

RELACION ENTRE EL INDICE DE AREA FOLIAR Y LA PRODUCTIVIDAD DEL CAFETO

Por: Germán Valencia A.*

INTRODUCCION

Si la productividad de una planta es el resultado de la actividad de la superficie foliar o sea de la intercepción de la energía lumínica y su conversión por las hojas en energía química, la mejor medida del "capital productivo" de la planta es el área de las hojas; en otras palabras, como la agricultura es básicamente un sistema de explotación de la fotosíntesis y las hojas son las que la realizan, se puede considerar la superficie foliar como la base de los rendimientos tanto biológicos como económicos de cualquier cultivo.

Se ha demostrado (12, 13, 14, 17) que la variación en el Area Foliar es el factor más influyente en las variaciones de materia seca total acumulada por las plantas; al comparar la contribución de la Intensidad de Asimilación Neta (IAN) y el Area Foliar (AF) en la productividad vegetal, se ha visto que las variaciones en AF son más importantes que las diferencias en IAN entre especies y variedades, (6, 13, 14) ó sea que la Intensidad de Crecimiento Relativo (CR) está más afectada por la capacidad fotosintética que por la intensidad con que se realiza ese proceso fotosintético; por tanto, los cultivos que durante más tiempo mantengan un Area Foliar que intercepte la energía solar, serán potencialmente más productivos.

El Indice de Area Foliar (IAF) es la relación que existe entre el Area Foliar de la planta y el área de terreno ocupada por esa planta y, de acuerdo con Watson (13), así como los rendimientos agrícolas se miden en términos de cosecha por unidad de área de terreno, es propio expresar el Area Foliar sobre la misma base de los rendimientos.

Varios investigadores (3, 7, 10, 13, 15) hacen notar que la producción de materia seca o eficiencia fotosintética de un cultivo depende

* Jefe de la Sección de Fisiología Vegetal del Centro Nacional de Investigaciones de Café —CENICAFE—, Chinchiná, Caldas, Colombia.

principalmente de su IAF; sin embargo, se ha sugerido (3) que el IAF es tan importante en los rendimientos obtenidos como la Intensidad de Asimilación Neta (IAN) o sea la diferencia en peso entre lo fotosintetizado y lo perdido por respiración.

Watson (16), en estudios con trigo, encontró que las diferencias en IAN eran debidas a cambios en el autosombreamiento por diferencias en IAF y no a cambios en la fisiología de la hoja. Al autosombreamiento también atribuye Crowther, según Watson (13) sus resultados en algodón, donde al reducir el espacio disminuía la IAN, de donde se desprende que el autosombreamiento no debe ser tan fuerte que algunas hojas lleguen a ser parásitas sobre la planta.

Para Gregory citado por Watson (13) la IAN se relaciona con el IAF y cree que para estimar esa relación se podrían considerar varias densidades de siembra, puesto que hay poca esperanza de que la eficiencia fotosintética pueda aumentar por selección o mejoramiento. Para Alvim (1), las diferencias de productividad encontradas entre las variedades de café Típica, Borbón y Caturra, aparentemente no pueden ser atribuidas a diferencias en IAN.

La utilización del concepto de Índice de Area Foliar en café fué sugerida por Castillo (5) quien encontró la mayor Intensidad de Asimilación Neta en plántulas a plena exposición solar. El estudio de IAF en café fué iniciado por Huerta y Alvim (10), quienes en su trabajo consideran que deben continuarse estas investigaciones para obtener datos más precisos sobre el particular. Con este objeto se realizó una comparación de tres densidades de siembra del cafeto en plantación definitiva a plena exposición solar, buscando el IAF en que la productividad del cafeto fuera máxima. Una vez logrado dicho valor debe tratar de conservarse en un cultivo, bien con podas, fertilización, raleos u otras prácticas culturales que posiblemente tienen la misma base fisiológica, para lograr empíricamente la mejor condición de Area Foliar que aproveche al máximo la energía radiante que incide en un ambiente.

MATERIALES Y METODOS

Para este estudio se utilizó un lote experimental en donde se comparaban las producciones de café de la variedad Caturra con tres densidades de siembra (10.000, 5.000 y 2.500) plantas por hectárea y cuatro replicaciones.

octubre - diciembre 1973

Las parcelas recibieron el fertilizante 12-12-17-2 en dosis de 50 gramos por planta hasta los 18 meses de edad; posteriormente se aplicaron 3 toneladas por hectárea por año, repartidas en 4 aplicaciones.

En cada una de las 12 parcelas, se escogió una planta a la cual se le midió el Area Foliar semestralmente, durante cuatro años a partir de un año y medio de edad. También se registró la producción anual en cada una de dichas plantas.

Para la determinación del Area Foliar por planta se usó la fórmula $Y = 2.02501X - 0.57278$, en la cual $Y =$ logaritmo del área de la hoja y $X =$ logaritmo del largo de la hoja. Esta fórmula la calculó la Sección de Biometría de Cenicafé con base en datos obtenidos por la Sección de Fisiología de este Centro. Mediante este sistema, se midió en el campo el largo de todas las hojas localizadas de un lado de cada una de las ramas del árbol de café y con estas medidas se calculó el Area Foliar de un lado de cada rama: dicha área se multiplicó por dos, ya que según Huerta (9) y Awatramani y Gopalakrishna (2) el Area Foliar de un lado de la rama es, sin mucho error, igual al Area Foliar del otro lado de la misma rama.

Matemáticamente, se estudió la influencia de la densidad de siembra en el Area Foliar y en el Índice de Area Foliar; se analizó también la relación entre estos valores y la producción, para definir el IAF óptimo para café, que es el que permite obtener la máxima cosecha por unidad de área de terreno cultivado.

RESULTADOS

Los valores promedios de Area Foliar y los Índices de Area Foliar obtenidos en los meses de junio y noviembre de los cuatro años de registros, se presentan en la tabla 1.

Las mediciones de Area Foliar por árbol mostraron una tendencia similar en cada año, así: en 1967 hubo efecto lineal de las densidades de siembra, con pendiente positiva; en 1968 no se encontró efecto de los tratamientos; en 1969 y en 1970 hubo respuesta altamente significativa a los tratamientos, con tendencia lineal y pendiente negativa.

A través del tiempo se encontró aumento del Area Foliar por árbol en todos los tratamientos y un incremento mayor de esa área al aumentar la distancia de siembra entre plantas.

TABLA 1 - Area Foliar (AF) por árbol, Índice de Area Foliar (IAF) en junio y noviembre de cuatro años para tres densidades de siembra en café.

Mes	Plantas por hectárea	1967		1968		1969		1970	
		AF(m ²)	IAF	AF(m ²)	IAF	AF(m ²)	IAF	AF(m ²)	IAF
Junio	10.000	4,61	4,61	7,68	7,68	9,46	9,46	9,77	9,77
	5.000	4,35	2,17	10,35	5,17	14,45	7,23	15,98	7,99
	2.500	3,47	0,87	7,96	1,99	14,52	3,63	18,79	4,69
Noviembre	10.000	4,66	4,66	8,01	8,01	7,65	7,65	9,04	9,04
	5.000	4,43	2,22	11,37	5,69	12,79	6,37	14,55	7,27
	2.500	3,55	0,89	8,21	2,05	15,46	3,87	16,12	4,03

octubre - diciembre 1973

Algunas ecuaciones descriptivas de las tendencias encontradas son:

Junio	1969	AF/árbol	=	17.01 — 0.000725 D
Noviembre	1969	AF/árbol	=	18.02 — 0.00105 D
Junio	1970	AF/árbol	=	21.89 — 0.0012 D

(D = número de plantas por hectárea).

El análisis estadístico de los valores de IAF presentó una tendencia a aumentar con el incremento de la densidad de siembra en junio y noviembre de los cuatro años. La tasa de aumento de los distintos tratamientos a través del tiempo no fué constante y en 1970 parece que empezó a decrecer, puesto que los valores de noviembre fueron inferiores a los de junio de ese año.

La producción de café por unidad de superficie, para los tres primeros años y en cada uno de ellos, fué mayor al aumentar la densidad de siembra. En 1970 y en el total de los cuatro años hubo una tendencia cuadrática de aumento de la producción al aumentar la densidad de siembra.

En la tabla 2 se presentan las producciones por parcela y por árbol, registradas por la Sección de Café durante cuatro años.

TABLA 2.— Producción anual promedia (Kg. de café pergamino seco) por parcela de 100 m², y por árbol, para tres densidades de siembra de café.

Densidad de Siembra	1967		1968		1969		1970		
	Ha.	Parc.	Arbol	Parc.	Arbol	Parc.	Arbol	Parc.	Arbol
10.000		90	0.90	108	1.08	96	0.96	81	0.81
5.000		42	0.85	84	1.68	88	1.76	78	1.57
2.500		19	0.75	21	0.83	56	2.26	71	2.86

Las producciones por árbol no se analizaron matemáticamente, pero se puede apreciar (tabla 2) que en 1969 y 1970 éstas son mayores al disminuir al densidad de siembra.

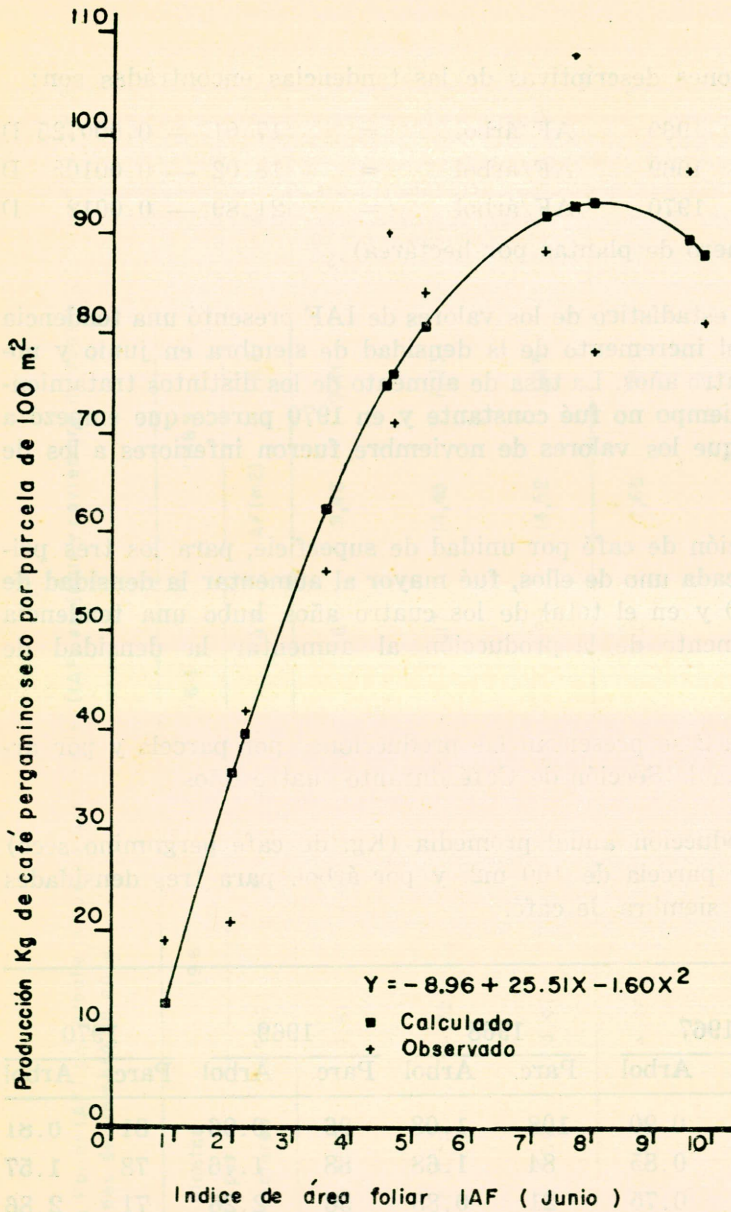


FIGURA I.- Ecuación de regresión de la producción por parcela (Y) sobre el índice de área foliar en Junio (X) y valores observados.

Efectuado el análisis de correlación entre AF y cosecha y entre IAF y cosecha, se obtuvieron en general, valores altos de los coeficientes de correlación.

Fueron significativos los coeficientes de correlación correspondientes a: AF en junio/67 y producción de café cereza por parcela en 1968; IAF en junio y en noviembre de 1969 y la producción de café cereza por árbol en 1970; IAF en junio y noviembre de 1969 y la producción de café cereza por parcela en 1970.

En el estudio de los coeficientes de regresión lineal, fueron significativos el IAF de junio y de noviembre de 1969 sobre la producción por árbol en 1970 y el IAF de noviembre de 1969 sobre la producción por parcela en 1970.

El coeficiente de correlación lineal entre las variables IAF en junio (X) y la producción por parcela en su respectivo año (Y), fué altamente significativo; la regresión lineal fué significativa al nivel de 5 por ciento. La regresión cuadrática dió un mejor ajuste con los datos observados, que la regresión lineal.

La ecuación de regresión de segundo grado obtenida fue la siguiente:

$$Y = -8.96 + 25.5X - 1.60X^2$$

En la figura 1 está representada esta ecuación y se señalan los puntos observados en el experimento. La primera derivada de esta ecuación da 7,97 que es el valor de IAF con el que se lograría la mayor producción de café.

DISCUSION

Aunque la tendencia lineal positiva y significativa del Area Foliar por efecto de las densidades de siembra en 1967 no tiene una explicación clara, la falta de efecto de los tratamientos en 1968 y la tendencia lineal con pendiente negativa en 1969 y en 1970 indican que hasta noviembre de 1968, tres años después de la siembra, no había competencia por luz entre las plantas de los distintos tratamientos.

Esta falta de competencia se aprecia también en el menor incremento del Area Foliar a través del tiempo al aumentar la densidad de

siembra y en las producciones por árbol, pues en 1967 y 1968 estas fueron sensiblemente iguales, mientras que en 1969 y 1970 los rendimientos por árbol fueron mayores al disminuir la densidad de siembra.

El Índice de Area Foliar por su parte aumentó con el incremento de la densidad de siembra en junio y en noviembre de cada año.

Al comparar las épocas de registro de área de las hojas se encontró que en 1969, las densidades de 5.000 y 10.000 plantas por hectárea tuvieron en noviembre menor Area Foliar por árbol y menor IAF que en junio. Y en noviembre de 1970, en todas las densidades de siembra hubo menor Area Foliar por planta y menor IAF que en junio de ese año.

Estas disminuciones de Area Foliar y de IAF pueden, en parte, ser debidas a defoliaciones provocadas: a) en la recolección de la cosecha de café, que se efectúa entre octubre y noviembre principalmente; b) por deficiencias nutricionales a causa de las producciones relativamente altas por parcela en esos años; y c) al autosombreamiento y al inferior número de horas sol que en 1969 y 1970 fueron respectivamente de 294 y 473 horas sol menos que el promedio de 20 años para la región en que se efectuó el ensayo (tabla 3), lo cual hace menor la intensidad del proceso fotosintético y por tanto, el crecimiento vegetativo se reduce y la formación de nuevas hojas no es lo suficientemente abundante que alcance a sustituir las hojas perdidas.

TABLA 3—. Horas sol por año en Naranjal. Promedio de 20 años de registros, total en cada año del experimento y diferencias con el promedio*.

Año	Total horas sol	Diferencias con el promedio
1967	1.848,9	— 125,8
1968	1.786,8	— 187,8
1969	1.670,8	— 293,8
1970	1.501,6	— 472,9
Promedio de horas sol en 20 años (1956-1971) =		1974,6

* Datos suministrados por la Sección de Agroclimatología de CENICAFE.

Con respecto al autosombreamiento, Harper (8) dice que la menor producción de papa en parcelas con alto nivel de fertilización, se puede explicar por la producción de excesivo follaje que sombrea las hojas bajas a tal punto que éstas no pueden producir los carbohidratos suficientes para sus propias necesidades de respiración; Stern y Donald (11) anotan que la intensidad de producción de materia seca crece con el aumento de IAF hasta un valor máximo y luego declina, presumiblemente por el auto-sombreamiento en que la fotosíntesis es menor que la respiración.

Aunque no todos los coeficientes de correlación para cada año entre Area Foliar y cosecha y entre IAF y cosecha alcanzaron a ser significativos por los pocos grados de libertad disponibles, si mostraron el grado de dependencia que la producción tiene del Area Foliar.

A pesar de que en cada época de registro del Area de las hojas se obtuvo un aumento del IAF en cada tratamiento de densidad de siembra, a este aumento del IAF no siempre correspondió aumento de la producción de café por parcela. Esto explica el mejor ajuste de los datos obtenidos con la ecuación de regresión de segundo grado (figura 1) que con la ecuación de regresión lineal.

En las condiciones del experimento y haciendo abstracción de los años y de los tratamientos de distancia de siembra, la ecuación de regresión del IAF en junio y la producción de la parcela respectiva en el mismo año (figura 1) permite anotar que las mayores producciones de café se logran con un valor de IAF de 7,97 en junio, el cual sería el IAF óptimo. Este valor es comparable con los valores de IAF de 8 a 10 obtenidos por Huerta y Alvim (10), con los cuales lograron aumento de la productividad del café.

Valores cercanos a este IAF óptimo se alcanzaron en la densidad de 10.000 plantas por hectárea a los tres años después de la siembra y en la densidad de 5.000 plantas/Ha. a los cuatro años después de la siembra.

El IAF óptimo obtenido en este experimento puede cambiar con las condiciones de iluminación para una plantación, pues según Blackman y Black (4) el IAF óptimo varía con la intensidad de luz y de acuerdo con Fernández (6) al aumentar la intensidad de luz aumenta el IAF óptimo por cuanto se aumenta la intercepción de luz y la fotosíntesis neta.

Es posible que se logren valores similares al IAF óptimo obtenido a los tres años después de la siembra, utilizando densidades de 10.000

plantas/Ha., con distribuciones diferentes a las empleadas aquí, como por ejemplo, dos plantas por sitio a 1,42 x 1,42 metros o una planta por sitio a 1,10 metros al triángulo.

Una vez logrado el IAF óptimo en una plantación de café debe tratar de conservarse con fertilizaciones, raleos, podas, etc. según el caso.

RESUMEN

En el Centro Nacional de Investigaciones de Café en Chinchiná, Colombia se hizo un experimento con el objeto de buscar el Índice de Area Foliar (IAF = Area Foliar/area del terreno) en el que fuera máxima la productividad del cafeto.

Las mediciones periódicas para el cálculo del Area Foliar y los registros de cosecha de café se efectuaron en árboles de un lote experimental que comparaba la producción de café en parcelas con varias densidades de siembra (2.500 — 5.000 y 10.000 árboles por hectárea). Desde junio de 1967 hasta noviembre de 1970 se hicieron anualmente dos registros de Area Foliar y se llevaron datos de cosecha.

El Area Foliar y el IAF aumentaron en todos los tratamientos a través del tiempo, pero en 1969 y 1970 ese incremento fué menor al aumentar la densidad de siembra.

La producción de café por unidad de superficie en los tres primeros años fué mayor al aumentar la densidad de siembra. En 1969 y 1970 la producción por árbol fué mayor al aumentar la densidad de siembra.

Haciendo abstracción de años y de densidades de siembra, los valores promedios de Area Foliar en junio (X) y la producción por parcela en su respectivo año (Y), se ajustaron mejor a la ecuación de regresión $Y = -8,96 + 25,51X - 1,60X^2$, cuya derivada permite obtener un IAF óptimo de 7,97, el cual para café Caturra en las condiciones del experimento se puede alcanzar a los tres años después de la siembra con 10.000 plantas por hectárea ó a los cuatro años después de la siembra con 5.000 plantas por hectárea. Una vez logrado este IAF debe tratar de conservarse mediante fertilización, raelo o poda.

BIBLIOGRAFIA

1. ALVIM, P. de T. Fisiología del crecimiento y de la floración del cafeto. Café (Turrialba) 2 (6): 57-64. 1960.

octubre - diciembre 1973

2. AWATRAMANI, N. A. and GOPALAKRISHNA, H. K. Measurement of leaf area in coffee. I. *Coffea arabica*. Indian Coffee 29 (1): 25-30. 1965.
3. BLACK, J. N. and WATSON, D. J. Photosynthesis and the theory of obtaining high crop yields, by A. A. Niciporovic. An abstract with commentary. Field Crop Abstracts 13 (3): 169-175. 1960.
4. BLACKMAN, G. E. and BLACK, J. N. Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. XII The role of the light factor in limiting growth. Annals of Botany (n. s.) 23 (89): 131-145. 1959.
5. CASTILLO Z., J. Ensayo de análisis de crecimiento en café. Cenicafé (Colombia) 12 (1): 1-16. 1961.
6. FERNANDEZ M., J. E. Algunos conceptos eco-fisiológicos relacionados con la productividad vegetal. Revista de la Facultad de Agronomía (Venezuela) 5 (1): 98-116 1968.
7. GREGORY, F. G. Nature 166: 671-672. 1950. (Citado por Watson, D. J., ver cita no. 13).
8. HARPER, P. Optimum leaf area index in the potato crop. Nature 197 (4870): 917-918. 1963.
9. HUERTA S., A. Comparación de métodos de laboratorio y de campo para medir el área foliar del cafeto. Cenicafé (Colombia) 13 (1): 33-42. 1962.
10. ———y ALVIM, P. de T. Índice de área foliar y su influencia en la capacidad fotosintética del cafeto. Cenicafé (Colombia) 13(2): 75-84. 1962.
11. STERN, W. R. and DONALD, C. M. Relationship of radiation, leaf area index and crop growth-rate. Nature 189 (4764): 597-698. 1961.
598
12. WALLACE, D. H. and MUNGER, H. M. Studies of the physiological basis for yield differences. I. Growth analysis of six dry bean varieties. Crop Science 5 (4): 343-348. 1965.
13. WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. Advances in Agronomy 4: 101-144. 1952.
14. ———The dependence of net assimilation rate on leaf-area index. Annals of Botany (n. s.) 22 (85): 37-54. 1958.
15. ——— and FRENCH, S. A. W. An attempt to increase yield by controlling leaf-area index. Annals of Applied Biology 50 (1): 1-10. 1962.
16. ———, THORNE, G. N. and FRENCH, S. A. W. Analysis of growth and yield of winter and spring wheats. Annals of Botany (n. s.) 27 (105): 1-22. 1963.
17. WILLIAMS, W. A., LOOMIS, R. S. and LEPLEY, C. R. Vegetative growth of corn as affected by population density. II. Components of growth net assimilation rate and leaf-area index. Crop Science 5 (3): 215-219. 1965.