

DESARROLLO DEL CAFETO

Toda planta requiere una determinada cantidad de energía para completar su desarrollo. Una de las maneras indirectas de medir esta energía es mediante la utilización del concepto de Unidades Térmicas, que equivalen a la suma de las temperaturas medias menos 10°C, durante el período que se desee estudiar.

Para la variedad Caturra, se relacionaron la temperatura media y las unidades térmicas, con el número de días transcurridos entre la siembra y la primera recolección de café y se encontró la expresión (47):

$$y = 1.333 - 38,35 x$$

la cual está representada en la Figura 6. Al relacionar los valores anteriores con las unidades térmicas, se encontró la ecuación:

$$N = 628 \log UT - 1809$$

representada en la Figura 7, según la cual el café necesita 5.600 ± 520 UT entre la siembra y la primera recolección de café, y requiere 2.500 UT desde la floración hasta la maduración de la cereza, con una disminución de 38 días por cada grado centígrado de aumento de la temperatura media.

En la zona cafetera central colombiana, a altitudes superiores a 1.850m en plantas de café en almácigo ocurren frecuentemente problemas de enanismo, clorosis y malformación de las plántulas.

Experimentalmente se ha comprobado (51), que la altitud afecta el crecimiento del café en almácigo tanto al sol como a la sombra como se ve en la Tabla 2, en la que se aprecia que a medida que se aumenta la altitud del sitio del almácigo se hace menor la altura de la plántula, el peso seco de su parte aérea y el número de hojas.



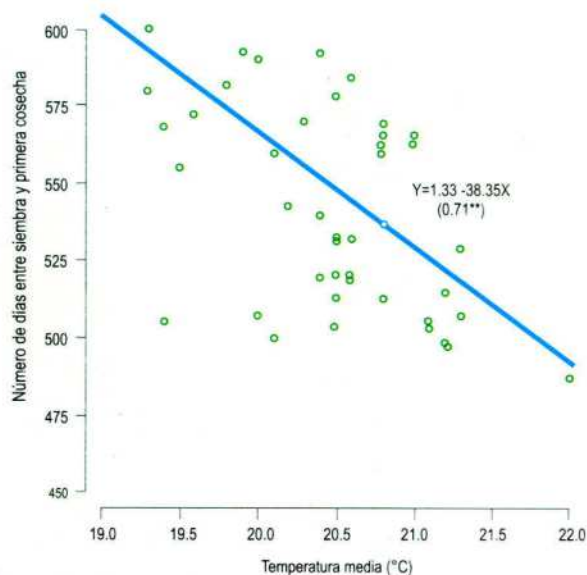


Figura 6. Relación entre el número de días transcurridos desde la siembra y la primera recolección y la temperatura media. (47)

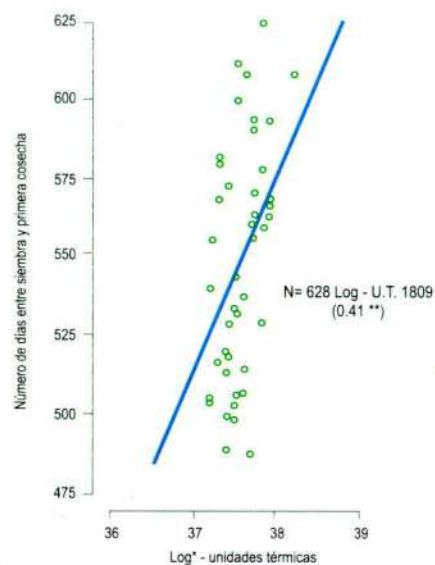


Figura 7. Relación entre el número de días transcurridos entre la siembra y la primera recolección y las unidades térmicas. (47).

TABLA 2. Altura, peso seco y número de hojas por planta de café de almácigos en distintas altitudes (51).

Altitud m	Altura (cm)		Peso seco (g)		Número hojas	
	sol	sombra	sol	sombra	sol	sombra
1.050	22	32	3,9	5,7	18	23
1.250	24	27	4,6	4,5	23	21
1.550	17	22	3,3	4,1	18	20
1.850	15	16	2,5	2,5	17	16
2.050	9	9	1,0	1,2	14	14

Aunque el fenómeno expuesto parece debido principalmente al efecto de la menor temperatura, no debe descartarse algún grado de influencia de la mayor proporción de luz ultravioleta que se encontraría a mayores altitudes, como parece haber comprobado Arcila (6) al usar techo de vidrio en su estudio (Tabla 3).

De acuerdo con los resultados expuestos, se debe recomendar el uso de sombra en los almácigos cuando éstos se localicen a altitudes entre 1550 y 1850m; a altitudes inferiores a 1550m no es necesario el umbráculo, y a altitudes superiores a 1850m, no deben establecerse los almácigos.

TABLA 3. La luz ultravioleta y el desarrollo de plantas de café en almácigo (6).

Variable	Promedios registrados		
	Al sol	Bajo techo de vidrio	50% de sombra
Altura cm	10,7	17,3	11,1
Área foliar cm ²	162,1	300,9	157,6
Número de hojas	16,0	21,0	14,0
Peso fresco parte aérea g	6,4	12,1	6,0
Peso fresco raíces g	5,2	8,0	3,6

En Cenicafé (19) se ha encontrado que la floración del café aumenta en cantidad con el aumento de la intensidad de luz en el cultivo.

En El Salvador (73) se encontró que los cafetos bajo sombra en comparación con los cultivados a plena exposición solar, son más altos, más delgados y sus ramas laterales son más largas, tienen menor número de ramas primarias, menor número de hojas y estomas más pequeños, menor número de ramas secundarias, menor número de yemas florales, menor número de frutos. Todo este conjunto de características le da al arbusto de café poca diferenciación de tejidos, lo que equivale a una condición desfavorable para rendir altas producciones.

CONVERSIÓN DE FLORES A FRUTOS

No todas las flores que se forman en el café se convierten en frutos; En Colombia (6) se ha reportado un porcentaje de cuajamiento de 30 a 40% aproximadamente.

De los resultados del experimento FF-48 de la Sección de Fitofisiología de Cenicafé (27), se presentan en la Tabla 4, el total de flores abiertas en 64 ramas primarias de 16 árboles en el período enero a julio de 1980, así como el total

de frutos maduros en aquellas mismas ramas en el período julio a diciembre de 1980 y el porcentaje de flores perdidas. Esta última columna contiene cifras tan altas que justifican plenamente estudios básicos para conocer las causas de aquella pérdida con el fin de tratar de aumentar la producción de café sin aumentar los costos de producción ni el área sembrada con café.

DINÁMICA DEL DESARROLLO FOLIAR DEL CAFETO

Para la optimización de las prácticas culturales, así como para un económico, adecuado y oportuno control de plagas y enfermedades foliares, es necesario el conocimiento de la dinámica del desarrollo foliar del café y los factores que la condicionan.

CRECIMIENTO DE LA HOJA

En Cenicafé se estudiaron las tasas de crecimiento de las hojas en plántulas de café en almácigo (6) y se encontró que en la variedad Caturra, las hojas alcanzaban su máximo desarrollo entre 20 y 25 días después de su aparición. El primer par de hojas verdaderas aparece a los 75 días después de la germinación.

TABLA 4. Número de flores abiertas, número de frutos y porcentaje de pérdida de flores. Experimento FF-48. Cenicafé (27).

Tratamientos (ramas preseleccionadas)	Total flores abiertas	Total frutos maduros	% de pérdidas
1	2.730	1.773	35
2	3.100	1.614	48
3	2.462	1.307	47
4	2.489	1.542	39
5	2.153	1.162	46
6	2.602	1.463	44
7	2.516	1.505	40
8	2.739	1.596	42
9	3.089	1.625	47

En ramas primarias de árboles adultos, un nuevo par de hojas aparece cada 15 ó 20 días aproximadamente (6) y su crecimiento sigue una curva correspondiente a la siguiente ecuación, representada en la Figura 8.

$$y = (a + bc^x)^{-1}$$

donde y : incremento en área foliar

x : tiempo en días

1/a : crecimiento máximo

a,b,c : constantes

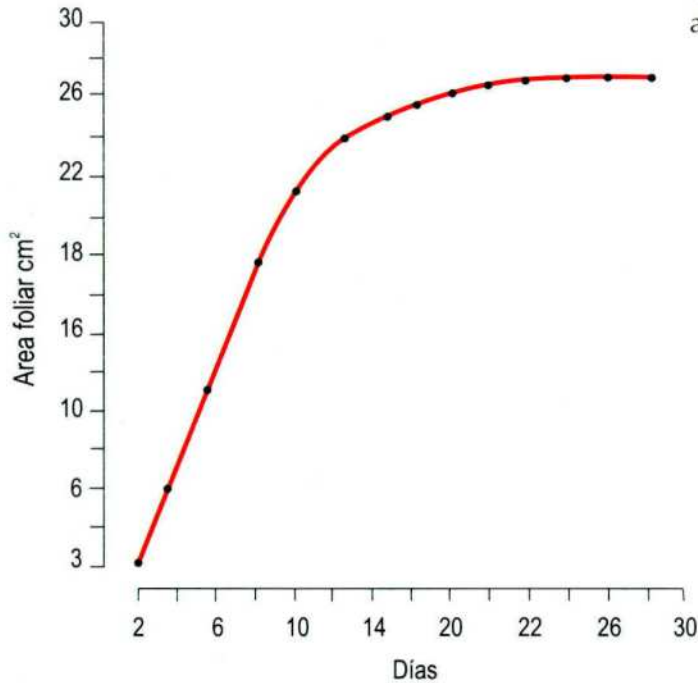


FIGURA 8. Curva de crecimiento de la hoja del cafeto. (6).

FORMACIÓN DE HOJAS NUEVAS

La formación de hojas nuevas en el cafeto ocurre todo el año pero hay épocas en que los factores climáticos, como la disponibilidad de agua en el suelo y el brillo solar son más favorables para una mayor formación de hojas. En Cenicafé hay dos épocas en el año de mayor formación de hojas: entre febrero y abril y entre julio y agosto, con mayor formación de hojas en el primer período. Aparentemente, como se ve en la Figura 9, hubo una tendencia a disminuir el ritmo de formación de hojas con el transcurso del tiempo en

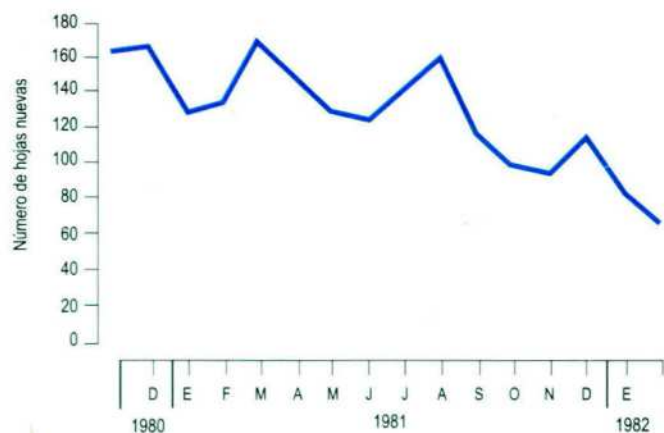


FIGURA 9. Épocas de formación de hojas en el cafeto. Chinchiná. (6).

las ramas primarias, pero lo que ocurrió fue una compensación por la aparición de ramas secundarias en aquellas.

La expansión foliar completa de una hoja para alcanzar un promedio del área de 25 centímetros cuadrados, considerando una sola de las caras de la hoja, necesita seis semanas en octubre ó 10 semanas en junio.

CANTIDAD DE HOJAS POR ÁRBOL

El número de hojas en cada café varía según la edad de la planta, según la densidad de siembra o número de plantas por unidad de superficie y depende de que el cultivo esté a plena exposición solar o bajo sombra, como se muestra en la Tabla 5. La información es importante

para la evaluación del umbral de daño económico debido a daños causados por plagas o enfermedades foliares del cultivo y para determinar el momento oportuno de controlarlas, así como la cantidad y tipo de biocida por aplicar.

DURACIÓN Y CAÍDA DE HOJAS

Dentro de la dinámica del desarrollo foliar del café se sabe que la duración de la hoja se reduce con la sequía y con las altas temperaturas, factores con los cuales también se reduce el nivel de carbohidratos en la planta; estos efectos pueden ser más drásticos durante la maduración de la cosecha.

En la India (9), bajo sombra natural las hojas del café duran entre 0,5 y 20,5 meses y el

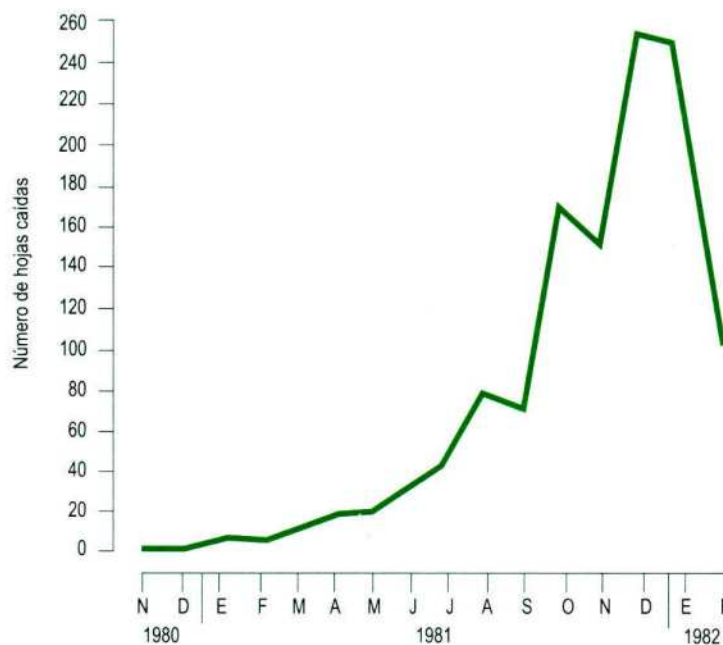
TABLA 5. Número de hojas en plantas de la variedad Caturra, según su edad, el número de plantas por hectárea y la condición de sol o sombra (6).

Número de plantas/ha	Edad (años)	Número de hojas por árbol
10.000	1	440
	2	1.840
	3	3.080
	4	3.800
	5	3.920
5.000	1	440
	2	1.760
	3	4.120
	4	5.800
	5	6.400
2.500	1	440
	2	1.400
	3	3.200
	4	6.000
	5	7.600
Cultivo a la sombra	2	942
Cultivo al sol	2	1.916

25% de ellas se cae entre 3 y 6 meses de edad y en Tanganyika (13) se ha encontrado una duración de 0,5 a 10 meses. La mayor frecuencia de duración de las hojas en Chinchiná fue de 10 a 15 meses en un cafetal bajo sombra y de 9 a 14 meses en cafetales a pleno sol y la época de mayor caída natural de las hojas coincide con la época de cosecha principal, es decir, entre octubre y diciembre (Figura 10).



FIGURA 10. Caída de hojas en una plantación de café. (6).



ÁREA FOLIAR

Si la productividad de una planta es el resultado de la interceptación que hacen las hojas de la energía lumínica y su conversión en energía química, la mejor medida del "capital productivo" de la planta es el área foliar, en otras palabras, si la agricultura es básicamente un sistema de explotación de la fotosíntesis y las hojas son las que captan la radiación solar, se puede considerar la superficie foliar como la base de los rendimientos tanto biológicos como económicos de cualquier cultivo.

Está demostrado que la variación en el área foliar es el factor más influyente en la variación de la materia seca acumulada por las plantas; por tanto, los cultivos que mantengan por más tiempo un área foliar activa, serán potencialmente más productivos.

En cultivos perennes como el cafeto, es muy importante conocer la cantidad de follaje o área

foliar necesaria para satisfacer la demanda de fotosintetizados de todas y cada una de las partes de la planta, con el fin de racionalizar el manejo del cultivo mediante podas, fertilizaciones, raleos, control de plagas y/o enfermedades foliares.

Existen varios métodos para determinar el área foliar. En Cenicafé (43) se ensayaron varios métodos, dos de laboratorio que implicaban la recolección del material en el campo para llevarlo al laboratorio, lo que significaba destrucción del material y tres métodos de campo, en los que no había necesidad de retirar o desprender las hojas de la planta.

Previamente se había comprobado que no había diferencias entre las áreas de hojas situadas en el mismo nudo y que el área foliar de un cafeto podía obtenerse midiendo el área de las hojas de un lado de cada rama, para multiplicar por dos el resultado (9, 43).

Posteriormente se comprobó que existe una relación funcional real entre el logaritmo del área

de la hoja de café y el logaritmo del largo de la misma hoja, relación que podía considerarse la misma para las variedades, Típica, Borbón, Caturra y Mundo novo. La ecuación de regresión que más se ajustaba a los datos obtenidos fue la siguiente:

$$Y = 2,02501 X - 0,57278$$

Donde:

Y = log. del área de la hoja

X = log. De la longitud de la hoja

Mediante este sistema, en el campo únicamente era necesario medir la longitud de las hojas de un lado de cada una de las ramas del árbol de café y los cálculos se multiplicaban por dos.

La metodología que se acaba de describir era necesaria en café para la determinación del índice de área foliar óptimo, para determinar la cantidad de oxiclورو de cobre necesario en el control de la roya, estimar los daños ocasionados por plagas o enfermedades foliares, el área foliar por grano y por kilogramo de café.

ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR ÓPTIMO

Para la determinación del Índice de Área Foliar (IAF), se utilizó un lote en que se comparaban las producciones de café variedad Caturra con tres densidades de siembra: 10.000, 5.000 y 2.500 plantas por hectárea; en cada una de las plantas escogidas se hicieron mediciones semestrales del área foliar a partir de un año y medio de edad de la plantación y durante cuatro años.

Se estudió la influencia de los tratamientos de densidad de siembra en el área foliar y en el índice de área foliar y se analizó también la relación entre estos valores y la producción de café para definir el óptimo IAF, que corresponde al

área foliar por unidad de área de terreno cultivado, en que la producción es máxima.

Entre las variables IAF en junio de cada año (x) y la producción por parcela en su respectivo año (y), haciendo abstracción de los años y de los tratamientos de distancias de siembra; la regresión cuadrática dio un mejor ajuste con los datos observados que la regresión lineal. La ecuación de regresión de segundo grado obtenida fue la siguiente:

$$Y = - 8,96 + 25,51x - 1,60x^2$$

La Figura 11 representa esta ecuación; en ella se señalan también los puntos correspondientes a las observaciones en el experimento (89). La primera derivada de esta ecuación da un valor de 7,97 correspondiente al valor del IAF óptimo para la producción de café en las condiciones del experimento, cifra que significa que se requieren por aproximación, 8 metros cuadrados

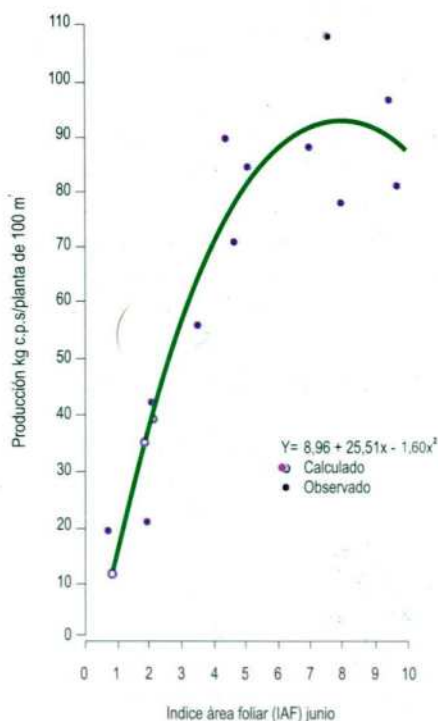


Figura 11. Relación entre la producción y el índice de área foliar en junio. (6).

de área foliar (área de la haz o del envés de la hoja) por cada metro cuadrado de terreno. Una vez alcanzado este índice por el cultivo, debe tratar de conservarse mediante fertilizaciones, raleos, podas, etc..

En la Figura 12 se muestra el IAF a través del tiempo para cada una de las distancias del experimento de que se viene hablando, así como el IAF óptimo; se aprecia como con la mayor densidad de siembra se alcanza el óptimo a los tres años de edad, mientras que para 5.000 plantas/hectárea, éste se logra a los cinco años y más tardíamente con la menor densidad.

ÁREA FOLIAR Y PRODUCCIÓN DE CAFÉ

Entre los estimativos de área foliar necesaria para determinada producción de café se tienen los siguientes: Cannell (13), en India, encontró que por cada fruto de café se necesitaban 20 centímetros cuadrados de hoja. Vasudeva y Ratageri (116) en cambio dicen que son necesari-

os 17,7cm² y Valencia (89), en Cenicafé, encontró que si una hoja de café tiene en promedio un área de 25cm² y un grano de café pergamino seco pesa 0,22g, y necesita 1,6 hojas para su formación (36cm² de hoja por cada cereza madura), se estima que es necesario disponer, cinco meses antes de la maduración de la cosecha, de 18,5m² de hojas o de 7.400 hojas para producir cinco kilogramos de café cereza (un kilogramo de café pergamino).

PRODUCCIÓN DE CAFÉ POR HECTÁREA Y POR PLANTA

La Sección de Biometría de Cenicafé, con la información obtenida en varios ensayos experimentales, estudió la relación entre la densidad de siembra del cafetal y la producción de café por hectárea y por planta. Los resultados obtenidos se presentan gráficamente en la Figura 13, en la cual se observa que al aumentar el número de plantas por hectárea la producción de café por planta disminuye, pero por unidad de superficie aumenta (6).

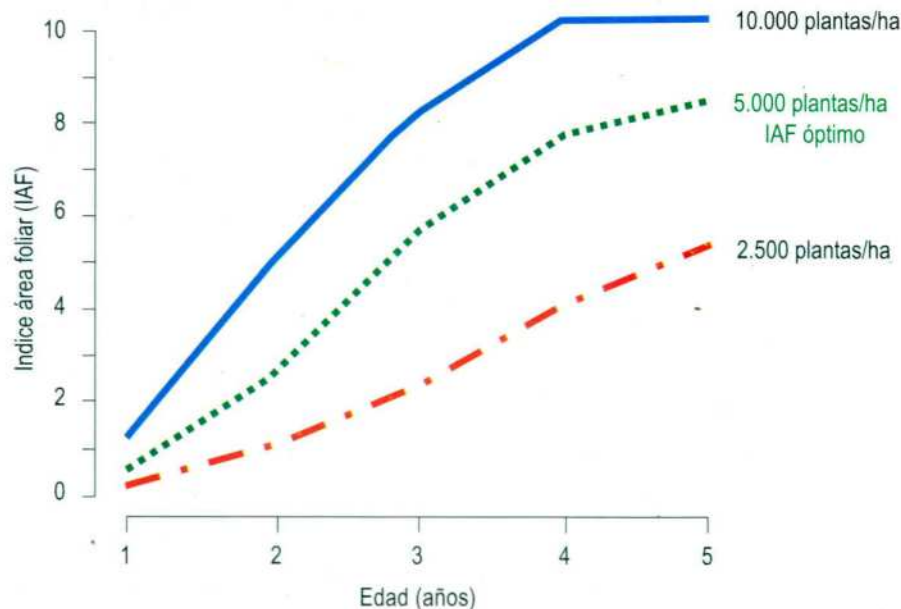


Figura 12. Índice de área foliar en plantaciones de café con varias densidades de siembra.(6)

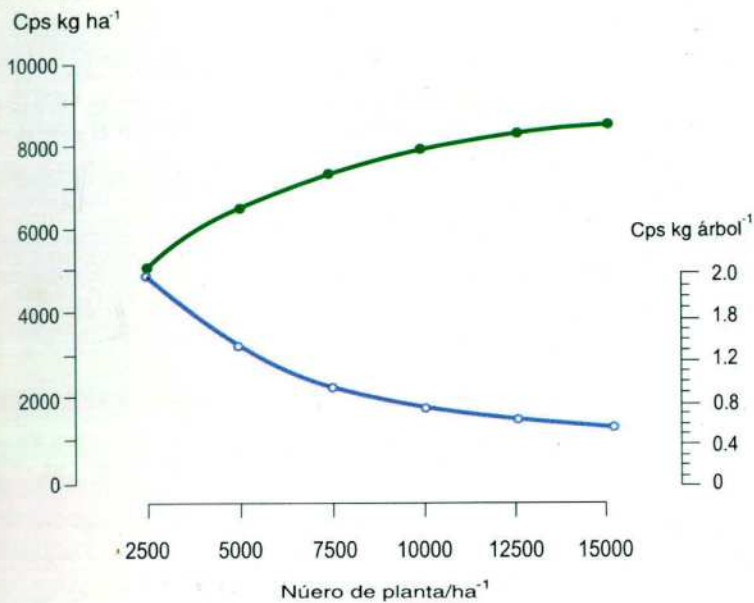


Figura 13. Relación entre la densidad de población y producción en *C. arabica* L. variedad Caturra. (6).

COMPOSICIÓN ORGÁNICA DE LAS HOJAS

Al estudiar la composición orgánica de las hojas del cafeto y su variación con los cambios en la nutrición mineral del árbol, se comprobó que los compuestos del metabolismo intermedio de las plantas, tales como aminoácidos, ácidos orgánicos y azúcares, son muy sensibles a alteraciones en la nutrición mineral normal y que tales compuestos pueden ser de gran interés en estudios sistemáticos de diagnóstico precoz de deficiencias minerales (85).

Las deficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio, boro y zinc afectan los contenidos de aminoácidos, de ácidos orgánicos y de azúcares en la hoja de café.

DESARROLLO FLORAL Y ANTESIS

Las flores del cafeto se forman a partir de yemas localizadas en las axilas de las hojas de las

ramas plagiotrópicas. Una vez diferenciadas las yemas florales, éstas crecen lentamente durante dos meses hasta alcanzar un tamaño de 5 a 6 mm y detienen su crecimiento, lo cual coincide con la ocurrencia de períodos secos; alrededor de 8 a 11 días después de las primeras lluvias siguientes al período seco mencionado, ocurre la apertura de las flores (anthesis). La falta de períodos secos limita la producción de café.

DESARROLLO DEL FRUTO Y PRODUCCIÓN DEL CAFÉ

Desde la anthesis hasta la maduración del grano transcurren aproximadamente 8 meses, dependiendo de las condiciones climáticas del lugar. Suárez, citado por Arcila (6) estudió la influencia de la lluvia en el desarrollo del fruto de café y obtuvo la curva de su crecimiento que se presenta en la Figura 14, en la cual se destaca el período II en el que según Valencia (87, 88), no debe haber falta de agua en el suelo, puesto que se presentará secamiento y caída de frutos tiernos de café (88), o se provoca la formación de "granos negros" (87).

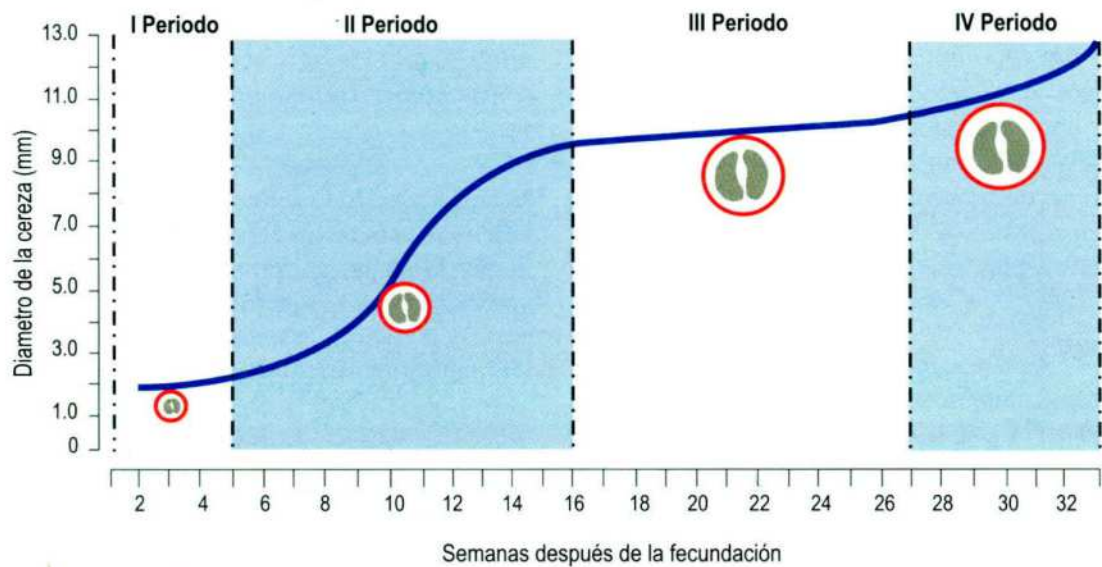


Figura 14. Curva promedio de crecimiento del fruto de café en Cenicafé. (6).

EXPERIMENTACIÓN EN CAFÉ CON REGULADORES DE DESARROLLO

Tanto el crecimiento del vegetal como la diferenciación de sus tejidos es controlado por la acción de las fitohormonas naturales y el uso de productos sintéticos ha tenido un éxito relativo, a pesar de que existen muchas clases de éstos, como el ácido giberélico, el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), el ácido naftaleno acético (ANA), el ácido indolbutírico (AIB), la benzil adenina (BA), el aminocide (Alar 85, B-nine, Sadh, Kylar), cloruro de clorocolina (Cycocel, Chlormequat, CCC, Cygogan), ácido triiodobenzoico (TIBA, regim-8, floral-tone), ácido 2-cloroetil-fosfónico (CEPA, Ethrel, Ethephon), Hidrazida maleica (HM), ácido abscísico AAB, glyphosine (polaris), glyphosato (round-up), dikegulac (atrinol), entre otros.

Estas sustancias actúan de diferente manera en la planta, según el proceso fisiológico que

modifiquen al interferir el sistema hormonal natural de control; su acción puede ser sobre la división y el alargamiento celular, sobre el desarrollo radical, la floración, el desarrollo del fruto, la abscisión, etc..

En Cenicafé se ensayaron varios de los reguladores de desarrollo existentes en el mercado (18, 99), con los resultados siguientes en café:

Giberelina (*Giberella fujikuroi* Saw.)

Aplicada en plantas de la variedad Borbón produjo cambios morfológicos en las hojas, estas fueron más largas y angostas, y sin domacias. El peso de las hojas, el área foliar, el peso de las raíces fueron menores cuando se usó la giberelina, la cual también provocó alargamiento de los tallos (18).

Alar 85 (B-nine, Sadh, Kylar)

En café Borbón produjo acortamiento de los entrenudos en el tallo y ramas, en forma directamente proporcional a las dosis empleadas, pero

su efecto fue de una duración inferior a tres meses.

Ethrel (ácido 2-cloroetilfosfónico, CEPA, ethephon)

Es un producto acelerador de la maduración y se ensayó con el fin de verificar si permitía alguna programación en la recolección de la cosecha de café para un mejor aprovechamiento de la mano de obra aumentando su eficiencia.

El producto puede anticipar hasta en cuatro semanas la maduración (cambio de color) de los frutos, pero simultáneamente provoca disminución de la acidez y del cuerpo de la bebida, la almendra adquiere un color marrón indeseable, ocurre caída de hojas así como de frutos en crecimiento. Todos estos daños se acentúan al aumentar la dosis del producto, el cual se probó en dosis de 0-100-200-300 y 400mg/árbol y no se recomienda su uso en cafetales colombianos.

NC 9634

Su acción consiste en la interrupción del transporte de auxinas, rompimiento de la dominancia apical y brotación de yemas axilares. Con el objeto de aumentar la floración y la producción de café al aumentar el número de ramas, se probó este producto en concentraciones de 0,1 - 0,3 - 0,5%, con las que sólo se obtuvo un ligero encrespamiento de los bordes de las hojas en la dosis alta. Al usar dosis mayores, se produjo quemazón de tejidos.

Agrostemin

Es un regulador biológico de amplio rango obtenido en Yugoslavia por el Instituto para la Experimentación Biológica de Belgrado y se ha clasificado como un estimulante biológico vegetal.

Se aplicó a semillas, "chapolas" y plántulas de tres meses y medio de edad, mediante inmersión de las semillas o de las raíces por seis horas en solución al 0,04 y al 1% o mediante aspersión a las plántulas con solución al 0,4%. Los por-

centajes de germinación, la altura, el peso fresco y el peso seco de las plantas fueron siempre menores cuando se usó Agrostemin.

Aminol Forte

Es un material de alta concentración de aminoácidos libres, de rápida absorción por la planta. Por su similitud con el producto anterior, no se justificaban sus pruebas.

Ergostim

Es un bioestimulante vegetal con una formulación al 5% de un derivado del ácido tiazolidin-4-carboxílico y 0,1% de ácido fólico. Se ensayaron varias dosis del producto (0,2 - 0,5 - 1,0 - 2 - 5 y 10 ml/litro de solución) en semillas, "chapolas", plántulas de café y árboles en producción. Después de tres meses de las aplicaciones, no se observó ningún efecto del producto.

ACR-1093-DA

Es el polvo mojable de 90% del 2,3:4,6-di-O-isopropilideno-2-keto-L-gulonato de sodio, de fórmula $C_{12}H_{17}O_7Na$, conocido con el nombre de dikegulac o atrinal.

En un primer ensayo se aplicaron dosis de 1 - 3 y 5% en plantas de Caturra de ocho meses de edad en estado de pre-floración, en cantidad de 100 mililitros de solución por árbol. El crecimiento en altura se detuvo en todos los tratamientos y con las concentraciones de 3 y 5% se provocó muerte de yemas terminales y en los árboles tratados con dosis de 1 y 3% se obtuvo abundante brotación de ramas secundarias, especialmente hacia el extremo de las ramas primarias.

Particularmente llamativas fueron: la brotación obtenida con la dosis del 1%, con hojas angostas y pequeñas y pérdida del color verde intenso del tejido internerval y las abundantísimas floraciones presentadas ocho meses más tarde.

Con las dosis 3 y 5% se obtuvieron granos deformes, alargados y con más de una almendra también deforme, por cada lóculo.

Zytozyme crop

Es un soporte biológico nutritivo para aplicación foliar en los cultivos, y en Cenicafé se experimentó por primera vez en café, aplicándolo al 1% en "chapolas" y plántulas de café. Tres meses mas tarde no se vio ningún efecto del producto.

Cycozel 500A

Conocido también como cloruro de clorocolina, como CCC, cygogan, chlormequat. Aplicado en árboles en producción se obtuvo un mayor número de granos vanos.

RH-531

Recomendado como regulador de la floración en café para obtener maduración uniforme de la cereza. Se ensayó en dosis de 0,4 - 0,8 y 1,6 gramos de ingrediente activo por planta en producción. En ningún caso hubo efecto significativo del producto.

Ninguno de los productos reguladores ensayados en café produjeron efectos benéficos, razón por la cual ninguno de ellos justifica su recomendación o empleo para cafetales.