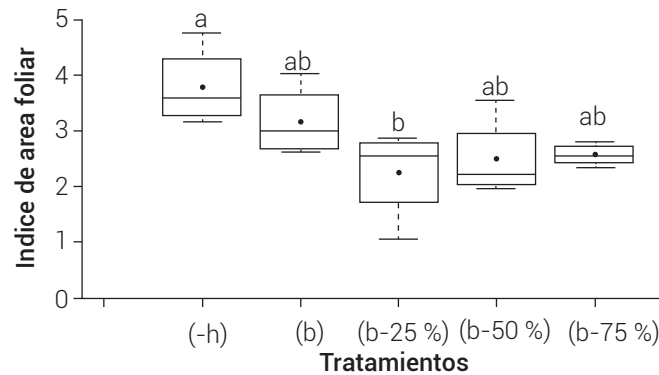


Figura 3. Índice de área foliar del clon ICS 95 a los 169 ddp en respuesta a diferentes tratamientos de poda. Letras distintas indican diferencias significativas Tukey ($P \leq 0.05$).

cubierta con una menor cantidad de hojas y se puede estimar un IAF similar para CCN 51 que tendría mayor cantidad de hojas.

El IAF y la arquitectura son aspectos fundamentales que deben ser considerados para definir la forma e intensidad de poda. Para la producción del cacaotero es pertinente asegurar la interceptación de radiación en el dosel y el balance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo, conforme a la respuesta a la luz y a la estructura del árbol.

Dinámica de la fase reproductiva con distintos niveles de poda

El periodo de mayor antesis fue entre junio y julio en CCN-51, mientras que, en ICS 95 la floración se presentó con distinta intensidad de julio a septiembre; estas floraciones están relacionadas con las épocas de mayor precipitación, 301 y 349 mm y temperaturas entre 22 y 33 °C, en junio y julio. En CCN 51 el mayor número de frutos menores de dos meses ocurrió en julio y septiembre, en tanto que en ICS 95, de julio a octubre; este comportamiento coincide con lo reportado por Gil *et al.* (2017). En relación con los cojines y flores en ambos clones, los tratamientos, no presentaron diferencias significativas, al igual que para frutos secos de ICS 95; en frutos menores de dos meses de CCN 51, los tratamientos no fueron diferentes; sin embargo, en el clon ICS 95 el tratamiento (b-75 %) fue significativamente menor, con una media de 53 frutos (Cuadro 2).

El valor más alto de frutos de dos a cuatro meses en CCN 51 ocurrió de septiembre a noviembre y en ICS 95 fue de septiembre a diciembre, tal como lo reporta Gil *et al.* (2017); para este tamaño de frutos en CCN 51 los valores más altos se presentaron en los tratamientos de poda (-h) con 105 y b - 50 % con 123, que fueron estadísticamente superiores a (b) con 68 ± 14 y a (b-75 %) (73 ± 18). En ICS

95 con la poda (b-75 %) se obtuvo significativamente la menor producción de frutos de dos a cuatro meses, con una media de 99 frutos (Cuadro 2).

Con relación a frutos mayores de 4 meses, en CCN 51 la mayor cantidad de frutos en edad de cosecha se presentó de octubre a noviembre y para ICS 95 en noviembre y diciembre. En CCN 51, los tratamientos de poda (-h) y (b-25 %) (67 y 62 frutos/árbol) fueron estadísticamente superiores a los demás tratamientos, mientras que en ICS 95 fueron (-h) y (b), ambos con 50 frutos/árbol, estadísticamente mayores a (b-25 %), (b-50 %) y (b-75 %) (Cuadro 2).

La ocurrencia de frutos secos presentó una alta correlación de Spearman (0.52) con la presencia de frutos de dos a cuatro meses, donde el mayor secamiento de frutillos ocurre cuando existe alto número de frutos en llenado, periodo en el que se requiere la mayor cantidad de fotoasimilados (Gil *et al.*, 2017).

En CCN 51 la mayor cantidad de frutos en edad de cosecha se obtuvo con los tratamientos (-h) y (b-25 %) con una retención mayor del 55 %. En ICS 95 la mayor retención se alcanzó con los tratamientos (-h) y (b), los cuales llegaron a 40 y 34 %, respectivamente; al aumentar la intensidad de poda disminuyó la retención de frutos, debido a que se afecta el balance fisiológico entre las estructuras fuente-demanda.

El AF está directamente relacionada con el desarrollo reproductivo del cacao; en los árboles del clon ICS 95 se observó correspondencia entre el IAF y la magnitud de la poda realizada, y consecuentemente afectó el crecimiento reproductivo. En el tratamiento con mayor porcentaje de poda (b-75 %) se cuantificó un menor IAF que desencadenó mayor pérdida de frutillos y menor

Cuadro 2. Variables de órganos reproductivos en los clones CCN 51 e ICS 95 con distintos niveles de poda.

Clon	Variables	Niveles de poda				
		(-h)	(b)	(b-25 %)	(b-50 %)	(b-75 %)
CCN 51	Cojines	261 ± 52 a	264 ± 68 a	289 ± 109 a	261 ± 74 a	297 ± 142 a
	Flores	256 ± 56 a	267 ± 65 a	220 ± 71 a	297 ± 92 a	264 ± 94 a
	Frutos < 2 meses	134 ± 27 a	105 ± 18 a	131 ± 22 a	108 ± 17 a	103 ± 23 a
	Frutos 2-4 meses	105 ± 27 a	68 ± 14 b	123 ± 19 a	83 ± 23 ab	73 ± 18 b
	Frutos > 4 meses	67 ± 16 a	37 ± 23 b	62 ± 9 a	58 ± 28 b	35 ± 20 b
	Frutos secos	105 ± 12 a	87 ± 10 ab	107 ± 12 a	84 ± 11 ab	85 ± 15 ab
ICS 95	Cojines	50 ± 23 a	89 ± 72 a	46 ± 35 a	50 ± 9 a	43 ± 32 a
	Flores	91 ± 25 a	167 ± 33 a	142 ± 27 a	115 ± 29 a	87 ± 17 a
	Frutos < 2 meses	82 ± 19 a	89 ± 16 a	93 ± 17 a	72 ± 14 a	53 ± 10 b
	Frutos 2-4 meses	121 ± 18 a	146 ± 20 a	137 ± 15 a	126 ± 15 a	99 ± 13 b
	Frutos > 4 meses	50 ± 19 a	50 ± 20 a	39 ± 15 b	39 ± 12 b	31 ± 8 b
	Frutos secos	97 ± 13 a	80 ± 57 a	87 ± 21 a	64 ± 9 a	66 ± 10 a

Tratamientos (-h): poda de altura, (b): poda base, (b-25 %): poda base menos 25 % del AFT, (b-50 %): poda base menos 50 % del AFT, (b-75 %): poda base menos 75 % del AFT. Letras distintas dentro de la misma fila indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

producción (31 frutos/árbol). En los árboles de CCN 51 el tratamiento (-h) presentó el mayor IAF desde junio (98 ddp) y hasta la cosecha; este crecimiento vegetativo incidió en los componentes de rendimiento y se expresó en el mayor cuajado, retención y llenado de frutos, con lo que se obtuvo la mayor cosecha (62 frutos/árbol). Con el menor IAF, por la mayor severidad de poda (tratamiento b-75 %) se observó la mayor proporción de frutillos secos y caídos.

La poda y la producción

En CCN 51 la mayor cantidad de frutos cosechados se obtuvo con el tratamiento (b-25 %) (57 frutos/árbol), mientras que el mayor peso de grano fermentado y seco se obtuvo con (-h) (4.8 kg/árbol), este tratamiento también logró el mayor peso de cáscara y placenta (Figura 4). En ICS 95 la mayor producción de grano seco (1.59 kg/árbol) se alcanzó con el tratamiento (-h). La mayor cantidad de frutos cosechados (40 frutos/árbol) y peso de cáscara se presentó en el tratamiento (b), mientras que la menor cosecha (24 frutos/árbol) de grano fermentado y seco (0.86 kg/árbol) lo produjo el tratamiento (b-75 %) (Figura 4). El índice de mazorca (IM) y el índice de grano (IG) no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos en ambos clones (Figura 4); el IM fue mayor con respecto a lo reportado en otros estudios (Perea *et al.*, 2013).

En el tratamiento (-h) se obtuvo la mayor cantidad de cacao seco, atribuible a la mayor acumulación,

disponibilidad y translocación de fotoasimilados hacia los frutos, relacionada con el mayor IAF. En el tratamiento (b) la ubicación y edad de las hojas dificultan la recepción de luz, por tanto, hubo menor traslocación de fotoasimilados, lo que afectó la producción de frutos (Muller y Valle, 2012).

Los mayores rendimientos se obtuvieron en los árboles con menor intensidad de poda, tal como sucede en otros frutales (Casierra-Posada y Fischer, 2012; Muñoz-Vega *et al.*, 2017). La poda de copa del árbol de cacao bajo sombrío incrementa la producción (López *et al.*, 2016).

El clon CCN 51 produjo 3.42 kg/árbol, valor estadísticamente superior al de ICS 95, que produjo 2.07 kg/árbol (Figura 5). En estudios de evaluación de genotipos realizados en el litoral ecuatoriano, Sánchez-Mora *et al.* (2015) también encontraron mayor rendimiento con el clon CCN 51, con una producción de 1047.7 kg ha⁻¹ en condiciones comerciales.

En la producción de grano fermentado el tratamiento (-h) fue el de mayor producción (4.63 kg/árbol) y superó de manera significativa a (b-25 %), (b), (b-50 %) y (b-75 %) con 2.62, 2.54, 2.13 y 1.70 kg/árbol, respectivamente (Figura 6).

El peso de grano seco se redujo al incrementar la intensidad de poda, la eliminación de follaje en árboles en etapa productiva, ya que se puede alterar el balance y la tasa fotosintética, lo que reduce la producción (Johnson *et al.*, 2008); además, la poda en exceso conduce a

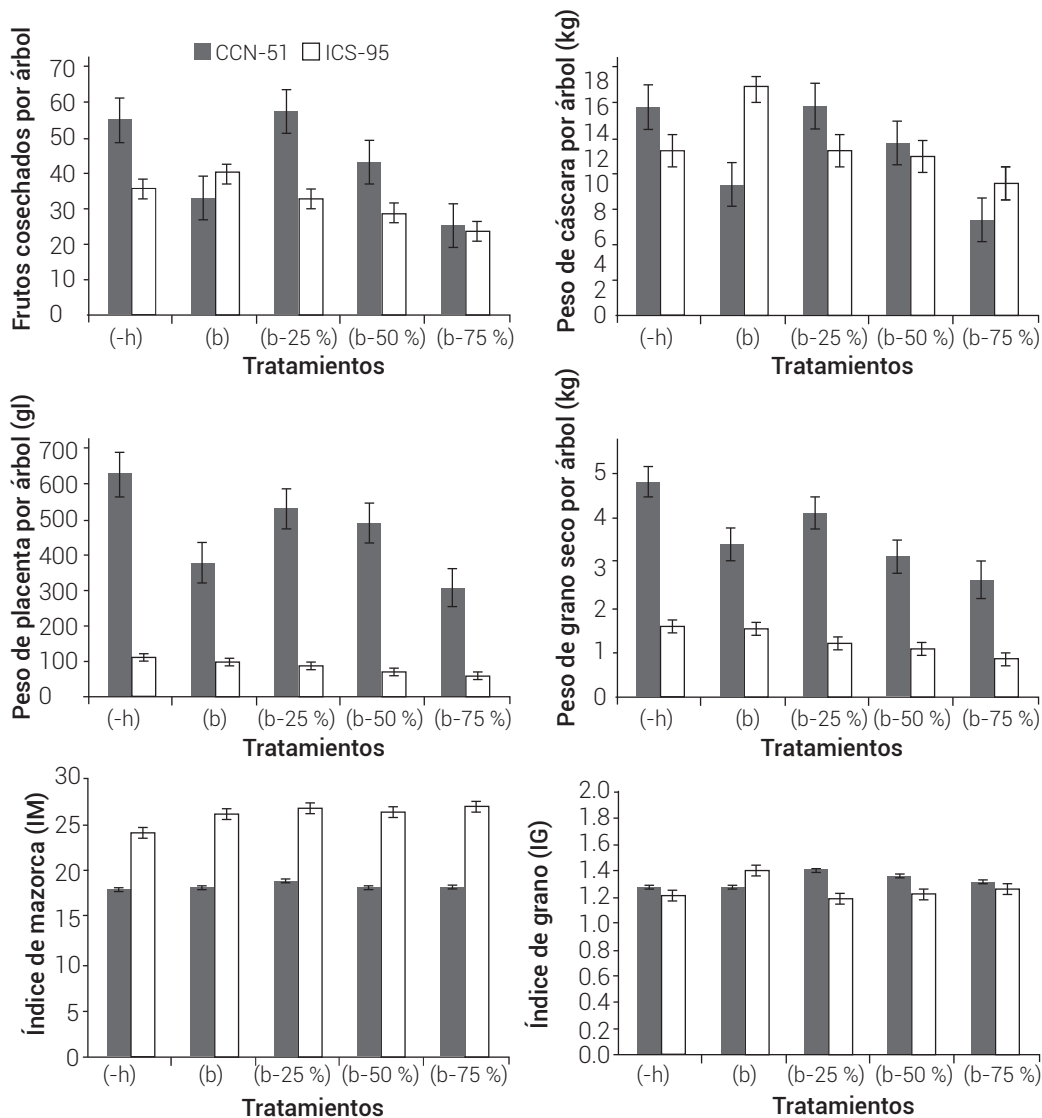


Figura 4. Componentes de producción en los clones CCN 51 e ICS 95. (-h): poda de altura, (b): poda base, (b-25 %): poda base menos 25 % del AFT, (b-50 %): poda base menos 50 % del AFT, (b-75 %): poda base menos 75 % del AFT.

producciones deficientes, con frutos de mala calidad, envejecimiento prematuro y copas indeseables de árboles (Báez, 2008; Johnson *et al.*, 2008).

La evaluación con el modelo de efectos aditivos permitió mostrar que en número de frutos cosechados, pesos de cáscara y placenta, índices de mazorca y de grano, los tratamientos de poda no presentaron diferencias significativas. mientras que en peso de grano seco, el tratamiento (-h), con 4.6 kg, fue diferente de manera significativa a los demás tratamientos de podas (Cuadro 3).

La relación entre el AF y la producción es directamente

proporcional, pero está condicionada por la arquitectura y la distribución del follaje, de tal manera que con un IAF de 0.6 a 0.75 se puede obtener 1 kg de cacao fermentado y seco, que correspondería a un número de entre 360 y 450 hojas.

El área foliar es un factor determinante en la producción del cultivo. Las hojas como fuente de fotoasimilados tienen aportes diferentes en función de la cantidad, ubicación y distribución en el dosel. Lo anterior influye directamente la asimilación de CO₂ y la duración del AF activa aportante. Las hojas maduras son fuente por unos 250-330-360 d según la radiación que reciban, a mayor radiación se presenta una menor duración del área foliar

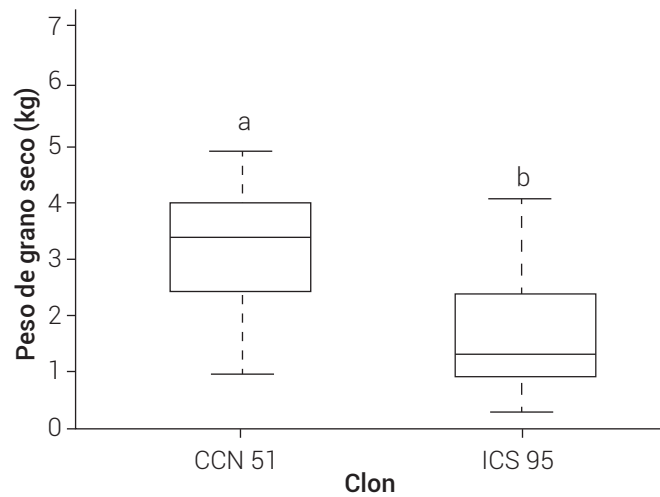


Figura 5. Producción de grano de cacao seco en los genotipos CCN 51 e ICS 95. Letras distintas indican diferencias significativas Tukey ($P \leq 0.05$).

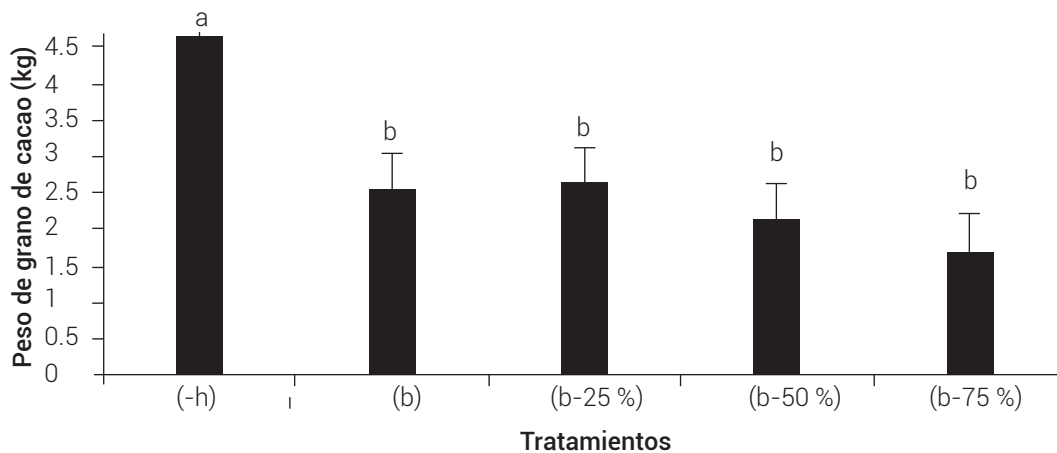


Figura 6. Producción de grano de cacao fermentado en distintos tratamientos de poda, utilizando un modelo de efectos aditivos. (-h): poda de altura, (b): poda base, (b-25 %): poda base menos 25 % del AFT, (b-50 %): poda base menos 50 % del AFT, (b-75 %): poda base menos 75% del AFT. Letras distintas indican diferencias significativas Tukey ($P \leq 0.05$).

(Muller y Valle, 2012). Las hojas de CCN 51 responden a la luz, a mayor radiación hay mayor fijación de CO_2 , con tasas relativamente altas para cacao ($4 - 8 \mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$); por lo tanto, conviene realizar aclareos que eviten el autosombreamiento. En ICS 95 la asimilación de CO_2 es menor, entre 2 y $4 \mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$, éste prefiere menor intensidad de luz, por lo que su respuesta productiva a la poda no es directa. La poda no afecta en la misma forma y proporción el crecimiento vegetativo y reproductivo del cacao, pero su efecto es significativamente notorio en la producción de grano seco.

CONCLUSIONES

La poda no modificó la duración de los periodos vegetativos, pero incidió en la magnitud del índice de área foliar. Así, en CCN 51 la brotación se concentró en los meses de marzo, julio y septiembre y en ICS 95 se extendió desde marzo hasta septiembre en todos los tratamientos. La poda de altura (-h) fue estadísticamente superior en el IAF en CCN 51 a los 65 y 245 días después de la poda, mientras que en ICS 95 lo fue a los 169 días. El incremento de la intensidad de poda disminuyó el IAF y de manera significativa el cuajado, la retención de frutos, la producción de grano seco e incrementó la proporción

Cuadro 3. Variables de producción analizadas con el modelo de efectos aditivos entre área foliar y producción en cacao.

Variable	Tratamientos				
	(-h)	(b)	(b-25 %)	(b-50 %)	(b-75 %)
No. de frutos	45 ± 20.4 a	36 ± 18.2 a	45 ± 15.5 a	36 ± 17.8 a	25 ± 13.0 a
Peso cáscara (kg)	14.3 ± 6.6 a	13.8 ± 6.6 a	14.3 ± 3.2 a	12.7 ± 5.4 a	8.76 ± 4.8 a
Peso placenta (g)	386.8 ± 33.8 a	246.3 ± 23.8 a	321.7 ± 27.1 a	290.5 ± 27.6 a	188.1 ± 107.4 a
Grano seco (kg)	4.6 ± 1.6 a	2.5 ± 1.2 b	2.6 ± 1.30 b	2.1 ± 1.21 b	1.7 ± 1.10 c
IG	18 ± 8 a	18 ± 9 a	20 ± 7 a	20 ± 8 a	18 ± 8 a
IM	1.2 ± 0.15 a	1.3 ± 0.12 a	1.3 ± 0.15 as	1.2 ± 0.22 a	1.3 ± 0.08 a

(-h): poda de altura, (b): poda base, (b-25 %): poda base menos 25 % del AFT, (b-50 %): poda base menos 50 % del AFT, (b-75 %): poda base menos 75 % del AFT. Letras distintas dentro de la misma fila indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

de frutillos secos. Los componentes de rendimiento más sensibles a la acción de la poda son el número de frutos en edad de cosecha y el peso de granos por fruto.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada a través del Convenio especial de cooperación No. 4600000987 entre La Gobernación de Antioquia-Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín, cofinanciado por el Sistema General de Regalías y el posgrado en Ciencias Agrarias. Expresamos un agradecimiento especial al señor Antonio Rojas Pulgarín, al grupo de investigación AgroXue y a los estudiantes de ingeniería agropecuaria de la Universidad de Antioquia - Sede Urabá.

BIBLIOGRAFÍA

- Gobernación de Antioquia. Bogotá, Colombia. 244 p.
- Gil R. J. P., E. Leiva-Rojas and R. Ramirez P. (2017) Phenology of cocoa tree in a tropical moist forest. *Cientifica* 45:240-252, <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n3p240-252>
- Greathouse D. C., W. M. Laetsch and B. O. Phinney (1971) The shoot-growth rhythm of a tropical tree, *Theobroma cacao*. *American Journal of Botany* 58:281-286.
- Holdridge L. R. (1947) Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science* 105:367-368, <https://doi.org/10.1126/science.105.2727.367>
- Hunt R. (1982) Plant Growth Curves. The Functional Approach to Plant Growth Analysis. Edward Arnold. London, UK. 248 p.
- Hutcheon M. W. (1976) Light interception by the canopy and leaf area index (IAF). In: Annual Report 1973-74. Cocoa Research Institute. Tafo, Ghana. pp:190-193.
- IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2002) Perfil del Estado de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente en Colombia 2001. Tomo 3. Sistema de Información Ambiental de Colombia. Bogotá, Colombia. 595 p.
- Johnson J. M., J. C. Bonilla y L. Aguero C. (2008) Manual de Manejo y Producción del Cacaotero. Universidad Nacional Agraria. Leon, Nicaragua. 40 p.
- López J. S. A., Á. Sol-Sánchez, V. Córdova Á. y F. Gallardo L. (2016) Efecto de la poda en plantaciones de cacao en el estado de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14:2807-2815, <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i14.452>
- Muller M. W. e R. R. Valle (2012) Ecofisiología do cultivo do cacauero. In: Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacauero. R. R. Valle. (ed.). Segunda edição. Centro de Pesquisas do Cacau Ceplac. Brasília D. F., Brasil. pp:31-66.
- Muñoz-Vega P., H. Serri, M. D. López, M. Faundez y P. Palma (2017) Efecto de diferentes intensidades de poda sobre el rendimiento y calidad de fruta en arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences* 33:285-294.
- Perea V. A., F. Aranzazu H. y N. Martinez G. (2013) Características de Calidad del Cacao de Colombia. Catálogo de 26 Cultivares. Federación Nacional de Cacaoteros. Bucaramanga, Colombia. 107 p.
- R Core Team (2017) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Viena, Austria. 2630 p.
- Rodríguez P. R. A., S. J. Lopes, A. Swarowsky, R. Rosales C., C. U. Nogueira and M. Maffei (2016) Non-destructive models to estimate leaf area on bell pepper crop. *Ciência Rural* 46:1938-1944, <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151324>
- Sánchez-Mora F. D., S. M. Medina-Jara, G. T. Díaz-Coronel, R. A. Ramos-Remache, J. F. Vera-Chang, V. F. Vásquez-Morán, F. A. Troya-Mera, F. R. Garcés-Fiallos y R. Onofre-Nodari (2015) Potencial sanitario y productivo de 12 clones de cacao en Ecuador. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38:265-274.
- Almeida A. A. F. and R. R. Valle (2007) Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19:425-448, <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011>
- Almeida A. A. F. and R. R. Valle (2010) Cacao: ecophysiology of growth and production. In: Ecophysiology of Tropical Tree Crops. F. DaMatta (ed.). Nova Science Publisher. New York, USA. pp:37-70.
- Alvim P. T. (1977) Cacao. In: Ecophysiology of Tropical Crops. P. T. Alvim and T. T. Kozlowski (eds.). Academic Press. New York, USA. pp:279-313. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-055650-2.50015-0>
- Arévalo E., A. Ram e R. Valle (2012) Intração de práticas de manejo no cultivo de cacauero. In: Ciência Tecnologia e Manejo do Cacauero. Segunda edição. R. R. Valle (ed.). Centro de Pesquisas do Cacau Ceplac. Brasília D. F., Brasil. pp:545-597.
- Báez A. N. G. (2008) Manejo de la Arquitectura Aerea del Árbol de Cacao. "Poda de Cono Natural". Federación Nacional de Cacaoteros. Bogotá, Colombia. 56 p.
- Bedker P. J., J. G. O'Brien y M. E. Mielke (2004) Cómo Podar Árboles. Forest Service, United States Department of Agriculture. Washington, D. C., USA. 30 p.
- Casierra-Posada F. y G. Fischer (2012) Poda de árboles frutales. In: Manual para el Cultivo de Frutales en el Trópico. G. Fischer (ed.). Produmedios, Bogotá. pp:169-185.
- FEDECACAO, Federación Nacional de Cacaoteros (2015) Guía Técnica para el Cultivo del Cacao. Sexta edición. Fondo Nacional del Cacao y

Santos C. M., M. Segura A. y C. E. Núñez L. (2010) Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 63:5253-5266.

Sharma L. K. (2014) Effect of varied pruning intensities on the growth, yield and fruit quality of starking delicious apple under mid

hill conditions of Himachal Pradesh, India. *Agricultural Science Digest* 34:293-295, <https://doi.org/10.5958/0976-0547.2014.01023.4>

Tovar G., V. Ortiz, J. Rodríguez y M. Ortiz (1991) Estudio del comportamiento de la brotación foliar, la floración y la fructificación del cacao. *Agronomía Colombiana* 8:95-104.