

DETERMINACION DE LA RATA OPTIMA DE FERTILIZACION EN PLANTACIONES DE CAFE SIN SOMBRIO

Alfonso Mestre-Mestre *

INTRODUCCION

Es bien conocido que el cafeto a libre exposición solar, responde a las aplicaciones de fertilizantes en el sentido de que éstas redundan en aumentos de la producción (4, 19), pero la práctica de la fertilización, debe considerarse como una inversión adicional de la cual es necesario obtener el máximo lucro posible (9). Por esta razón se necesitan conocimientos básicos que permitan calcular los niveles óptimos de fertilización para un caso particular (7, 11).

La parte más importante dentro de esa información básica es el conocimiento de las "curvas de respuesta" del café a los fertilizantes.

Con el presente trabajo se pretendió encontrar las "curvas de respuesta" a un fertilizante completo de fórmula 12-12-17-2, para 3 distancias de siembra.

El trabajo se llevó a cabo en una Subestación Experimental de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, situada en el municipio de Fredonia, Antioquia. Se inició en el año de 1964 y tuvo una duración de siete años, durante los cuales se tomaron datos de seis cosechas completas.

* Jefe de la Sección de Café del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.

MATERIALES Y METODOS

El sitio experimental está ubicado a una altura de 1.300 metros sobre el nivel del mar, con una precipitación anual de 2.330 mm y temperatura media de 20.2°C (5). Los suelos pertenecen a la serie Piamonte (6) la cual se desarrolla sobre un conglomerado formado principalmente por un basalto augitoporfirítico y una andesita basáltica. Textura franca. Estructura en bloques subangulares de tamaño mediano y pequeño. Drenaje interno medio. Consistencia dura. Buen contenido de materia orgánica y pH 5.45 (6).

Se usó la variedad Caturra de *Coffea arabica*, a libre exposición solar.

Se empleó un diseño de parcelas subdivididas con tres densidades de población como parcelas principales y cuatro dosis de fertilizante como subparcelas.

La unidad experimental estuvo constituida por cuatro árboles efectivos con sus respectivos bordes.

Las densidades de siembra que se incluyeron en el ensayo fueron 2000, 2500 y 3333 plantas por hectárea que corresponden a las distancias de siembra 2.00 x 2.50; 2.00 x 2.00 y 2.00 x 1.50 m. respectivamente.

Se utilizó un fertilizante de fórmula 12-12-17-2 en dosis de 0 - 800 - 1600 y 2400 Kg/Ha.

Se registró la producción aproximada cada quince días y durante seis cosechas.

Los datos se sometieron a los análisis estadísticos que corresponden al diseño experimental usado.

Se ajustaron para cada una de las distancias y en los casos en los cuales fue posible, ecuaciones polinomiales de segundo grado para expresar la relación entre la producción y la fertilización. Con base en estas ecuaciones se calcularon las dosis de producción máxima en cada año y en cada distancia.

El lote se sembró en mayo 3 de 1965.

RESULTADOS

A. Distancia de siembra

Los aumentos en las densidades de siembra provocaron aumentos de tendencia lineal de las producciones de café pergamino seco por hectárea. Este resultado se observó

tanto en la acumulación de las seis cosechas como en cada una de las cosechas individuales. En la tabla 1 se presentan las producciones promedias que correspondieron a cada una de las distancias de siembra en cada una de las cosechas y en el promedio.

TABLA 1.- PRODUCCION PROMEDIO (KILOGRAMOS DE CAFE PERGAMINO SECO POR HECTAREA) PARA TRES DISTANCIAS DE SIEMBRA.

Distancia de siembra en metros	Densidad de siembra en árboles/Ha.	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71	71-72	Promedio por cosecha
2.00 x 2.50	2.000	579	3842	2545	3945	2462	5147	3087
2.00 x 2.00	2.500	808	4802	3263	4865	2896	5807	3740
2.00 x 1.50	3.333	978	6827	4820	7377	4053	10854	5818

B. Fertilización

- Cosecha 66-67:** En esta cosecha no se observó efecto de los fertilizantes sobre la producción. En la tabla 2, se presentan las producciones observadas en los distintos niveles para las tres distancias.
- Cosecha 67-68:** Se encontró que la relación entre la producción y la cantidad de fertilizantes aplicado en las distintas distancias se podía representar por medio de las siguientes ecuaciones de segundo grado:

$$\text{Distancias de } 2.00 \times 1.50: Y_i = 6261 + 1155X_i - 333X_i^2$$

$$\text{Distancias de } 2.00 \times 2.00: Y_i = 3719 + 1449X_i - 312X_i^2$$

$$\text{Distancias de } 2.00 \times 2.50: Y_i = 2524 + 2409X_i - 565X_i^2$$

En las ecuaciones anteriores así como en las que se presentan más adelante, Y_i representa la producción en kilos de café pergamino seco por hectárea y X_i toma los valores de 0, 1, 2 y 4 para aplicación de fertilizantes de 0, 600, 1600 y 2400 kilos por hectárea y por año respectivamente.

En la tabla 3 se muestran las producciones promedias que corresponden a los distintos niveles en las tres distancias, las dosis a las cuales corresponden las producciones máximas y las mismas producciones máximas para todas las distancias, calculadas según las ecuaciones anteriores.

TABLA 2.- PRODUCCIONES PROMEDIAS (KILOGRAMOS DE CAFE PERGAMINO SECO POR HECTAREA), PARA TRES DISTANCIAS DE SIEMBRA Y TRES DOSIS DE FERTILIZANTE. COSECHA 66-67.

Distancia de siembra en metros	Densidad de siembra en plantas/Ha.	DOSIS DEL FERTILIZANTE EN KILO POR Ha.			
		0	600	1600	2400
2.00 x 2.50	2.000	581	535	633	567
2.00 x 2.00	2.500	836	774	852	769
2.00 x 1.50	3.333	1156	896	862	998

c. Cosecha 68-69: La relación que se encontró entre producción y cantidad de fertilizante aplicado, también fue en este caso, el de un aumento de tendencia cuadrática, como se puede ver en la tabla 4.

Las ecuaciones de regresión que representan la relación mencionada, se describen a continuación:

$$\text{Distancia de } 2.00 \times 1.50: Y_i = 2861 + 2451X_i - 491X_i^2$$

$$\text{Distancia de } 2.00 \times 2.00: Y_i = 2353 + 1738X_i - 488X_i^2$$

$$\text{Distancia de } 2.00 \times 2.50: Y_i = 1404 + 2078X_i - 465X_i^2$$

Con las ecuaciones anteriores se calcularon para cada distancia, las producciones máximas y las dosis con las cuales se consiguieron, que se presentan en la tabla 4.

TABLA 3.- PRODUCCIONES PROMEDIAS (KILOGRAMOS DE CAFE PERGAMINO SECO POR HECTAREA). PARA TRES DISTANCIAS DE SIEMBRA Y TRES DOSIS DE FERTILIZANTE. DOSIS CON LAS CUALES SE CONSIGUEN LAS PRODUCCIONES MAXIMAS. COSECHA 67-68.

Distancia de siembra en metros	Densidad de siembra en plantas/Ha.	Dosis del fertilizante en Kilos/Ha.				Dosis de producción máxima		Producciones máximas
		0	600	1600	2400	Kg/Ha.	gr/Ha.	
2.00 x 2.50	2.000	2489	4383	4612	3883	1434	720	4888
2.00 x 2.00	2.500	3715	4869	5359	5267	1698	680	5563
2.00 x 1.50	3.333	6121	7503	6818	6867	1410	420	7250

TABLA 4.- PRODUCCIONES PROMEDIAS (KILOGRAMOS DE CAFE PERGAMINO SECO POR HECTAREA). PARA TRES DISTANCIAS DE SIEMBRA Y TRES DOSIS DE FERTILIZANTE. DOSIS CON LAS CUALES SE CONSIGUEN LAS PRODUCCIONES MAXIMAS. COSECHA 68-69.

Distancia de siembra en metros	Densidad de siembra en plantas/Ha.	Dosis del fertilizante en Kilos/Ha.				Dosis de producción máxima		Producciones máximas
		0	600	1600	2400	Kg/Ha.	gr/Ha.	
2.00 x 2.50	2.000	1206	3513	2706	2753	1472	736	3313
2.00 x 2.00	2.500	2519	3113	4391	3031	1432	573	3913
2.00 x 1.50	3.333	3078	4169	6453	5581	2000	600	5925

- d. **Cosecha 69-70:** Los resultados en esta cosecha también revelaron que la producción aumentó según una tendencia cuadrática con los aumentos en las distancias de siembra. Los datos se muestran en la tabla 5 y a continuación se presentan las ecuaciones de regresión de mejor ajuste a los datos para las tres distancias:

$$\text{Distancia de } 2.00 \times 1.50: Y_i = 4590 + 4762X_i - 1222X_i^2$$

$$\text{Distancia de } 2.00 \times 2.00: Y_i = 3699 + 1118X_i - 146X_i^2$$

$$\text{Distancia de } 2.00 \times 2.50: Y_i = 2136 + 2858X_i - 708X_i^2$$

Las producciones máximas que se pueden obtener en cada distancia así como las dosis con las cuales se consiguen se presentan en la tabla 5.

- e. **Cosecha 70-71:** En esta cosecha la relación que se encontró entre la producción y la cantidad de fertilizante aplicado en la parcela consistió en un aumento lineal de la primera con los aumentos de la segunda, lo cual se muestra en la tabla 6. Las ecuaciones de regresión correspondientes son las siguientes:

$$\text{Distancia de } 2.00 \times 1.50: Y_i = 1036 + 2011X_i$$

$$\text{Distancia de } 2.00 \times 2.00: Y_i = 1663 + 823X_i$$

$$\text{Distancia de } 2.00 \times 2.50: Y_i = 1361 + 735X_i$$

- f. **Cosecha 71-72:** Se encontró en esta cosecha una relación cuadrática entre la producción y la cantidad de fertilizante aplicado a la parcela. Las producciones

observadas en los distintos niveles para las tres distancias, se presentan en la tabla 7. Las ecuaciones de regresión de mejor ajuste son las que se presentan a continuación.

$$\text{Distancias de } 2.00 \times 1.50: Y_i = 7152 + 6515X_i - 1734X_i^2$$

$$\text{Distancias de } 2.00 \times 2.00: Y_i = 3974 + 2093X_i - 373X_i^2$$

$$\text{Distancias de } 2.00 \times 2.50: Y_i = 3125 + 4012X_i - 1142X_i^2$$

Por medio de las ecuaciones anteriores, se calcularon las producciones máximas y las dosis con las cuales se consiguen y se presentan en la tabla 7.

g. **Acumulación de las seis cosechas:** En la tabla 8 se presentan las producciones promedias por cosecha en los distintos niveles para las tres distancias. La relación

TABLA 5.- PRODUCCIONES PROMEDIAS (KILOGRAMOS DE CAFE PERGAMINO SECO POR HECTAREA). PARA TRES DISTANCIAS DE SIEMBRA Y TRES DOSIS DE FERTILIZANTE. DOSIS CON LAS CUALES SE CONSIGUEN LAS PRODUCCIONES MAXIMAS. COSECHA 69-70.

Distancia de siembra en metros	Densidad de siembra en plantas/Ha.	Dosis del fertilizante en Kilos/Ha.				Dosis de producción máxima		Producciones máximas
		0	600	1600	2400	Kg/Ha.	gr/Ha.	
2.00 x 2.50	2.000	2110	4363	4943	4365	1616	808	5013
2.00 x 2.00	2.500	3698	4674	5348	5739	3064	1226	5838
2.00 x 1.50	3.333	4194	8996	8201	8116	1560	468	9150

TABLA 6.- PRODUCCIONES PROMEDIAS (KILOGRAMOS DE CAFE PERGAMINO SECO POR HECTAREA). PARA TRES DISTANCIAS DE SIEMBRA Y TRES DOSIS DE FERTILIZANTE. DOSIS CON LAS CUALES SE CONSIGUEN LAS PRODUCCIONES MAXIMAS. COSECHA 70-71.

Distancia en siembra en metros	Densidad de siembra en plantas/Ha.	DOSIS DEL FERTILIZANTE EN KILO POR Ha.			
		0	600	1600	2400
2.00 x 2.50	2.000	1294	2287	1904	4365
2.00 x 2.00	2.500	1878	1878	3875	3594
2.00 x 1.50	3.333	1226	2424	5735	6826

TABLA 7.- PRODUCCIONES PROMEDIAS (KILOGRAMOS DE CAFE PERGAMINO SECO POR HECTAREA). PARA TRES DISTANCIAS DE SIEMBRA Y TRES DOSIS DE FERTILIZANTE. DOSIS CON LAS CUALES SE CONSIGUEN LAS PRODUCCIONES MAXIMAS. COSECHA 71-72.

Distancia de siembra en metros	Densidad de siembra en plantas/Ha.	Dosis del fertilizante en Kilos/Ha.				Dosis de producción máxima		Producciones máximas
		0	600	1600	2400	Kg/Ha.	gr/Ha.	
2.00 x 2.50	2.000	3192	5794	6784	4818	1408	704	6650
2.00 x 2.00	2.500	3940	5795	6565	6925	2240	896	6913
2.00 x 1.50	3.333	6883	12741	12436	11357	1504	451	13275

TABLA 8.- PRODUCCIONES PROMEDIAS (KILOGRAMOS DE CAFE PERGAMINO SECO POR HECTAREA). PARA TRES DISTANCIAS DE SIEMBRA Y TRES DOSIS DE FERTILIZANTE. DOSIS CON LAS CUALES SE CONSIGUEN LAS PRODUCCIONES MAXIMAS. COSECHA ACUMULADA 66-67 a 71-72.

Distancia de siembra en metros	Densidad de siembra en plantas/Ha.	Dosis del fertilizante en Kilos/Ha.				Dosis de producción máxima		Producciones máximas
		0	600	1600	2400	Kg/Ha.	gr/Ha.	
2.00 x 2.50	2.000	1813	3475	3600	3463	1648	824	3800
2.00 x 2.00	2.500	2763	3513	4400	4275	2200	880	4350
2.00 x 1.50	3.333	3775	6125	6750	6625	1792	538	6925

que se encontró entre la producción y la cantidad de fertilizante aplicado fue de segundo grado y se puede representar en cada una de las distancias por medio de las ecuaciones de regresión que se consignan a continuación:

$$\text{Distancias de 2.00 x 1.50: } Y_i = 3825 + 2772X_i - 618X_i^2$$

$$\text{Distancias de 2.00 x 2.00: } Y_i = 2708 + 1195X_i - 217X_i^2$$

$$\text{Distancias de 2.00 x 2.50: } Y_i = 1877 + 1860X_i - 451X_i^2$$

Mediante las ecuaciones anteriores se calcularon las cifras que corresponden a las producciones máximas y a las dosis de fertilizante con las cuales se consiguen (tabla 8).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

A. Distancias de siembra

Las tendencias lineales de aumento de la producción con las disminuciones de las distancias o sea con los aumentos en las densidades de siembra, están indicando que las densidades de siembra que se incluyeron en el ensayo están muy por debajo de aquellas con las cuales se pueden obtener las mayores producciones posibles por hectárea.

Las densidades máximas que se emplearon en este ensayo fueron de 3333 plantas por hectárea. Estos resultados están de acuerdo con las referencias que se encuentran en la literatura sobre la relación entre las distancias de siembra y la producción, entre los cuales podemos citar como realizados en Colombia los de Machado (8) en la Granja de Blonay. Bellavita (1), en Venezuela, encontró la misma relación que en este trabajo en densidades hasta de diez mil plantas por hectárea. Igual resultado se obtuvo en la India (2). Y también se reporta un resultado similar en el informe de oficina del Café de Costa Rica del año 71 (3).

En conclusión, en lo que se refiere a la distancia de siembra los datos en estudio indican que con densidades de siembra mayores de 3333 plantas por hectárea, se pueden esperar producciones mayores que las que se obtuvieron con dicha densidad.

B. Fertilizantes:

El hecho de que no se haya observado efecto de los fertilizantes en la primera cosecha no es un resultado sorprendente ya que en ella hay aún influencia de la fertilización uniforme que recibió el lote durante su establecimiento. Es conocido que el efecto de la fertilización sobre la producción no se manifiesta en el mismo año de su aplicación sino al siguiente, ya que la influencia del fertilizante en el mismo año se refleja sobre el crecimiento de ese año y el cafeto produce sobre los crecimientos de un año de edad.

En las demás cosechas se presentó consistencia en los resultados en el sentido de que en todas hubo una respuesta favorable al aumento del fertilizante aplicado en todas las distancias. También se puede ver que en todas las cosechas y en todas las distancias las relaciones entre la magnitud de la producción y la cantidad de fertilizante aplicado se pueden representar por ecuaciones de segundo grado. En la única cosecha en la cual no alcanzó significación el componente cuadrático fue en la correspondiente al período 70-71. En lo que sí se nota variación de un año a otro, es en la magnitud

de los parámetros que definen cada una de las ecuaciones particulares; en esta misma variación puede encontrar explicación la mencionada falta de significación del componente cuadrático en la cosecha 70-71. A su vez, la variación de año a año de las magnitudes de los parámetros es explicable por la oscilación bienal de la producción.

Para obviar la dificultad que ésto representa para que la interpretación de los resultados lleve a una conclusión práctica, se presentan los resultados acumulados de las seis cosechas. Por ser un número par de cosechas, se enmascara el efecto de la oscilación bienal. Las ecuaciones que con estos datos se calcularon son las que se pueden utilizar como "curvas de producción" en los análisis económicos. También se puede obtener por medio de ellas una interpretación de la falta de significación de la interacción distancias por fertilizante al observar en la tabla 8 que las dosis de fertilizante con las cuales se esperan las mayores producciones para todas las distancias en estudio, están alrededor de los 1800 kilos por hectárea la cual, según indican los resultados del ensayo, se constituye como la cantidad óptima, desde el punto de vista biológico, para aplicar dentro del rango del experimento. Así la cantidad óptima por planta depende entonces, de la distancia de siembra.

RESUMEN

Se presentan los resultados de un trabajo que se llevó a cabo en la Subestación de Piamonte, Departamento de Antioquia, con la finalidad de estimar las "curvas de respuesta" del café en producción, a un fertilizante completo de fórmula 12-12-17-2 para tres distancias de siembra.

Dentro de los rasgos del experimento, se encontró una relación lineal positiva entre la producción y la densidad de siembra, lo cual indica que las densidades que se emplearon están por debajo de aquellas con las cuales se pueden obtener producciones máximas.

En lo que se relaciona con los fertilizantes, las curvas de respuesta que se encontraron son útiles para los cálculos de las dosis óptimas desde el punto de vista económico.

Se encontró que las producciones máximas desde el punto de vista biológico se podrían lograr con aplicaciones de fertilizantes alrededor de 1.800 kilos por hectárea, para todas las distancias incluidas en el ensayo.

SUMMARY

A complete fertilizer formula 12-12-17-2, which is applied to adult coffee trees, was used to estimate "response curves" for three different distances of planting. A positive lineal relationship was found between yield and plant density, which indicates that the population sizes studied are below the ones in which a maximum yield would be obtained.

The response curves found are useful to calculate the optimum fertilization doses from the economical standpoint. Maximum biological parchment coffee yield can be obtained by applying 1,800 kg per hectare of a complete fertilizer.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- BELLAVITA, O. M. Rentabilidad de la explotación intensiva del café al sol. *Agronomía Tropical* (Venezuela) 17(2):282-292. 1968.
- 2.- COFFEE BOARD RESEARCH DEPARTMENT. Twentieth Annual Detailed Technical Report 1966-1967. Mysore, Central Coffee Research Institute, s. f. pp. 16-17.
- 3.- COSTA RICA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA, Departamento de Investigaciones de Café. Informe Anual de Labores 1971. San José, Costa Rica, Oficina del Café, 1972. 64 p.
- 4.- EL USO DE LOS FERTILIZANTES EN EL CULTIVO DEL CAFETO. Boletín Informativo del I.S.I.C. (El Salvador) N° 75:1-8. 1967.
- 5.- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Sección de Agroclimatología. Observaciones de los principales elementos meteorológicos de la zona cafetera de Colombia, Chinchiná (Colombia), 1970. 61 p. (anexo al Anuario Meteorológico 1970).
- 6.- HERNANDEZ, M. P. Levantamiento agrológico de la región cafetera Central de Antioquia. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", 1959. 116 p. (Publicación LS-L).
- 7.- HERRON, O. A. y VALDES, S. H. Respuesta a la aplicación de fertilizante en dos proyectos de cafetos bajo sombra. *Cenicafé* (Colombia) 17(4):142-146. 1966.
- 8.- MACHADO, S. A. Experimentación cafetera en la Granja de Blonay, Bol. Informativo de *Cenicafé* (Colombia) 2(22):26. 1951.
- 9.- ———. Rentabilidad del tratamiento de fertilizantes en un experimento con cafetos. *Cenicafé* (Colombia) 16:42-54. 1965.
- 10.- PABON, P. G. Uso de los fertilizantes. *Revista Cafetalera* (Guatemala) 1(16): 1967.
- 11.- VERLIERE, G. La nutrition minerale et la fertilization du cafeier sur sol schisteux en Cote d'Ivoire. *Café, Cacao, Thé* (Francia) 17(3):211-222. 1973.