

## Estimación del Área Foliar y su Relación sobre algunos Caracteres Agro-Morfológicos en Variedades de *C. arabica* L. en Ángel Albino Corzo, Chiapas, México

**Adeín González Vázquez<sup>1</sup>**

[A1181009@unach.mx](mailto:A1181009@unach.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-1216-0402>

Investigador Independiente

**Josué Duff Arévalo**

[Josue.duff98@gmail.com](mailto:Josue.duff98@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0009-0051-5630>

Investigador Independiente

### RESUMEN

Con el objetivo de conocer la influencia del área foliar sobre algunas características agro-morfológicas en el cafeto (*Coffea arabica* L.) se evaluó el índice de área foliar (IAF) con la App para Android® Bio-Elíptica junto con otras variables morfométricas en las variedades Típica, Borbón, Caturra, Maragogipe, Marsellesa, Centroamericano, Catimor, Costa Rica 95 y Pacas en el municipio de Ángel Albino Corzo, Chiapas, México a una altitud de 950 msnm. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ( $P < 0.05$ ) así como el análisis de componentes principales (ACP) con el paquete estadístico RStudio Team (2020), se encontró que la variedad Costa Rica 95 presentó un mayor índice de área foliar (IAF) y se relacionó con un mayor número de frutos por planta (NFP) pero un menor tamaño de la rama productiva (TRP) además se encontró que esta variedad necesita de 11.44 cm<sup>2</sup> de área foliar para producir un fruto. La variedad Maragogipe presentó el menor índice de área foliar (IAF) y se relacionó con la mayor cantidad de área foliar para producir un fruto (AFPF). Se encontró relación entre el índice de área foliar (IAF) sobre el número de ramas (NR).

**Palabras clave:** *cafeto; estimación de área foliar; tecnología agrícola; productividad; hoja.*

---

<sup>1</sup> Autor principal.

Correspondencia: [A1181009@unach.mx](mailto:A1181009@unach.mx)

# **Leaf Area Estimation and its Relation to some Agro-Morphological Characters in Varieties of *C. arabica* L. In Ángel Albino Corzo, Chiapas, Mexico**

## **ABSTRACT**

In order to know the influence of leaf area on some agro-morphological characteristics in coffee (*Coffea arabica* L.), the leaf area index (LAI) was evaluated with the Bio-Elliptical App for Android® together with other morphometric variables in the Typica, Bourbon, Caturra, Maragogype, Marsellesa, Centroamericano, Catimor, Costa Rica 95 and Pacas varieties in the municipality of Ángel Albino Corzo, Chiapas, Mexico at an altitude of 950 meters above sea level. With the data obtained, an analysis of variance and Tukey's mean comparison test ( $P < 0.05$ ) were performed, as well as the principal component analysis (PCA) with the statistical package RStudio Team (2020), it was found that the Costa Rica 95 variety presented a higher leaf area index (LAI) and was related to a higher number of fruits per plant (NFP) but a smaller size of the productive branch (SPB). In addition, it was found that this variety needs 11.44 cm<sup>2</sup> of leaf area to produce a fruit. The Maragogype variety presented the lowest leaf area index (LAI) and was related to the more amount of leaf area to produce a fruit (ALAF). It was found relationship between the leaf area index (LAI) on number of branch (NB).

**Keywords:** *coffee; leaf area estimation; agricultural technology; productivity; sheet.*

*Artículo recibido 20 julio 2023*

*Aceptado para publicación: 20 agosto 2023*

## INTRODUCCIÓN

De toda la actividad agrícola en México, el café (*Coffea arabica* L.) ha sido el parteaguas en la economía nacional, además de ser un cultivo estratégico que permite la conservación de los ecosistemas, actualmente México ocupa el undécimo lugar en el ranking internacional de países productores con un aporte del 2.01% (Juárez *et al.*, 2021). En el 2022 el SIAP reportó una producción nacional de 987,102 toneladas de café cereza, siendo el estado de Chiapas el principal estado productor con un volumen de producción de 385,704 ton, con una aportación al total nacional de 39.1% (Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2022).

Diversos estudios realizados han comprobado que el índice de área foliar (IAF) influye sobre los procesos fisiológicos del cafeto como el desarrollo vegetativo, tasa fotosintética, uso de nutrientes y movimiento del agua dentro de la planta (Montoya *et al.*, 2017). Tanto la absorción de carbono, así como la producción de oxígeno depende directamente de esta variable durante toda la etapa fenológica (Arcila y Chávez, 1995). En este sentido, el tamaño de la hoja en cada cafeto se relaciona directamente con la productividad y como consecuencia con la rentabilidad del cultivo (Watson, 1955 citado de Montoya *et al.*, 2017; Pandey y Padilla, 2011). Las metodologías convencionales y tradicionales para la medición del área foliar se basan en métodos destructivos y no destructivos mediante el uso de equipos sofisticados, sin embargo, la mayoría de estos son demandantes en tiempo y de difícil acceso por el costo además de que la mayoría de las mediciones mantienen un rango de error significativo (Ilkkae *et al.*, 2011).

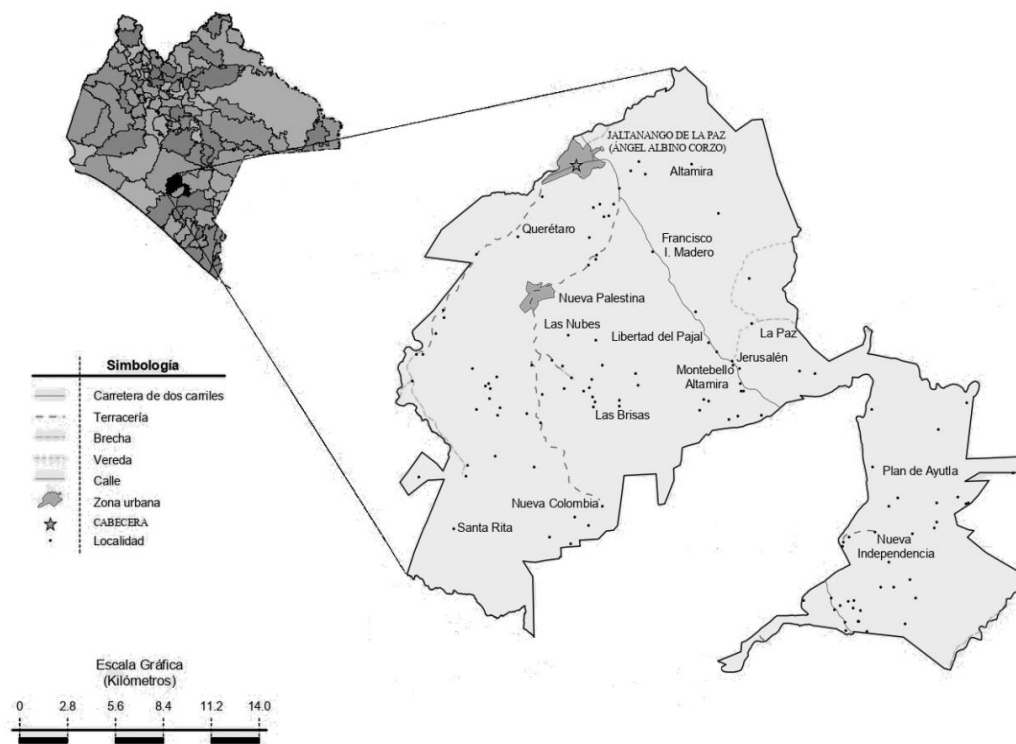
El objetivo de esta investigación fue calcular el índice de área foliar (IAF) de nueve variedades de cafeto de *C. arabica* a través de la aplicación para Android® Bio-Eliptica con una confiabilidad del 98% para conocer su relación sobre algunos caracteres agro-morfológicos así como para obtener información importante como herramienta para los productores de café de Ángel Albino Corzo, Chiapas que permita crear prácticas agronómicas eficientes como la generación de proyecciones de cosecha así como la elección de una variedad que se ajuste a las necesidades, además el estudio sobre el índice de área foliar del cafeto es de gran utilidad para investigaciones en otras variables más complejas que ayude a la exploración científica en la cadena productiva del café en México.

## METODOLOGÍA

### Ubicación geográfica

La presente investigación se desarrolló en el mes de julio de 2023. Los datos se obtuvieron en el cafetal sustentable El Santuario, ubicado en el Ejido Libertad Pajal perteneciente al municipio de Ángel Albino Corzo, Chiapas, México ( $15^{\circ}46'39.60''$  N y  $92^{\circ}40'28, 94''$ ) a una altitud de 950 msnm (González y Alcántara, 2022) [Figura 1].

**Figura 1.** Ubicación del área de estudio en Chiapas, México.



Fuente: INEGI, (2010).

### Material vegetal

Las variedades de café utilizadas fueron de la especie *Coffea arabica* L. estas fueron Típica, Borbón, Caturra, Maragogipe, Marsellesa, Centroamericano, Catimor, Costa Rica 95 y Pacas mayor a diez años de edad con un diseño de plantación en surcos de 1.5 x 3 m en un sistema policultivo tradicional. Para el estudio se eligieron plantas sanas y vigorosas.

### **Altura de la planta (AP)**

Se seleccionaron las variedades de café en el lote (Montoya *et al.*, 2017), por cada varietal se eligieron tres plantas, las cuales se les midió la altura (m) con ayuda de un flexómetro (Julca-Otiniano *et al.*, 2018).

### **Número de ramas (NR)**

A los tres cafetos seleccionados anteriormente se les realizó el contero directo de las de las ramas plagiotrópicas (Zapata *et al.*, 2015).

### **Tamaño de la rama productiva (TRP)**

Por cada variedad se seleccionaron tres ramas primarias las cuales se midieron con un flexómetro [cm] (Ndikumana *et al.*, 2021).

### **Número de frutos por rama (NFR)**

Se seleccionaron tres ramas productivas en el tercio medio por cada variedad y se contabilizaron manualmente el número de frutos en cada una de ellas ajustando la metodología de Salazar-Arias *et al.* (1988).

### **Número de frutos por planta (NFP)**

Para conocer esta variable se multiplicó la media obtenida del número de frutos por rama (NFR) por el número de ramas [NR] (Dilas-Jiménez *et al.*, 2020).

### **Área foliar (AF)**

Se tomaron nueve hojas en cada cafeto seleccionadas a partir del tercer nudo de la bandola elegidas al azar (Zhang y Pan, 2011). Las muestras se colocaron sobre una hoja de papel tamaño carta con el peciolo en dirección al sur, se utilizó una fuente de luz difusa debajo de la hoja de papel para reducir sombras causadas por topografía irregular de las muestras y enfatizar el contorno, para la medición del área foliar se utilizó la aplicación para Android® Bio-Elíptica a través de capturas fotográficas con ayuda de un teléfono (Modelo Redmi Note 10c).

### **Número de hojas (NH)**

Se contabilizó el número de hojas de tres ramas (NHR) seleccionadas al azar en cada variedad de acuerdo a la metodología de Milla *et al.* (2019).

### **Índice de área foliar (IAF)**

Se obtuvo realizando la siguiente fórmula en cada cafeto:

$$IAF = AF * NH * NR$$

**Donde:**

IAF= Índice de área foliar

AF= Área foliar

NH= Número de hojas

NR= Número de ramas

El dato obtenido se transformó a m<sup>2</sup> dividiendo por 10,000.

### **Área foliar para producir un fruto (AFPF)**

Para conocer esta variable se dividió el índice de área foliar (IAF) entre el número de frutos por planta (NFP), el dato se tomó de las tres repeticiones en cada variedad.

### **Producción de café cereza (PCC)**

Se obtuvo dividiendo el número de frutos por planta (NFP) entre 10,000 que es una constante que se utilizó para convertir el índice de área foliar (IAF) de cm<sup>2</sup> a m<sup>2</sup> en cada cafeto, para conocer el total (kg) de café cereza por hectárea el resultado se multiplicó por el número de cafetos en la hectárea, para la conversión de café cereza a pergamino el resultado se dividió entre 250 que es la cantidad de café cereza para obtener 57.5 kg de café pergamino comercial (Escamilla *et al.*, 2015).

### **Análisis de los datos**

Los datos obtenidos fueron procesados mediante el paquete estadístico RStudio Team (2020) en donde se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey a una significancia de  $p < 0.05$  (Misgana *et al.*, 2018) además de análisis de multivariado de agrupamiento (Cosme-De La Cruz *et al.*, 2020) para conocer la relación entre las variables sobre el índice de área foliar.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Tamaño de la hoja y área foliar de los cafetos estudiados**

En el cuadro 1 se observa que el área foliar (AF) está en función del largo de la hoja (LH) y el ancho de la hoja (AH) en este sentido la variedad Catimor presentó el valor más alto ( $p < 0.05$ ) mientras que las variedades Borbón y Caturra fueron significativamente menores, Montoya-Restrepo *et al.* (2017)

menciona que el área foliar está relacionada con aspectos fisiológicos de la planta como tasa fotosintética, evapotranspiración, y desarrollo vegetativo, así como con la absorción de agua y nutrimentos. En Burundi, Ndikumana *et al.* 2021 reporta para la accesión de variedades tradicionales Borbón Magayez (71 y 139) un promedio de área foliar de 43.3 cm<sup>2</sup> datos inferiores a lo que se encontró en este estudio.

**Cuadro 1.** *Tamaño de la hoja de las variedades de café estudiadas.*

Variedad (n-27)	Variable (Media ± D. E.)		
	LH	AH	AF
Borbón	14.21 ± 2.57 <sup>c*</sup>	5.42 ± 1.01 <sup>d</sup>	47.18 ± 16.33 <sup>d</sup>
Catimor	18.33 ± 1.32 <sup>a</sup>	8.13 ± 0.74 <sup>a</sup>	91.85 ± 13.55 <sup>a</sup>
Caturra	14.13 ± 1.30 <sup>c</sup>	5.33 ± 0.48 <sup>d</sup>	46.45 ± 7.05 <sup>d</sup>
Centroamericano	18.10 ± 1.75 <sup>a</sup>	7.48 ± 0.99 <sup>ab</sup>	84.94 ± 20.23 <sup>ab</sup>
Costa Rica 95	17.06 ± 1.64 <sup>ab</sup>	6.62 ± 0.84 <sup>c</sup>	67.63 ± 14.48 <sup>c</sup>
Marsellesa	17.40 ± 2.19 <sup>ab</sup>	6.97 ± 0.84 <sup>bc</sup>	73.50 ± 16.67 <sup>ab</sup>
Maragogipe	16.12 ± 1.92 <sup>b</sup>	6.46 ± 0.84 <sup>c</sup>	64.94 ± 14.38 <sup>c</sup>
Pacas	17.96 ± 1.48 <sup>a</sup>	6.66 ± 0.76 <sup>c</sup>	71.68 ± 14.61 <sup>c</sup>
Típica	14.26 ± 2.06 <sup>c</sup>	5.42 ± 0.89 <sup>d</sup>	48.93 ± 14.79 <sup>c</sup>

\*Medias con una letra común en columna son significativamente diferentes (Tukey p<0.05).

Se encontró que tanto las variedades de introgresión Catimor, Centroamericano, Costa Rica 95 y Marsellesa de este estudio junto con las variedades tradicionales Bórbón, Caturra, Maragogipe, Pacas y Típica presentaron un área foliar (AF) menor a lo que reporta Burbano *et al.* (2022) en Nariño, Colombia en la variedad Catillo<sup>®</sup> probablemente debido al sistema de producción ya que las variedades en este estudio se encuentran en un sistema policultivo tradicional, esto coincide con lo que mencionan Unigarro-Muñoz *et al.* (2015) y Montoya-Restrepo *et al.* (2017) el cual afirman que la variedad Catillo es un cultivar muy productivo en un sistema a pleno sol y como consecuencia presenta hojas más grandes, sin embargo requieren de mayor demanda de nutrientes.

### **Índice de área foliar, número de ramas y hojas de los cafetos estudiados**

No se encontró relación entre el área foliar (AF) y el índice de área foliar (IAF) de manera que no necesariamente las variedades con mayor tamaño de la hoja fueron las de mayor índice de área foliar (IAF), se encontró el mayor valor en esta variable en las variedades Costa Rica 95, Centroamericano y

Típica además se encontró que entre menos número de ramas (NR) presente un cafeto el índice de área foliar (IAF) es menor como se observa en las variedades Maragogipe y Pacas (Cuadro 2), se encontró un mayor número de hojas (NH) en los híbridos de Timor, esto probablemente debido a que las variedades tradicionales Típica, Borbón, Maragogipe y Pacas son muy susceptibles a la roya (*Hemileia vastatrix*) que causa defoliación completa o parcial en las ramas (Pérez-Fernández *et al.*, 2016).

**Cuadro 2.** Índice de área foliar, número de ramas y hojas de las variedades de cafeto estudiadas.

Variedad	Variable (Media ± D. E.)		
	IAF m <sup>2</sup> (n-27)	NR (n-3)	NH (n-3)
Típica	23.15 ± 8.7 <sup>ab*</sup>	354.66 ± 85.54 <sup>a</sup>	13.00 ± 1.00 <sup>b</sup>
Borbón	21.04 ± 3.96 <sup>abc</sup>	270 ± 86.69 <sup>ab</sup>	17.00 ± 1.00 <sup>ab</sup>
Caturra	16.67 ± 2.78 <sup>abcd</sup>	182.33 ± 13.57 <sup>bc</sup>	19.66 ± 2.08 <sup>ab</sup>
Maragogipe	3.95 ± 1.42 <sup>e</sup>	37.33 ± 7.02 <sup>d</sup>	16.33 ± 4.93 <sup>ab</sup>
Marsellesa	9.88 ± 1.53 <sup>cde</sup>	63.33 ± 14.16 <sup>cd</sup>	21.33 ± 1.52 <sup>ab</sup>
Centroamericano	24.07 ± 4.72 <sup>ab</sup>	120.66 ± 31.13 <sup>cd</sup>	24.33 ± 3.21 <sup>a</sup>
Catimor	13.53 ± 5.61 <sup>abcde</sup>	68.66 ± 4.16 <sup>cd</sup>	21.00 ± 6.24 <sup>ab</sup>
Costa Rica 95	27.25 ± 5.11 <sup>a</sup>	256.66 ± 56.86 <sup>ab</sup>	16.00 ± 2.00 <sup>ab</sup>
Pacas	4.84 ± 6.28 <sup>de</sup>	37.33 ± 7.02 <sup>d</sup>	18.33 ± 2.08 <sup>ab</sup>

\*Medias con una letra común en columna son significativamente diferentes (Tukey p<0.05).

Las variedades Catimor y Marsellesa han sido reportadas por Dilas-Jiménez *et al.* (2020) en Perú con mucho desarrollo vegetativo, sin embargo, en este estudio únicamente Catimor presentó mayor área foliar (AF) sin valores sobresalientes para el índice de área foliar (IAF) en ambas. Los resultados del número de hojas (NH) en los híbridos de Timor en este estudio es similar a lo que encontró Julca - Otiniano *et al.* (2018) en Junín, Perú, en las variedades de introgresión Catimor, Colombia y Costa Rica 95. Burbano *et al.* (2022) menciona que a mayor cantidad de ramas mayor es la producción. Se encontraron diferencias estadísticas (p<0.05) en el número de ramas (NR) en las variedades y estas se relacionaron con la productividad de los cafetos, así como con el índice de área foliar (IAF) como se observa en la variedad Costa Rica 95 quien presentó menor área foliar (AF) pero presentó el mayor índice de área foliar (IAF) debido a que obtuvo el mayor valor en el número de ramas (NR) al igual que reporta Julca -Otiniano *et al.* (2018) en Perú.

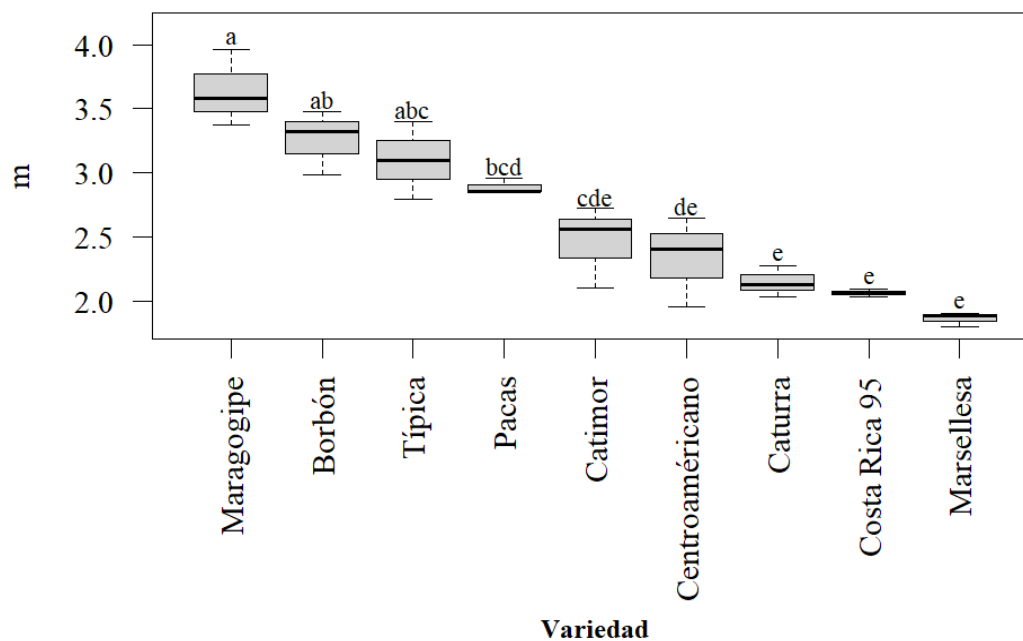


La etapa fenológica de la planta es un factor que afecta el índice de área foliar (IAF) del café, Marín-Garza *et al.* (2018) reporta en Veracruz, México un mayor índice de área foliar (IAF) en etapa de floración a diferencia de la vegetativa y productiva en la variedad Robusta de la especie *Coffea canephora*. Arcila *et al.* (2007) explica que esto se debe a que hojas más grandes protegen mejor las yemas florales del medio hostil que pudiera provocar un abortamiento. Aún hace falta investigar los cambios morfométricos en la hoja durante diversas etapas fenológicas en las variedades de este estudio.

### Altura de los cafetos estudiados

En la figura 1 se observa la altura de cada variedad estudiada, donde la variedad Maragogipe fue significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) a las demás. Caso contrario a lo que reporta Milla *et al.* (2019) en Perú en un sistema agroforestal. Mientras que las variedades de menor tamaño fueron Caturra, Costa Rica 95 y Marsellesa con un promedio de 2.14, 2.06 y 1.86 m respectivamente, estas dos últimas variedades son consideradas de porte bajo característicos de los híbridos de Timor (Julca-Otiniano *et al.*, 2018).

**Figura 1.** *Altura de las variedades de café estudiadas.*



*Fuente: elaboración propia*

Cortina *et al.* (2013) menciona que dentro de todas las variedades de *C. arabica* la variedad Maragogipe destaca por sus dimensiones mayores, el cual es producido por el gen dominante (Mg) sin embargo,

presenta ramificación escasa, el cual podría explicar que no se encontró relación estadística ( $p < 0.05$ ) con el índice de área foliar (IAF) en este estudio. Se encontró relación ( $p < 0.05$ ) entre la altura de la planta (AP) sobre el índice de área foliar (IAF) en los cafetos estudiados. La mayor altura de la planta (AP) se encontró en las variedades tradicionales Maragogipe, Borbón, Típica, y Pacas, sin embargo, estas presentaron menor área foliar (AF) a diferencia de los híbridos de Timor.

### **Tamaño de la rama productiva (TRP), número de frutos por rama (NFR) y número de frutos por planta (NFP) de los cafetos estudiados**

La variedad Pacas fue significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) en el tamaño de la rama productiva (TRP) contrario a lo que se encontró en la variedad Costa Rica 95, la diferencia entre estas variedades es de 31.67 cm, se encontró relación con el índice de área foliar (IAF), ya que entre mayor fue el tamaño de la rama productiva (TRP) menor es índice de área foliar (IAF) como se observa en el cuadro 3. Esto debido a que una rama más larga contiene menos nudos productivos y como consecuente el número de hojas (NH) es menor (González, 2022).

En el Perú, Dilas-Jiménez *et al.* (2022) reportan para las variedades Caturra, Catimor y Marsellesa un promedio del tamaño de la rama productiva (TRP) de 40, 50 y 48 cm, respectivamente, mientras que Julca-Otiniano *et al.* (2018) encontraron en las variedades Caturra, Colombia y Costa Rica 95 una media de 44, 61 y 60 cm respectivamente a su vez en Burundi Ndikumana *et al.* (2021) reportan un promedio de 53.29 y 53.49 en los Borbones Mayaguez (71 y 139) respectivamente, los datos que se reportan en otros países son inferiores a lo que se encontró en este estudio.

En cuanto al número de frutos por rama (NFR) se observa que estadísticamente ( $p < 0.05$ ) la variedad Catimor fue significativamente mayor con un promedio de 172.66, por otra parte, se encontró que los valores menores fueron 67, 65.66, 35.56 y 15.66 correspondientes a las variedades Caturra, Borbón, Pacas y Maragogipe. El menor número de frutos por rama (NFR) se encontró en las variedades tradicionales a diferencia de los híbridos de Timor.

**Cuadro 3.** *Tamaño de la rama productiva (TRP), número de frutos por rama (NFR) y número de frutos por planta (NFP) de las variedades de café estudiadas.*

Variedad (n-3)	Variable (Media ± D. E.)		
	TRP	NFR	NFP
Típica	80.00 ± 13.00 <sup>ab*</sup>	85.33 ± 37.44 <sup>bc</sup>	31266.67 ± 3.12 <sup>a</sup>
Borbón	75.00 ± 10.8 <sup>abc</sup>	65.66 ± 10.96 <sup>c</sup>	17318 ± 3.85 <sup>abcd</sup>
Caturra	61.66 ± 11.71 <sup>abc</sup>	67.00 ± 13.74 <sup>c</sup>	12244.33 ± 2.94 <sup>abcd</sup>
Maragogipe	62.33 ± 2.51 <sup>abc</sup>	15.66 ± 1.52 <sup>c</sup>	580.66 ± 8.84 <sup>d</sup>
Marsellesa	60.00 ± 0.00 <sup>bc</sup>	88.00 ± 12.76 <sup>abc</sup>	5538 ± 4.62 <sup>cd</sup>
Centroamericano	67.66 ± 7.23 <sup>abc</sup>	165.33 ± 36.66 <sup>ab</sup>	19335.33 ± 3.49 <sup>abc</sup>
Catimor	71.00 ± 3.60 <sup>abc</sup>	172.66 ± 69.78 <sup>a</sup>	11702.67 ± 4.33 <sup>bcd</sup>
Costa Rica 95	53.66 ± 7.02 <sup>c</sup>	95.00 ± 5.00 <sup>abc</sup>	24200 ± 4.08 <sup>ab</sup>
Pacas	85.33 ± 10.59 <sup>a</sup>	35.66 ± 15.82 <sup>c</sup>	1306.67 ± 5.27 <sup>d</sup>

\*Medias con una letra común en columna son significativamente diferentes (Tukey p<0.05).

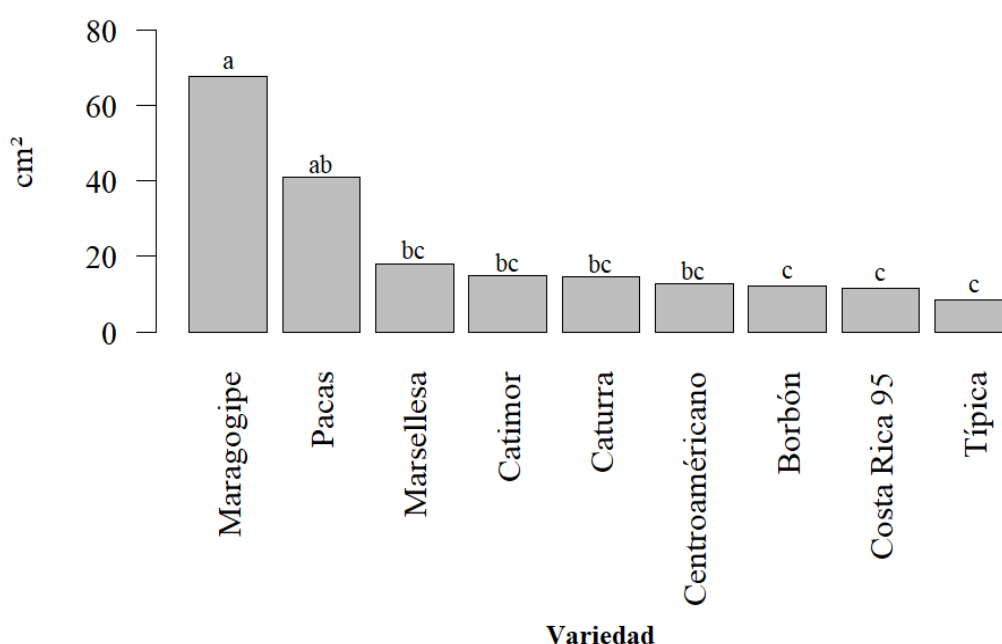
Se encontró que la variedad Catimor quien presentó el mayor número de frutos por rama (NFR) también presentó la mayor área foliar (AF) mientras que las variedades Borbón y Caturra presentaron los índices más bajos en ambas variables. Julca-Otiniano *et al.* (2018) encontró una mayor cantidad de frutos por rama (NFR) en el tercio medio de las variedades Catimor y Colombia, mientras que en la variedad Costa Rica 95 fue en la parte superior, siendo esta variedad la de mayor frutos por bandola contrario a lo que se encontró en este estudio.

Asimismo, se observa en el cuadro 3 que el mayor número de frutos por planta (NFP) corresponde a las variedades Típica y Costa Rica 95, esto puede deberse a que también presentaron el mayor índice de área foliar (IAF), ya que como indica Unigarro-Muñoz *et al.* (2015) la capacidad fotosintética es mayor. Contrario a lo que se encontró en las variedades Pacas y Maragogipe quienes presentaron el menor número de frutos por planta (NFP) así como del índice de área foliar (IAF), número de ramas (NR) y número de frutos por rama (NFR). Cabe mencionar que en el café el abortamiento de frutos ocurre tres meses después de la floración y se debe a bajos niveles de carbohidratos, por lo que este puede ser un factor que merma el potencial de producción de un cafetal (Da Matta *et al.*, 2007).

### Área foliar para producir un fruto (AFPF)

En la figura 2 se observa el área foliar para producir un fruto (AFPF) en  $\text{cm}^2$  en cada una de las nueve variedades de café estudiadas, en donde las variedades Maragogipe y Pacas requieren de 67.56 y 40.81  $\text{cm}^2$  respectivamente. Las variedades Maragogipe y Pacas requieren de mayor foliar para producir un fruto (AFPF) debido a que presentaron el menor número de ramas (NR) además de que Maragogipe es una variedad de frutos muy grandes, por lo que requiere de mayor concentración de compuestos químicos que se producen en las hojas para el óptimo desarrollo de sus frutos (Cortina *et al.*, 2013).

**Figura 2.** Cantidad de área foliar para producir un fruto en las variedades de café estudiadas.



Fuente: elaboración propia.

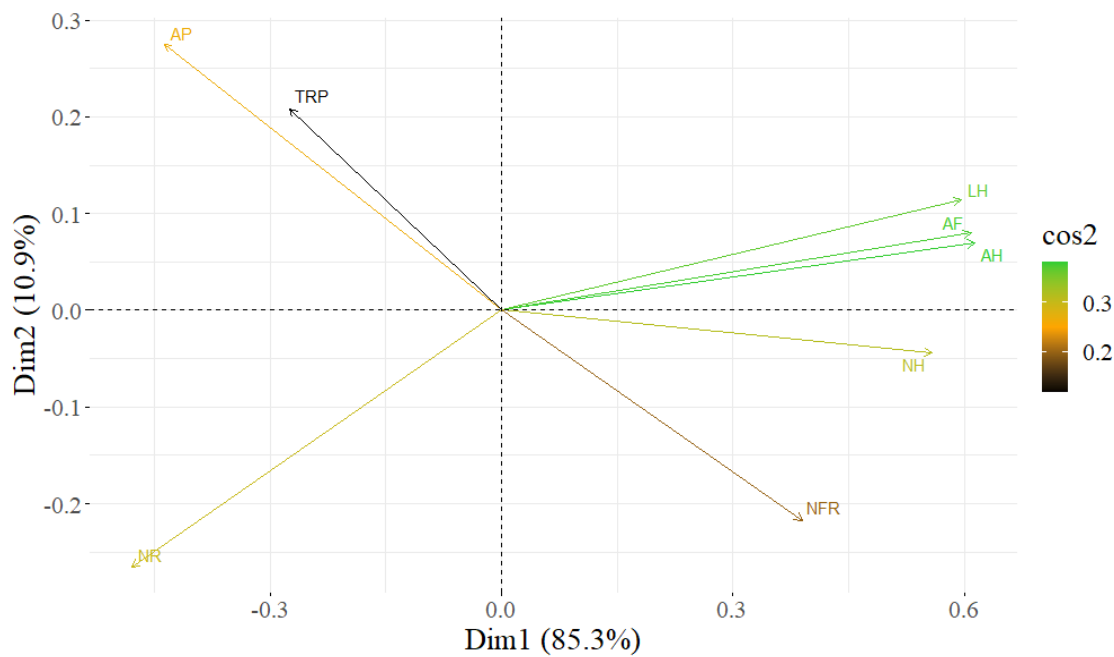
Canell (1995) reporta en la India que las variedades de la especie *C. arabica* requieren de un promedio de 20  $\text{cm}^2$  de área foliar para producir un fruto, en este estudio se encontraron valores menores a excepción de Maragogipe y Pacas. En Colombia, Montoya-Restrepo *et al.* (2017) encontró en la variedad Castillo que por cada 100  $\text{cm}^2$  de área foliar existe un incremento de  $\pm 2.37$  g de café cereza.

### Análisis de componentes principales

El peso que dan los primeros componentes principales es del 96.20% en las variables evaluadas, se observa que el primer componente (Dim 1) muestra el 85.30% mientras que el segundo componente principal (Dim 2) presentó el 10,90% de toda la información que muestran las variables morfométricas

evaluadas, en las nueve variedades de café. Se observa que las variables que más se relacionan entre sí son el área foliar (AF), el largo de la hoja (LH) y el ancho de la hoja (AH) mientras que las variables número de ramas (NR), tamaño de la rama productiva (TRP) y la altura de la planta (AP) muestran una relación negativa (Figura 3).

**Figura 3.** Correlación entre variables morfológicas y los primeros dos componentes principales Dim 1 y Dim 2 en las variedades de café estudiadas.



Fuente: elaboración propia

De acuerdo a los resultados del análisis de correlación de Pearson, se puede observar que el índice de área foliar (IAF) presenta una asociación significativa positiva ( $r=0,850$ ) con el número de frutos por planta (NFP) de manera que entre mayor es el índice de área foliar (IAF) mayor es el potencial productivo de un café, asimismo se encontró que también que el número de ramas (NR) [ $r=0,780$ ] influye positivamente en el índice de área foliar (IAF) en el sentido de que entre menor es la cantidad de ramas mayor se ve afectada esta variable (cuadro 4).

Se encontró una asociación significativa negativa ( $r= -0,250$ ) con la altura de la planta (AP), ya que entre mayor altura presentó un café menor fue el índice de área foliar (IAF), de igual forma entre menor fue el tamaño de la rama productiva (TRP) [ $r= -0,250$ ] los cafetos presentaron mayor índice de área foliar (IAF) por otra parte, también se encontró asociación negativa entre las variables ( $r= -0,030$ )

ancho de la hoja (AH) y área foliar (AF) sobre el índice de área foliar (IAF).

**Cuadro 4.** Análisis de correlación de Pearson en las variedades de café estudiadas.

Variable	LH	AH	AF	IAF	AP	NR	TRP	NFR	NH	NFP	AFPF
<b>LH</b>	1										
<b>AH</b>	0.880**	1									
<b>AF</b>	0.910**	0.970**	1								
<b>IAF</b>	0.080	-0.030**	-0.030**	1							
<b>AP</b>	0.070	-0.080**	0.050	-0.250**	1						
<b>NR</b>	-0.030**	-0.230**	-0.170**	0.780**	0.100	1					
<b>TRP</b>	0.270**	0.130	0.220	-0.010**	0.440	0.080	1				
<b>NFR</b>	0.230	0.480	0.380	0.370	-0.360**	0.020	-0.020**	1			
<b>NH</b>	0.040	0.170	0.090	0.060	-0.510**	-0.440**	-0.070**	0.290	1		
<b>NFP</b>	0.090	-0.040**	-0.010**	0.850**	-0.010**	0.850**	0.120	0.450	-0.280**	1	
<b>AFPF</b>	0.100	-0.020**	0.040	-0.620**	0.450	-0.540**	0.030	-0.620**	0.090	-0.660**	1

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01.

Se observa relación positiva ( $r=0,850$ ) entre el número de ramas (NR) y el número de frutos por planta (NFP) así como entre el largo de la hoja (LH) y el ancho de la hoja (AH) sobre el índice de área foliar (IAF) con  $r=0,910$  y  $0,970$  respectivamente.

Por el contrario, se observa una asociación significativa negativa ( $r=-0,020$ ), ( $r=-0,540$ ), ( $r=-0,620$ ), ( $r=-0,660$ ) en el ancho de la hoja (AH), número de ramas (NR), número de frutos por rama (NFR) y número de frutos por planta (NFP) respectivamente sobre la cantidad de área foliar para producir un fruto (AFPF), de igual forma que entre el ancho de la hoja (AH) [ $r=-0,040$ ], área foliar (AF) [ $r=-0,010$ ], altura de la planta (AP) [ $r=-0,010$ ] y número de hojas (NH) [ $r=-0,280$ ] sobre el número de frutos por planta (NFP), el número de hojas (NH) se ve influenciado negativamente por la altura de la planta (AP) [ $r=-0,510$ ], número de ramas (NR) [ $r=-0,440$ ] y tamaño de la rama productiva (TRP) [ $r=-0,070$ ]

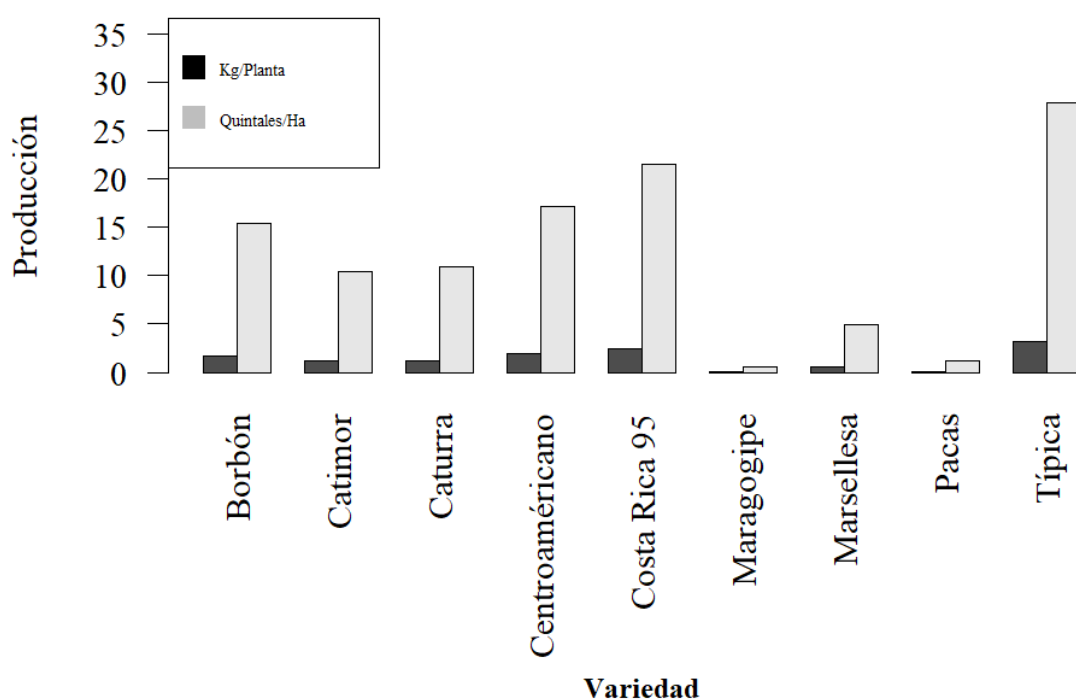
Asimismo, se encontró una asociación significativa negativa ( $r=-0,360$ ) y ( $r=-0,020$ ) entre la altura de la planta (AP) y el tamaño de la rama productiva (TRP) respectivamente sobre el número de frutos por rama (NFR) mientras que el largo de la hoja (LH) [ $r=-0,030$ ], ancho de la hoja (AH) [ $r=-0,230$ ] y área foliar (AF) [ $r=-0,170$ ] sobre el número de ramas (NR) de igual forma se encontró una asociación

significativa negativa ( $r = -0,080$ ) entre la altura de la planta (AP) y el ancho de la hoja (AH) también entre el largo de la hoja (LH) y el tamaño de la rama productiva (TRP) [ $r = -0,270$ ].

### Producción de café cereza de los cafetos estudiados

La producción de café cereza (PCC) por variedad y quintales por hectárea se observa en la figura 4, se encontró relación estadística ( $p < 0,05$ ) con el índice de área foliar (IAF), ya que las variedades Típica y Costa Rica 95 presentaron el promedio más alto por planta con 3.12 y 2.42 kg respectivamente contrario a las variedades Catimor, Marsellesa, Pacas y Maragogipe quienes presentaron un promedio de 1.17, 0.55, 0.13 y 0.05 kg respectivamente siendo estas las menos productivas.

**Figura 4.** Potencial productivo de las variedades de cafeto estudiadas.



Fuente: elaboración propia.

Anzueto (2013) y Manchego *et al.* (1999) citado de Julca-Otiniano *et al.* (2018) mencionan que el cultivar Costa Rica 95 es una variedad muy productiva con un rango de producción de entre 2,225 a 3,089 kg en plantas de 3 años de edad, en este estudio se encontró que fue una de las variedades más productivas. Se encontró diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) en las variedades Costa Rica 95 y Catimor con los datos que se reporta en Junín, Perú en las mismas variedades, siendo superior la variedad Costa Rica 95 de este estudio (Julca-Otiniano *et al.*, 2018). En la finca La Cruz en Nariño, Colombia, Burbano

*et al.* (2022) reporta para la variedad Castillo una producción de café cereza por planta de 1.68 kg, dato inferior a lo que se encontró en las variedades Típica, Borbón, Centroamericano y Costa Rica 95.

En cuanto a la producción de café pergamino por hectárea, Dilas-Jiménez *et al.* (2022) reporta en Lima, Perú, una producción de 18.10 quintales/ha para Marsellesa, 17.66 quintales/ha para Caturra Rojo y 23.19 quintales/ha para Catimor datos superiores a lo que se encontró en las mismas variedades de este estudio a excepción de la variedad Típica. La conversión de café cereza a pergamino es un factor muy importante, ya que de esto depende la rentabilidad del cultivo de café, por lo que es conveniente elegir la variedad que se ajuste a las necesidades (Montilla *et al.*, 2008).

## **CONCLUSIONES**

El índice de área foliar (IAF) influyó directamente sobre la productividad de las variedades de cafetos estudiados de manera que entre mayor fue este mayor fue el potencial de producción asimismo se encontró que influye sobre las características fenotípicas de la planta como la altura de la planta (AP) y tamaño de la rama productiva (TRP) por otra parte, mediante el número de frutos por planta (NFP) y la constante que se utilizó para convertir el índice de área foliar (IAF) de  $\text{cm}^2$  a  $\text{m}^2$  en cada cafeto se creó la base para el desarrollo de una metodología que permita hacer estimación de cosecha de forma precisa y confiable. Las variedades más productivas fueron Típica, Costa Rica 95 y Centroamericano.

El uso de una herramienta para la estimación del área foliar en el cafeto como Bio-Elíptica es fundamental para el diseño de técnicas agronómicas orientadas al mejoramiento de aquellos factores o componentes que presenten mayor incidencia en la producción.

Aún hace falta investigar la influencia de los factores intrínsecos y extrínsecos sobre el área foliar de los cafetos estudiados en la zona de estudio.

## **LISTA DE REFERENCIAS**

- Arcila J., Farfán F., Moreno A., Salazar L.F., Hincapié E. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. *Revista Cenicafé*. 7:144-160.
- Arcila, P. J. y Chávez, B. 1995. Desarrollo foliar del cafeto en tres dimensiones de siembra. *Revista Cenicafé*. 46(1):5-20.



- Burbano, P., Valencia, A. y Lagos-Burbano, T. 2022. Componentes de rendimiento en *Coffea arabica* L. en tres zonas altitudinales del sur de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 13(1):51–62.
- Canell, M. 1975. Crop physiological aspects of Coffee bean yield: a review. *Journal Coffee Research (India)*. 5(1).
- Cortina, H. A., Acuña-Zornosa, J. R., Moncada Botero, M. del P., Herrera Pinilla, J. C., y Molina, D. M. (2013). Variedades de café: Desarrollo de variedades. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Vol. 1, pp. 169–202.
- Da Matta, F., C. Ronchi., M. Maestri y R. Barros. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. *Braz. J. Plant. Physiol.* 19(4):485- 510.
- Escamilla, E., Ruiz, O., Zamarripa, A. y González V. A. 2015. Calidad en variedades de café orgánico en tres regiones de México. *Revista de Geografía Agrícola*. 55:45-55.
- González, A. 2022. Caracterización morfoagronómica de variedades élite de *Coffea arabica* L. seleccionados participativamente con respuesta fenotípica al estrés hídrico. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chiapas, México. 1-107 p.
- González, A. y Alcántara, D. 2022. Calidad organoléptica de variedades tradicionales élite de *Coffea arabica* L. en Chiapas, México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 6(6):5218-5231.
- Ilkaee, M. N., Paknejad, F. Zavareh, M., Ardakani, M. R., Kashani, A. 2011. Prediction model of leaf area in soybean (*Glycine max* L.) *American journal of agricultural and biological sciences*. 6(1):110-113.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Ángel Albino Corzo, Chiapas. 2010 (En línea). Recuperado el 22 de julio del 2023 desde: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/07/07027.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/07/07027.pdf).
- Juárez, T., Maldonado, Y., González Mat, R., Ramírez, M., Álvarez, P., Salazar, R. 2021. Caracterización fisicoquímica y sensorial de café de la montaña de Guerrero. *Revista Mexicana*

*de Ciencias Agrícolas*. 12(6): 1057- 1069.

- Julca-Otiniano, A., Alarcón-Águila, G., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., Viviana Castro-Cepero, V. 2018. Comportamiento de tres cultivares de café (Catimor, Colombia y Costa rica 95) en el valle de El Perené, Junín, Perú. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia*. 34(3): 205-215.
- Marín-Garza, T., Gómez-Merino, F.C., Aguilar-Rivera, N., Murguía-González, J., Trejo-Téllez, L.I., Pastelín-Solano, M.C., Castañeda-Castro, O. 2018. Variaciones en área foliar y concentraciones de clorofilas y nutrimentos esenciales en hojas de café Robusta (*Coffea canephora* P.) durante un ciclo anual. *Revista Agroproductividad*. 11(4): 36-41.
- Milla, M. E., Oliva, S.M., Leiva, S.T., Collazos, R., Gamarra, O.A., Barrena, M.A., Maicelo, J.L. 2019. Características morfológicas de variedades de café cultivadas en condiciones de sombra. *Acta Agronómica*. 68(4): 271-277.
- Misgana, Z., Daba, G. y Debela, A. 2018. Modeling Leaf Area Estimation for Arabica Coffee (*Coffea arabica* L.) Grown at Different Altitudes of Mana District, Jimma Zone. *American Journal of Plant Sciences*. *American Journal of Plant Sciences*. 9: 1292-1307.
- Montilla, J., Arcila, J. Aristizábal, M., Montoya, E., Puerta, G., Oliveros, C. 2008. Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. CENICAFÉ Avances Técnicos 370. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia Caldas, Colombia.
- Montoya, E. C., Hernández, J.D., Unigarro, C. A., Flórez, C. P. 2017. Estimación del área foliar en café variedad Castillo a libre exposición y su relación con la producción. *Revista Cenicafe*. 68(1): 55-61.
- Montoya-Restrepo E., Hernández-Arrefondo J., Unigarro-Muñoz C., Flórez-Ramos C. 2017. Estimación del área foliar en café variedad Castillo a libre exposición y su relación con la producción. *Revista Cenicafe*. 68: 55-61.
- Ndikumana, J., Mwangi, G., Wainaina C. and Obso, T.K. 2021. Agro-morphological characterization of arabica coffee cultivars in Burundi. *Int. J. Plant Breed. Genet*. 15: 14-23.
- Pandey, S. K. y Padilla, H. A. (2011). A simple, cost-effective method for leaf estimation. *Journal of botany*. 1-6.

- Pérez-Fernández, Y., González, M., Escamilla-Robledo, E., Cruz-León, A., Rosas-Brugada, M., Ruiz - Espinoz A, F. 2016. Propuestas para la preservación de la vida en los cafetales en el municipio de Teocelo, Veracruz. *Revista de Geografía Agrícola*. 57: 7-16.
- RStudio Team. 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>.
- Salazar-Arias, J., Orozco-Castaño, F. y Clavijo-Porras, J. 1988. Características morfológicas; productivas y componentes del rendimiento de dos variedades de café: Colombia y Caturra. Bogotá, Colombia: *Revista Cenicafé*. 39(2): 43-57.
- Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2022. Escenario mensual de productos agroalimentarios Dirección de Análisis Estratégico (En línea). Recuperado el 15 de julio del 2023 desde: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/759464/Caf\\_Agosto\\_2022.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/759464/Caf_Agosto_2022.pdf)
- Unigarro-Muñoz, C. A., Hernández-Arredondo, J. D., Montoya-Restrepo, E. C., Medina-Rivera, R. D., Ibarra-Ruales, L. N., Carmona-González, C. Y., & Flórez-Ramos, C. P. 2015. Estimation of leaf area in coffee leaves (*Coffea arabica* L.) of the Castillo® variety. *Bragantia*. 74(4): 412-416.
- Zapata, O., Espinoza, K., Melena, N., Moncayo, J F. 2015. Caracterización agro- morfológica de nueve variedades de café arábigo (*Coffea arábica* L.) en el Cantón Caluma, provincia Bolívar, Ecuador. avances. *Revista de Investigación Talentos*. 2(2): 46-51.
- Zhang, L. and Pan, L. 2011. Allometric Models for Leaf Area Estimation across Different Leaf-Age Groups of Evergreen Broadleaved Trees in a Subtropical Forest. *Photosynthetica*. 49: 219-226.