

# ESTIMACIÓN DEL ÁREA FOLIAR EN CAFÉ VARIEDAD CASTILLO® A LIBRE EXPOSICIÓN Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN

Esther Cecilia Montoya Restrepo\*; Juan David Hernández Arredondo\*\*;  
Carlos Andrés Unigarro Muñoz\*\*\*; Claudia Patricia Flórez Ramos\*\*\*\*

---

**MONTOYA R., E.C.; HERNÁNDEZ A., J.D.; UNIGARRO M., C.A.; FLÓREZ R., C.P. Estimación del área foliar en café variedad Castillo® a libre exposición y su relación con la producción. Revista Cenicafé 68 (1): 55-61. 2017**

Los modelos que describen relaciones alométricas, basados en el conteo de hojas, son métodos no destructivos, fáciles y económicos para estimar el área foliar en árboles. Con este propósito se realizaron mediciones del área foliar, censando las hojas en varios árboles de café Variedad Castillo® (*Coffea arabica* L.) de diferentes edades, estableciendo y validando la relación entre el área foliar de la rama y el número de hojas en ella, a través de una regresión lineal simple, con coeficientes de regresión diferentes de cero, según prueba de *t*, al 5%. Posteriormente, se evaluó la estimación del área foliar a nivel de árbol con respecto a los valores observados. Además, con la información registrada se determinó el número de ramas por árbol en las cuales deben contarse el número de hojas, para estimar el área foliar del árbol, con un error menor del 20%, y se estableció una primera relación entre el área foliar y la producción en café cereza verde, con un coeficiente de determinación del 78,3%.

**Palabras clave:** *Coffea arabica* L., relaciones alométricas, hoja, regresión lineal.

---

## ESTIMATION OF FOLIAR AREA IN THE CASTILLO® VARIETY WITH FREE EXPOSURE AND ITS RELATION TO PRODUCTION

The models that describe allometric relationships, based on leaf counts, are non-destructive, easy and economical methods to estimate leaf area in trees. Measurements of leaf area were made by registering the number of leaves in several Castillo® variety (*Coffea arabica* L.) coffee trees of different ages. The relation between the leaf area of the branch and the number of leaves in it was established and validated through a simple linear regression, with regression coefficients different from zero, according to *t* test, at 5%. Subsequently, the estimation of the leaf area at tree level was evaluated with respect to the observed values. In addition, using the information recorded, the number of branches per tree in which the number of leaves should be counted was determined in order to estimate the leaf area of the tree, with an error of less than 20%, and a first relation between the leaf area and the production in green cherry coffee was established, with a determination coefficient of 78.3%.

**Keywords:** *Coffea arabica* L., allometric relations, leaf, linear regression.

---

\* Investigador Científico III. Disciplina de Biometría. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.

\*\* Coordinador de Innovación Regional. C.I. el Nus. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). San José del Nus, Antioquia.

\*\*\* Asistente de Investigación, Disciplina de Fisiología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

\*\*\*\* Investigador Científico II, Disciplina de Mejoramiento Genético. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

En estudios previos, se ha comprobado que el área foliar (AF) es una variable relacionada directa o indirectamente con los procesos de crecimiento vegetativo, tasa de desarrollo, eficiencia fotosintética, evapotranspiración, uso de nutrientes y agua (6, 16, 17, 30). En el proceso de producción de la planta, la superficie foliar disponible está relacionada con la asimilación del carbono durante su ciclo de vida (2). De acuerdo con Watson (29), es posible expresar por unidad de superficie tanto el rendimiento agrícola como el AF, hecho que hace de esta variable un indicador de la productividad (15). En el cultivo del café las etapas fenológicas, la variedad, el autosombreamiento de las hojas, las técnicas de manejo y la disponibilidad de los recursos ambientales, están relacionados con las variaciones en la dinámica del AF y del número de hojas a través del tiempo (7, 9, 23, 24). Es así como el AF se convierte en un componente importante para la modelación de cultivos (19).

En este contexto, la medición del AF y el conocimiento de su variación temporal en cultivos perennes, es útil para la evaluación técnica de prácticas culturales como podas, fertilización, irrigación y aplicación de productos químicos (15). Las metodologías para medir directamente el AF, particularmente en árboles, son demandantes en tiempo y pueden ser o no destructivas (4, 18). En el primer caso, la escisión de las hojas es necesaria y su medición se realiza por métodos tradicionales como la copia de ésta a papel milimetrado, por fotografía o mediante el uso de un planímetro (14). No obstante, su mayor limitante es la imposibilidad de realizar medidas sucesivas en el tiempo sobre la misma hoja (10, 14). En ciertos casos, por la cantidad de hojas requerida para evaluar, la medición del área superficial resulta costosa tanto en la

inversión del tiempo como en recursos (1). Por su parte, los métodos no destructivos, como el uso de un escáner planímetro portable, son rápidos y precisos (13), pero sólo sustentables para plantas con pocas hojas (21). La estimación fácil, recurrente, económica y precisa del AF es un tema ampliamente discutido (4, 23).

Existen varios modelos para describir las relaciones alométricas, con el fin de estimar la superficie de hojas de café, en función del largo de la nervadura central de la hoja y/o su ancho (1, 3, 5, 22, 25, 28). La principal limitante para esta estimación, es el tiempo requerido para registrar el largo y/o el ancho de cada hoja, dependiendo de la edad de la planta (15). Taugourdeau *et al.* (26), estimaron el área foliar de una planta de café (*C. arabica* L.), multiplicando el número de hojas por el promedio de área foliar evaluado en cada 20ª hoja medida. En árboles de cerezo, Cittadini *et al.* (12), realizaron un proceso similar al contar el total de hojas de la planta y luego multiplicar este valor por el área media de la hoja, la cual se obtuvo a partir de un muestreo del 1% de las hojas contadas por planta, usando la ecuación de Cittadini y Peri (11).

Con el propósito de disponer de una metodología no destructiva, eficiente en términos de costos y de corta duración en la medición, se desarrolló esta investigación con el objetivo de estimar el AF a nivel de árbol, en función del número de hojas presentes en las ramas de café Variedad Castillo® a plena exposición solar. Así mismo, se exploró la relación entre el área foliar y la producción de café cereza y se determinó el número de ramas por árbol, en la cuales debe contarse el número de hojas, para estimar el área foliar del árbol, con un error menor del 20%.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Estación Experimental La Catalina de Cenicafé, ubicada en el municipio de Pereira, departamento de Risaralda - Colombia (4° 44' 36,77"N y 75° 44' 10,91"O) y altitud de 1.331 m.

En lotes de diferentes edades (Tabla 1), se seleccionaron diez árboles (Grupo 1) de café Variedad Castillo® general y Naranjal (*Coffea arabica* L.), en los cuales se contaron y recolectaron las hojas presentes en cada una de las ramas. No se tuvieron en cuenta aquellas ramas sin hojas. A cada hoja recolectada se le midió el área foliar, con un medidor de superficies LI-3300 (LICOR®, Lincoln, Nebraska) y se catalogaron por rama. Como variables de interés se tuvo el número de hojas por rama (NHR) y área foliar observada por rama (AFO).

Con las variables de interés, se obtuvo una expresión para estimar el área foliar (AFE), en función del NHR. Luego, se estimó el coeficiente de regresión lineal para identificar el tipo de relación entre el área foliar observada (AFO) y la estimada (AFE), es decir, para validar si la expresión para determinar AF de la rama en función del número de hojas presentes en ella, sobrestima, subestima o hay una estimación uno a uno con los valores observados de área foliar. La validación consistió en corroborar que el coeficiente de determinación fuera mayor

del 90% y que el coeficiente de regresión fuera igual a uno, mayor a uno o menor que uno, según el estadístico de prueba *t*, al 5%.

Posteriormente, en otros cuatro árboles de lotes independientes (Grupo 2), se tomó la información de las áreas foliares en cada una de las hojas de cada rama (AFO), así como el NHR. Con el NHR se procedió a determinar el AFE mediante la expresión validada, con el fin de verificar si el AFO se encontraba en el intervalo del AFE.

Una vez obtenida y validada la expresión para estimar el área foliar en función del número de hojas en la rama, se determinó bajo la estructura del muestreo sistemático, el número de ramas por árbol para estimar el área foliar de un árbol, con un error menor del 20%.

En la segunda semana del mes de julio de 2015, en la cual estaban formados los frutos que responderían por la producción del segundo semestre del 2015, se seleccionaron 91 árboles de diferentes edades y densidades, en diferentes Estaciones Experimentales de Cenicafé (Tabla 2). A cada uno de los árboles y por cada rama se les registró el número de hojas (NHR) y se retiraron y pesaron todos los frutos (café cereza verde). Con la información del NHR se determinó el AF de cada rama y para cada árbol se obtuvo el área foliar total, como el acumulado de las áreas de las ramas,

**Tabla 1.** Descripción de los lotes donde se seleccionaron los árboles de café para la toma de información del grupo 1.

Lote	Variedad	Densidad (Sitios/ha)	Tallos/sitio	Fecha de siembra	Edad a muestreo
El Rancho	Castillo® General	5.000	2	02/02/2012	2,9
Lote 91 - 1	Castillo® General	5.000	2	15/05/2009	5,6
Cedros	Castillo® General	4.000	1	15/04/2010	4,7
El Fuede	Castillo® Naranjal	5.000	2	07/05/2012	2,6

y a través de un modelo de regresión simple, se estableció la relación entre la producción de café cereza verde y el área foliar estimada.

**Tabla 2.** Número de lotes y número total de árboles de café evaluados en cada estación.

Estación	Número de lotes	Número de árboles
El Rosario	5	28
La Catalina	4	17
La Trinidad	2	4
Naranjal	6	21
Paraguaicito	1	2
Pueblo Bello	1	2
El Tambo	4	16

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de hojas en la rama (NHR) explica el área foliar de la misma (AFE), en un 82% (coeficiente de determinación), bajo la Expresión lineal <1>, con intercepto y coeficiente de regresión diferentes de cero, según estadístico de prueba *t*, al 5%.

$$AFE (cm^2) = -106,57 + 51,45811 \times NHR <1>$$

La relación lineal entre valores del área foliar observada de la rama (AFO) y el área foliar estimada (AFE), mostró un intercepto igual a cero y un coeficiente de regresión igual a uno estadísticamente, según la prueba de *t* al 5%, con un

coeficiente de determinación del 82%. Al ser el intercepto igual a cero, se estimó el coeficiente de regresión pasando por el origen, lo cual mostró una estimación de 0,99999 y un coeficiente de determinación del 96,4%. Este resultado indica que la expresión para estimar el área foliar de la rama, en función del número de hojas en ella, ni sobrestima ni subestima el valor observado.

En la Tabla 3, se ilustra para cada uno de los árboles evaluados en el Grupo 2, el número de ramas con hojas, el promedio del AFO con su respectivo error estándar y el NHR con su medida de variación. El promedio del AFO por rama osciló entre 450,1 y 576,2 cm<sup>2</sup>, con un promedio de número de hojas 12,3 y 12,4 hojas, respectivamente.

En la Tabla 4, se ilustra el área foliar observada y el área foliar estimada para cuatro árboles, con su respectivo intervalo, para un coeficiente de confianza del 95%. En todos los árboles el valor observado se encuentra en el intervalo de la estimación.

Para estimar el área foliar de un árbol, debe tomarse al menos el 43,7% de sus ramas y contar el número de hojas en cada una de ellas. Con este tamaño de muestra se asegura un error de estimación del área foliar del árbol máximo del 20%, con una probabilidad del 95%.

**Tabla 3.** Promedios del área foliar y número de hojas por rama, con su respectivo error estándar (E.E.), en cada uno de los árboles de café evaluados.

Árbol	Número de ramas	Área foliar por rama (AFO)		Número de hojas por rama (NHR)	
		Promedio (cm <sup>2</sup> )	E.E.	Promedio (No.)	E.E.
1	18	567,2	51,1	13,2	0,8
2	18	450,1	76,6	12,3	1,5
3	17	541,9	72,3	12,2	1,3
4	23	576,2	51,1	12,4	0,7

**Tabla 4.** Área foliar estimada y observada por árbol de café, en cm<sup>2</sup>.

Árbol	Área foliar estimada del árbol (AFEA)			Área foliar observada del árbol (AFEA)
	Estimación	LI	LS	
1	10.701,8	8.473,3	12.930,4	10.208,9
2	11.975,4	7.309,5	16.641,3	8.263,8
3	9.560,5	6.617,7	12.503,3	9.212,8
4	12.579,8	10.423,8	14.735,8	13.254,3

LI y LS: Límite inferior y superior, respectivamente, para el intervalo, con un coeficiente de confianza del 95%.

La relación entre la producción de café cereza verde y el área foliar estimada del árbol (la suma de las áreas estimadas de las ramas), indica que por cada 100 cm<sup>2</sup> de AF la producción en el árbol se incrementa en 2,37 g de café cereza verde, de acuerdo con la Expresión <2>. En ésta, se explica la producción de café cereza verde por árbol en un 78,3%, con un coeficiente de regresión diferente de cero, según la prueba *t*, al 5%.

Producción de café cereza verde del árbol  
(g) = 0,0237 \* AFEA (cm<sup>2</sup>) <2>

Donde, AFEA: Área foliar estimada del árbol.

Esta asociación es una primera exploración, sólo válida para el momento en el cual se tomó la información (segundo semestre del 2015) y requiere de una posterior validación. Pocos estudios tratan la relación entre el área foliar y la producción por árbol. Cannell (8), en Kenia reportó que un área foliar mínima de 2.000 mm<sup>2</sup> es necesaria para completar el desarrollo de un fruto de buena calidad. Según Vaast *et al.* (27), no encontraron algún incremento en el tamaño de granos con tasas de área foliar por fruto sobre los 2.000 mm<sup>2</sup>. De acuerdo con Mejía *et al.* (20), el genotipo CU1812 componente de la Variedad Castillo®, se destacó del resto de materiales por presentar mayor AF, lo cual le permitió obtener mayores valores de interceptación de radiación fotosintéticamente activa (RFA) y producción de café cereza.

En conclusión, mediante la expresión  $AFE = -106,57 + 51,45811 \times NHR$  logró determinarse el AF en una rama, con un coeficiente de determinación del 82%. Para determinar el área foliar del árbol, con un error de estimación máximo del 20% y una probabilidad del 95% que ello ocurra, se requiere seleccionar y evaluar el 43,7% de las ramas con hojas. Así mismo, en una primera aproximación, por cada 100 cm<sup>2</sup> de AF, la producción en el árbol se incrementa en 2,37 g de café cereza verde.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Claudia Patricia Valencia Vera, Marcela Mora Agudelo, Mario Franco Arcila, personal técnico de Cenicafé por su valiosa colaboración. A los Coordinadores de las Estaciones Experimentales de Cenicafé, donde fue tomada la información. A Rubén Darío Medina y Carlos Oliveros, por la revisión y aportes en la elaboración de este artículo.

## LITERATURA CITADA

1. ANTUNES, W.C.; POMPELLI, M.F.; CARRETERO, D.M.; DAMATTA, F.M. Allometric model for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). *Annals of applied biology* 153(1):33-40. 2008.
2. ARCILA P, J.; CHAVEZ, B. Desarrollo foliar del café en tres densidades de siembra. *Cenicafé* 46(1):5-20. 1995.

3. AWANTRAMANI, D.A.; GOPALAKRISHNA, H.K. Measurement of leaf area (*Coffea arabica* L.). Indian coffee 29:61-64. 1965.
4. BARBOSAL, J.P.R.A.D.; MARTINS, G.A.; FERREIRA, R.T.; PENNACCHI, J.P.; SOUZA, V.F.; SOARES, A.S. Estimativa do IAF de cafeeiro a partir do volume de folhas e arquitetura da planta. Coffee science 7(3):267-274. 2012.
5. BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA F., L.J. Determinação da área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon amarelo'). Ceres 20(107):44-52. 1973.
6. BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. Scientia agricola 62(4):305-309. 2005.
7. CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. Bragantia 60(1):65-68. 2001.
8. CANNELL M.G. Physiology of the coffee crop. p.108-134. En: CLIFFORD, M.N.; WILLSON K.C. Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage. London : Crom Helm, 1985.
9. CÉSAR, F.R.C.F.; MATSUMOTO, S.N.; VIANA, A.E.S.; SANTOS, M.A.F.; BONFIM, J.A. Morfofisiologia foliar de cafeeiro sob diferentes níveis de restrição luminosa. Coffee science 5(3):262-271. 2010.
10. CHIRINOS, D.T.; CHIRINOS T., L.; GERAUD P., F.; CASTEJÓN, O.; FERNÁNDEZ, R.E.; VERGARA, J.A.; MÁRMOL, L.E.; CHIRINOS T., D. Modelos para estimar el área foliar de melón híbrido 'Durango'. Revista de la facultad de agronomía Universidad del Zulia 14:163-171. 1997.
11. CITTADINI, E.D.; PERI, P.L. Estimation of leaf area in sweet cherry using a non-destructive method. RIA 35(1):143-150. 2006.
12. CITTADINI, E.D.; KEULEN, H. VAN; PERI, P.L.; RIDDER, N. Designing a "target-tree" for maximizing gross value of product in Patagonian sweet cherry orchards. International journal of fruit science 6(3):3-22. 2006.
13. DAUGHTRY, C. Direct measurements of canopy structure. Remote sensing reviews 5(1):45-60. 1990.
14. FALLOVO, C.; CRISTOFORI, V.; MENDOZA, E.; RIVERA, C.M.; REA, R.; FANASCA, S. Leaf area estimation model for small fruits from linear measurements. HortScience 43(7):2267-2267. 2008.
15. FAVARIN, J.L.; NETO, D.D.; GARCÍA, A.G.; VILLA N., N.A.; FAVARIN, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. Pesquisa agropecuária brasileira 37(6):769-773. 2002.
16. GOUDRIAAN, J.; LAAR, H.H. VAN. Modeling potential crop growth processes. Dordrecht : Kluwer academic publishers, 1994. 238 p.
17. HERBERT, T.J. A simple model of canopy photosynthesis. [En línea]. Miami : University of Miami. College of arts and sciences, 2004. Disponible en internet: [http://www.bio.miami.edu/tom/bil160/bil160goods/plantform/13b\\_plantform.html](http://www.bio.miami.edu/tom/bil160/bil160goods/plantform/13b_plantform.html). Consultado en marzo de 2015.
18. ILKAE, M.N.; PAKNEJAD, F.; ZAVAREH, M.; ARDAKANI, M.R.; KASHANI, A. Prediction model of leaf area in soybean (*Glycine max* L.). American journal of agricultural and biological sciences 6(1):110-113. 2011.
19. LIZASO, J.I.; BATCHELOR, W.D.; WESTGATE, M.E. A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. Field crops research 80(1):1-17. 2003.
20. MEJÍA, J.W.; CARTAGENA, J.R.; RIAÑO, N.M. Morphometric and productive characterization of nineteen genotypes from the colombian coffee collection. Revista facultad nacional de agronomía 66(2):7021-7034. 2013.
21. NYAKWENDE, E.; PAULL, C.J.; ATHERTON, J.G. Non-destructive determination of leaf area in tomato plants using image processing. Horticultural science 72(2):225-262. 1997.
22. ORDÓÑEZ, M.; PADILLA R., M.R.; PINEDA, J.A. Determinación del área foliar en cinco cultivares de café (*Coffea arabica*) mediante modelos de regresión. San José de Costa Rica : IICA: PROMECAFE, 2000.
23. PANDEY, S.K.; SINGH, H. A simple, cost-effective method for leaf area estimation. Journal of botany. 2011:1-6. 2011.
24. RAKOCEVIC, M.; ANDROCIO LIF, A. Características morfofisiológicas de *Coffea arabica* L. em diferentes arranjos: Lições de abordagem de plantas virtuais tridimensionais. Coffee science 5(2):154-166. 2011.

25. REY, R.; ÁLVAREZ, P. Evaluación de diferentes ecuaciones de regresión en la estimación del área foliar del café en vivero a partir de sus medidas lineales. *Agrotecnia de Cuba* 23:69–74. 1991.
26. TAUGOURDEAU, S.; LE MAIRE, G.; AVELINOD, J.; JONESE, J.R.; RAMIREZI, L.G.; JARA Q., M.; CHARBONNIERA, F.; GÓMEZ D., F.; HARMANDA, J.M.; RAPIDELJ, B.; VAASTA, P.; ROUPSARDA, O. Leaf area index as an indicator of ecosystem services and management practices: An application for coffee agroforestry. *Agriculture, ecosystems and environment* 192:19-37. 2014.
27. VAAST, P.; GÉNARD, M.; DAUZAT, J. Modeling the effects of fruit load, shade and plant water status on coffee berry growth and carbon partitioning at the branch level. *Acta horticulturae* 584:57-62. 2002.
28. VALENCIA, A. Relación entre el índice de área foliar y la productividad del café. *Cenicafé* 24(4):79-89. 1973.
29. WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. *Advances in agronomy* 4:101-144. 1952.
30. WILLIAMS, L.; MARTINSON, T.E. Nondestructive leaf area estimation of 'Niagara' and 'DeChaunac' grapevines. *Scientia horticulturae* 98:493-498. 2003.