



La función de producción en café

Juán José Echavarría

Lucelly Orozco. Carlos Téllez

INTRODUCCION

El presente trabajo trata de determinar la influencia de diferentes factores sobre la productividad del café y constituye un esfuerzo adicional al que han realizado **Cenicafé** y otros investigadores en el pasado. El área de análisis es importante por varias razones: en primer lugar, la conformación del paquete tecnológico que recomienda la **Federación Nacional de Cafeteros** debe llevar a niveles de máxima rentabilidad por tipo de cultivo y ésta depende tanto de aspectos económicos (precios y costos), como agronómicos (densidad, fertilización, edad, sombrero, clima y prácticas culturales). En segundo lugar, se espera que una mejor especificación de la función de producción permita depurar los modelos 'macro' de producción¹, y facilite las proyecciones anuales que realiza el servicio de extensión de la Federación.² Ello conduciría a una mejor programación de las ventas en el exterior, a un manejo más racional de inventarios y a una mayor eficiencia en la política cafetera.

La Sección II de este documento reseña las principales conclusiones de los experimentos adelantados en el pasado en **Cenicafé** (principalmente) y en el exterior, con énfasis en el efecto de la densidad, la edad y el sombrero sobre la productividad. La Sección III discute las características de los principales experimentos disponibles en **Cenicafé** (variedad, densidad y fecha de siembra, entre otras) y analiza aspectos relacionados con la especificación de las ecuaciones y con la medición de las diferentes variables.

La Sección IV presenta el núcleo central del trabajo. Se analiza en la primera parte la formación del ensayo de uniformidad, un experimento especialmente apto para estudiar el efecto de la edad y la bienalidad sobre la productividad del Caturra. El ensayo comenzó en 1963 y tuvo una duración de más de 20 años. Se estudia posteriormente la influencia sobre la variedad Caturra de la densidad, la edad, la fertilización y la lluvia en un grupo base de 4 experimentos (C7, C9, C15 y C19), con 7 niveles de densidad, 8 niveles de edad, y 3 dosis de fertilizante completo. Se combinan luego los resultados del ensayo de uniformidad con los del grupo base, y se considera al final de la Sección la influencia del sombrero sobre la productividad en el experimento C33. El Anexo complementa la información sobre las características de los principales experimentos disponibles en **Cenicafé**.

Las pretensiones de este documento son ciertamente modestas frente a la magnitud del trabajo a realizar, y existe plena conciencia entre los autores que de que no se contará en muchos años con una función que incorpore en forma enteramente satisfactoria todos y cada uno de los múltiples elementos relevantes. No obstante, los resultados estadísticos son satisfactorios, y los puntos de máxima coinciden con lo que cabría esperar a priori. También resultan significativos los efectos cruzados entre variables. La Sección final presenta las principales conclusiones del trabajo, y sugiere nuevas líneas de investigación hacia el futuro.

1 Zambrano (1984, 1986), Leibovich (1987), Jaramillo (1987).

2 Arcila (1991d) contrasta la producción real con los pronósticos de la Federación entre 1970 y 1988. La metodología para el pronóstico aparece en J. Arcila (1991b)

I. Revisión de literatura³

No es fácil establecer una función de producción en café, por ser amplio el conjunto de variables relevantes y difícil la cuantificación de algunas de ellas. El Cuadro 1 presenta un conjunto de más de 50 variables consideradas *a priori* como relevantes, agrupadas bajo las cinco grandes categorías de clima, planta, suelo, manejo, y 'sociales'. No existe consenso sobre la forma en que se debe cuantificar el clima, y es difícil utilizar variables que capturen adecuadamente la influencia de las enfermedades o del 'manejo'. Se presenta en esta Sección una breve reseña de las conclusiones de la literatura disponible, con énfasis en la influencia de la densi-

dad, la edad, la fertilización, el clima, y la luminosidad. Se trata en forma tangencial el efecto del zoqueo y de la bienalidad.

Densidad:

La influencia de la densidad es el fenómeno estudiado con mayor detenimiento en **Cenicafé**, y los experimentos disponibles cubren adecuadamente el rango de mayor interés en la caficultura comercial: el 64% del café tradicional del país estaba sembrado con densidades de 1000 a 2000 árboles por hectárea en 1980, y el 70% del café

Cuadro 1
FACTORES Y VARIABLES DE IMPORTANCIA EN LA PRODUCCION CAFETERA

FACTOR	VARIABLE
CLIMA:	Altitud, latitud, temperatura (mínima, máxima y media), humedad relativa, precipitación (déficit hídrico, exceso hídrico), brillo solar, radiación fotosintéticamente activa, cantidad de sombra.
PLANTA:	Variedad, altura de la planta, diámetro del tallo, número de ramas primarias, secundarias y terciarias, ramas productivas, diámetro de la copa, número de nudos productivos y vegetativos, número de inflorescencias por nudo, número de flores por inflorescencias, cuajamiento, frutos por nudo, edad, bienalidad de la producción, producción cereza, producción pergamino seco.
SUELO:	Características de fertilidad: pH, N, P, K, Ca, Mg, menores (B); características físicas: textura, estructura, densidad aparente.
MANEJO:	Densidad, maleza (número de desyerbas), poda (zoqueo, descope), enfermedad (roya, otras), plagas (broca, minador), fertilización, área sembrada.
SOCIALES:	Área con crédito, crédito por hectárea, tamaño de la finca, precio, disponibilidad de mano de obra.

³ Tomado de Arcila (1991)

³ Se basa principalmente en: Arcila (1991a, 1991b, 1991c, 1991)

tecnificado con densidades de 3000 a 5000 árboles por hectárea⁴.

Para densidades menores a 5000 árboles Mestre (1977, IE9) y Uribe y Salazar (1981, C12) encuentran que la productividad crece en forma lineal con la densidad y para densidades mayores los resultados del experimento adelantado por Uribe y Mestre (1988 C15) en *Naranjal*, Chinchiná (Gráfico 1A) muestran que la productividad comienza a declinar en la medida en que se intensifica la densidad (competencia por luz, agua, nutrientes y espacio físico), con una productividad máxima para 14200 árboles por hectárea⁵. Browning y Fisher (1976) y Kuguru, et al. (1978) adelantaron estudios de la misma índole para la variedad *Caturra* en Kenya (1600 metros sobre el nivel del mar) y encontraron un máximo que oscila entre 4000 y 9000 árboles por hectárea (según la variedad estudiada).

Edad:

La información recolectada en el **Precenso Cafetero** para 11,528 lotes y 5364 fincas revela que cerca del 86% del café *tradicional* tiene una edad superior a los nueve años, y que las edades para el café *tecnificado* se concentran en las categorías de 3 a 6 años (40%), y de más de 9 años (30%). Los informes de labores de los Comités indican que la edad promedio fluctúa entre 4.1 y 7.5 años para los diferentes Departamentos del país. ¿Qué indica la literatura disponible sobre la influencia de esta variable?

Machado (1960) se refiere a ciclos de primera edad (2 a 6 cosechas) y sugiere que la productividad comienza a declinar a partir de ese momento, y los trabajos de Uribe y Salazar (1981, C12) y de Uribe (1977) parcialmente confirman lo anterior: el máximo de productividad se obtiene a los cuatro años en el primer caso, y entre el quinto y el sexto año en el segundo. El Gráfico 1B permite comparar los resultados anteriores con los de Zambrano (1984) y Leibovich (1987)⁶ para café tradicional y

tecnificado. La productividad en el café tradicional aumenta desde menos de 40 kilos de café verde por hectárea a los 2 años de edad, hasta un máximo de 670 kilos a los 10-12 años; desciende posteriormente en forma estable a tasas que oscilan alrededor del 1% anual.⁷

Existen diferencias en los distintos estimativos para el café tecnificado. El valor máximo se presenta en el quinto año en ambos trabajos (aunque el valor absoluto no coincide), con diferencias notorias de comportamiento a partir del sexto año: la productividad en el año 12 cae a la mitad de la del año 5 según Libovich (y continúa descendiendo en los años posteriores), y a la quinta parte según Zambrano (y se mantiene constante a partir de dicho año). No es extraño que los resultados difieran: la cosecha de la planta madura es especialmente irregular (Castillo 1964, Castillo y Quiceno 1964, y Machado 1960), y los autores no utilizaron la información disponible en Cenicafé para edades superiores a los 6-7 años.⁸

El Gráfico 1B indica, adicionalmente, que la productividad del café tecnificado equivale a cuatro veces la del café tradicional para edades de 4 a 6 años, y a tres veces para edades de 6 a 8 años. Las diferencias son relativamente menores para altas edades, ya que las caídas en productividad son sustanciales para el café tecnificado a partir del sexto año. Las productividades coinciden en el año 10 para Zambrano y a partir del año 16 para Leibovich.⁹

4 El café tecnificado representa hoy más de la mitad del café sembrado en Colombia (34% en 1980). Ver Libabais (1987), Anexo 1.

5 Y supera en 35% la productividad para 5 mil árboles. La densidad afecta algunas de las características de la planta tales como su altura y el número de nudos. Ver Arias (1977).

6 Se tomó la información provista en el artículo para densidad 4444 árboles por hectárea. Jaramillo (1987), considera los modelos de predicción estimados por Zambrano y por Libabais, y estima dos regresiones que el autor denomina híbridos 1 y 2. Los valores del híbrido 1 prácticamente coinciden con los de Zambrano, y los del híbrido con Libabais. La influencia del café tradicional ha sido estudiada por CEPAL-FAO (1958), Junquito (1974), Ocampo (1987), Libabais (1987), Zambrano (1984, 1989), y Mejía (1991). Libabais resume y utiliza los tres primeros trabajos con los resultados que aparecen en el Gráfico 1B.

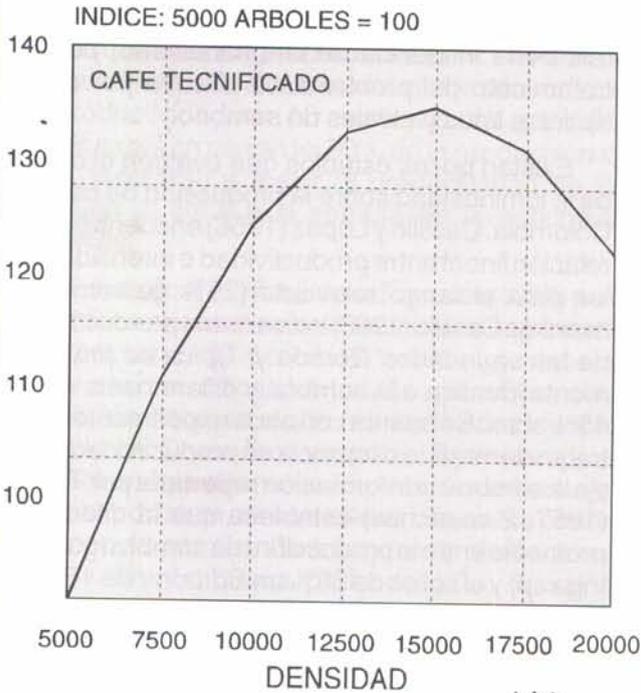
7 El estudio CEPAL-FAO para Brasil (El café en América Latina) muestra una caída en productividad del año 0.5% anual a partir del año 15. Con base en los datos de CEPAL-FAO (1958), Ocampo estima una caída que oscila entre 0.3% al año, 0.85% para 1939-68, y 1.03% para 1946-68. Ver Ocampo (1987), y Mejía (1991).

8 El ensayo *ce* uniformidad cubre 22 años, y el experimento C7, 10 años. Libabais utilizó la información del C7 para los primeros 7 años. Ver la descripción de los experimentos y el anexo.

9 Ocampo (1987) parece coincidir con Zambrano cuando afirma que la productividad del café tecnificado al décimo año es similar a la del café tradicional bien manejado.

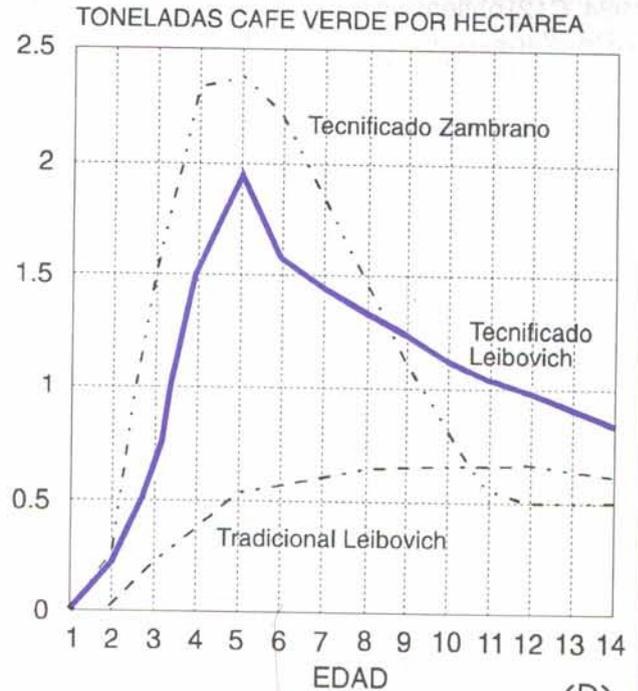
Gráfico 1

INFLUENCIA DE LA DENSIDAD Y LA EDAD SOBRE LA PRODUCTIVIDAD



Fuente: Uribe y Mestre (1988)

(A)



Fuente: Jaramillo, 1987; Leibovich 1967

(B)

Fertilización y Clima:

La información suministrada por el **Precenso cafetero** revela que el nivel de fertilización promedio (fertilizante completo) es de 151 gramos por árbol/año para cafetales al sol, y de 146, 111 y 95 gramos por árbol/año para sombrío transitorio, permanente regulado y no regulado respectivamente; el nivel de fertilización por árbol descende levemente al aumentar la densidad. Las cifras para las variedades *Caturra* y *Colombia* son 158 (sol), 151, 138 y 133 respectivamente, y no varían con la densidad.

Uribe y Mestre (1976) encuentran que el café responde principalmente al nitrógeno y al potasio, y en menor grado al fósforo. De otra parte, los resul-

tados del experimento de Mestre (1977, IE9) para densidades de 2000, 2500 y 3000 árboles por hectárea indican que la productividad máxima se alcanza para una dosis de 1600 kilos de fertilizante por hectárea. Finalmente, Vallejo (1984, C12) indica que un kilo de fertilizante produce 0.8 kilos de café cuando se parte de dosis bajas. La re-especificación de la función para el experimento C12 (Echavarría, 1992) conduce a máximos cercanos a los que recomienda Cenicafé y muestra que un kilo de fertilizante produce 0.73 kilos de café cuando se parte de 1 tonelada, y a 1.73 kilos de café cuando se parte de dosis bajas.

No todos los resultados son satisfactorios, sin embargo. Mestre y Uribe (1980, C9) no encuentran

una influencia significativa de la fertilización sobre la producción en las localidades diferentes a Naranjal (donde apenas se encontró una respuesta parcial),¹⁰ y Uribe y Salazar (1981, C12) no encuentran efectos significativos en varias localidades. Finalmente, Vallejo (1984, C12) obtiene un máximo excesivamente alto (4.9 toneladas), debido posiblemente a una especificación inadecuada de la función (no se incluye la variable edad). La re-especificación de la función (Echavarría, 1992) conduce a resultados relativamente satisfactorios en materia de máximos y del impacto marginal del fertilizante, pero aún no se logran resultados estadísticamente significativos para los grados 2 y 3 de la variable.

Las **condiciones climáticas** inciden sobre el ritmo de crecimiento del cafeto y modifican la época de ocurrencia de la floración y la distribución de la cosecha a través del año (Arcila 1991a). Pocos dudan de la influencia de esta variable sobre la producción anual, pero no todos los trabajos lo confirman. Aún no se cuenta con una caracterización precisa de aquellas condiciones climáticas que limitan la producción (Gómez 1977), y es amplio el rango de resultados en los distintos trabajos: las variaciones climáticas pueden afectar la producción en 47% según Muñoz (1982), y en sólo 7% según Jaramillo et. al (1987). Las diferencias anotadas en los resultados podrían obedecer a la especificación de la variable 'clima' en cada trabajo¹¹: Jaramillo trabaja con la oferta ambiental (una combinación de variables climáticas y fotosíntesis) rezagada 18 meses; y Muñoz utiliza el balance hídrico rezagado 5 y 8 meses, y el brillo solar rezagado 6 u 8 meses.¹²

De otra parte, las observaciones fenológicas del cafeto (Gómez 1977; Gómez et. al 1991) indican que en localidades como Naranjal o El Rosario (Venecia, Antioquia), la cosecha principal recolectada en octubre-diciembre aumenta cuando se presentan 'períodos secos' en marzo y cuando llueve en junio y julio; las lluvias de abril conducen a la expansión de ramas y a una mayor producción en el **siguiente año**.¹³ Se presenta un proceso similar en las demás localidades, aún cuando los meses de influencias pueden diferir; también puede diferir la participación de la cosecha principal en el total recolectado durante el año.¹⁴

Modalidad de cultivo a la sombra:

La mitad del café **tecnificado** del país está sembrado a la sombra (Ocampo, 1987a), y la participación del sombrío es también alta (40%) cuando se consideran densidades mayores a 6000 árboles por hectárea.¹⁵ Ello amerita el análisis de la influencia de la luminosidad, pero el tratamiento del problema se dificulta por existir distintos tipos y niveles de sombrío.

Existen pocos estudios que evalúen el efecto de la luminosidad sobre la producción de café en Colombia. Castillo y López (1966) encuentran una relación lineal entre productividad e intensidad de luz para el rango relevante (25% de sombrío), mientras Castillo (1990) indica que la productividad de las variedades *Borbón* y *Típica* es prácticamente idéntica a la sombra, y difiere hasta en un 45% al sol. Se cuenta con otros experimentos que tratan de medir la diferencia en productividad al sol y a la sombra: la información reportada por Triana (1957, 2 cosechas) establece que la diferencia promedio entre la producción a la sombra (guamo, Inga sp) y al sol es de 36% en *Borbón* y de 46% en *Típica*, mientras que para Uribe y Quiceno (1958) la relación en café *Borbón* es de 28% y 43% según se utilice o no fertilizante.¹⁶

En **Cenicafe** existen pocos experimentos que permitan deducir la influencia del sombrío para la variedad Caturra. Además de los resultados del experimento C33 (que se analizan más adelante) se encuentra una relación sombra (guamo, Inga sp)-sol promedio del 55% en un 'lote demostrativo'

10. Los autores consideran, sin embargo, que la dosis mínima utilizada fué suficiente, y por eso no se capturan diferencias importantes con respecto a dosis mayores.

11. 1964-1986 en Jaramillo; 1967-74 en Muñoz (experimentos C6 y C9); y 1967-73 en Gómez (1977).

12. Gómez utiliza la precipitación en el primer trimestre y en el primer semestre del mismo año, y en el primer semestre del año anterior.

13. Gómez (1977), et. al (1991).

14. Ver Arcila (1991a).

15. Información del Precenso.

16. Se utilizó como sombrío provisional el plátano y la crotalaria y como sombrío permanente el guamo (Inga sp.). De los 30 casos analizados (15 para cada tipo de café), la relación sombra-sol supera el 60% en apenas dos casos para el primer tipo de café y en 5 casos para el segundo tipo.

sembrado en 1974. Para sombrío temporal (plátano), en los 'lotes de conservación de suelos 30 y 31' se encuentra una relación promedio de 76% para los 10 años considerados. Finalmente, los resultados para un lote de producción de café sembrado en 1956 (con cosechas en el período (1958-64) arrojan una relación promedio de 72%. La **Federación** adelanta actualmente un trabajo de medición de productividad en 50 ecotopos del país (los cuales explican cerca del 90% de la producción de café), tendiente a medir la productividad de los cafetales al sol y a la sombra en la agricultura comercial.

Los trabajos reseñados por Fournier (1988) para Costa Rica encuentran una relación en la productividad a la sombra y al sol de 80%-90%, y por lo tanto mayor a la que indican los trabajos para Colombia. Ello podría deberse a que el tipo de sombrío más utilizado en Costa Rica (el poró, *Erythrina* sp) es completamente diferente. El poró pierde las hojas en el período seco, es sometido a diferentes podas, y es poco denso; se trata entonces de plantaciones 'al sol' durante buena parte del año, donde el sombrío conduce a la formación de una capa de hojarasca y se utiliza más bien como protector del suelo (Fournier, 1980).¹⁷

A nivel agregado, los coeficientes utilizados en el Censo de 1980 otorgan mayores índices de productividad al café al sol, con una relación promedio de 64%¹⁸, y Zambrano (1984, 1986) plantea una relación que varía con la edad: comienza con 51% en el año 2, se mantiene en niveles relativamente estables (67%) entre los años 3 y 9, y asciende a 100% a partir del año 12. Algunos autores derivan conclusiones económicas a partir de la escasa evidencia disponible. Ocampo (1987a), por ejemplo, sugiere que la rentabilidad relativa en las siembras al sol es mayor cuando se trabaja con altas densidades y con precios altos (actuales y esperados) para el café y la tierra.¹⁹

Zoqueo y Bionalidad.

Solía suponerse en la literatura anterior (Zambrano, 1984, 1986, y algunos documentos

disponibles en Cenicafé) que el zoqueo conllevaba una pérdida significativa en productividad con relación al árbol recién sembrado. De hecho, la comparación entre zoca y no zoca en los experimentos C7, C15, C19, C24 y C46 indicaría una caída en productividad que oscila entre 14% y 24% a lo largo del ciclo productivo. Todo parece deberse, no obstante, a un espejismo: el zoqueo se ve generalmente acompañado de pérdida de plantas por enfermedades (llaga macana), y es la menor densidad de siembras resultante la que produce la caída en productividad del 'lote'.²⁰ Los resultados parecen corroborar, entonces, los supuestos empleados por Mestre y Salazar (1991), Ocampo (1987) y Leibovich (1987), cuando asumen que la parcela zoqueada **reproduce** el patrón de producción de la parcela con árboles de nuevas siembras.

Existe un debate amplio sobre la influencia de la **bionalidad**, un fenómeno que como lo anota Machado (1960), se debe a las características biológicas de la planta, y se presenta en todos los cultivos perennes:

"El hábito del cafeto de producir una cosecha abundante un año y más baja al siguiente parece ser universal. La excesiva producción de frutos en una cosecha, frecuentemente está asociada con una intensa defoliación, apareamiento de frutos quemados y muerte descendente de las ramas. Como consecuencia de esto es muy poco el crecimiento del leño nuevo sobre el cual se producirán los frutos de la cosecha siguiente siendo, además, de poco diámetro y frecuentemente desprovistos de hojas en su base. Las flores que allí se logran formar son pequeñas y muy pocas; por lo tanto no es posible conseguir buenas cosechas de café en estas circunstancias... La recuperación se manifiesta por la producción de leño nuevo y vigoroso, con hojas

19 Lo anterior explica, quizá, por qué se siembra café al sol cuando se trata de altas densidades y por qué el porcentaje de café cultivado al sol es mucho más alto en Manizales (87%, 1987) y Palestina (97%, 1987), que en 7 municipios 'menos ricos' del Quindío (30%, 1989) -información provista por el Departamento de Estudios Básicos de la Federación-. También podría explicar el gran incremento en las siembras al sol durante la bonanza cafetera de la segunda parte de los años 70s.

20 Avances Técnicos de Cenicafé, Nos. 123 y 163.

17 El poró se utiliza para proteger el suelo, pues crea una hojarasca que evita su secamiento.

18 Ocampo (1987a).

grandes, abundantes y de color verde oscuro como promesa de una cosecha buena para el año siguiente...los hábitos naturales pueden manifestarse con mayor o menor intensidad de acuerdo con las condiciones de clima, el sistema de poda, y los fertilizantes empleados”.

La bienalidad se presenta tanto a nivel de árbol como de parcela, aún cuando la bienalidad por parcela obedece a un fenómeno estadístico: el año de alta producción no coincide para todos los árbo-

les, y la parcela se encuentra en año de 'alta' cuando hay una proporción elevada de árboles en 'alta' (Quiceno, 1979). También se observa la bienalidad a nivel de país cuando, como en Costa Rica, no existen diferencias regionales importantes en el ciclo de la cosecha.²¹ No sucede lo mismo en Colombia: (Leibovich, 1987) no encuentra una influencia significativa para dicho factor, y Zambrano (1984, 1986) le asigna un peso de apenas 5% en la producción agregada.

II. Materiales y métodos

1. LOS EXPERIMENTOS CONSIDERADOS

Se señalan en la primera parte de esta Sección las principales características de 14 experimentos seleccionados a partir del conjunto disponible en **Cenicafé**, escogiéndose aquellos experimentos que brindasen la mayor disponibilidad de información para los propósitos del artículo. Los 14 experimentos cubren un conjunto amplio de localidades y períodos. El Cuadro 2 presenta su Código, las localidades, las variedades, la distancia y fecha de siembra, el número de tratamientos y el objetivo (fertilización, densidad, etc), el tamaño de la parcela efectiva, y el período de cosecha (primera y última). En el Anexo se profundiza sobre las características específicas de cada ensayo.

El **Ensayo de Uniformidad** (continúa con el experimento IE29) se adelantó en las localidades

de Paraguaquito, *Naranjal* y Rosario para la variedad *Caturra*, pero sólo en Rosario se cuenta con información para un amplio rango de edades: 12 cosechas a nivel de árbol y parcela, y 20 cosechas a nivel de parcela. El ensayo posee una densidad única de 2.500 árboles por hectárea, y un sólo nivel de fertilización de tres toneladas de 12-12-17-2, y es por tanto especialmente apto para analizar la influencia de la edad y la bienalidad sobre la productividad.

El ensayo de uniformidad y los experimentos C7, C9, C15 y C19 (en adelante denominados grupo **base**) fueron considerados como los más relevantes para los objetivos del presente trabajo, por incluir un rango amplio para las variables relevantes.²² Todos los experimentos del grupo base se hicieron en *Naranjal* (y en otras localidades) para la variedad *Caturra*. deberán considerarse con alguna cautela nuestros resultados en materia de fertilizante, pues el único experimento del grupo base orientado a evaluar el impacto del fertilizante sobre la producción es el C9, siendo constante el nivel de dicha variable en los demás experimentos.²³ Finalmente, el experimento C33 permite comparar el comportamiento del cafeto al sol y a la sombra para las variedades *Caturra*, *Borbon* y *Típica* en cuatro localidades. Es el único experimento que considera las tres variedades en cada localidad, y permite comparar la productividad por variedad.

21. Ver J. J. Echavarría, et. al (1991). Un mal año puede hacer que un árbol en 'baja' continúe en 'baja'; el árbol en alta también producirá en 'baja'. El zoqueo también puede cambiar el patrón de bienalidad del árbol.

22 Se cuenta así con 7 niveles de densidad (2.500, 5.000, 10.000, 12.500, 15.000, 17.500 y 20.000), con edades que van desde 2 hasta 10 años, y con tres niveles de fertilización (1.500, 2.250 y 3.000 kilogramos-hectárea-año). Sólo se consideraron las densidades mayores a 10.000 árboles en el C15, y los tratamientos sin manejo en el C19.

23 No existe alternativa. El mismo problema se presenta con el experimento IE9. El C12 incluye mayores densidades, pero trabaja con la variedad Borbón (no con *Caturra*) en *Naranjal*.

No se utilizaron los demás experimentos enumerados en el cuadro 2, a pesar de que la información disponible es sumamente valiosa para futuras investigaciones. Los experimentos C8, C14 y C24 contienen información sobre la influencia individual de diferentes dosis de nitrógeno, fósforo y potasio (solos y combinados). No fue posible incorporarlo al grupo base pues se realizó con la variedad **Borbón en Naranjal**. El experimento C34 analiza diferentes dosis de fertilizante completo para café con sombrío, pero no permite contrastar la producción al sol y a la sombra.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS.

• Caracterización de algunas variables:

Se discute a continuación la forma en que se caracterizarán empíricamente el sombrío, el clima y la bienalidad en la Sección IV, con especial énfasis en la definición de la última variable. Se presentan las diferentes alternativas para la definición y medición del clima, y se ilustra brevemente el esquema adoptado para la captura, mediante variables dummy, del sombrío, la localidad y la bienalidad.

La literatura sobre la influencia del **clima** considera un conjunto amplio (y complejo) de variables que es difícil capturar en un trabajo estadístico (ver el Cuadro 1). Entre los aspectos relacionados con el clima se incluyen los requerimientos energéticos (e.g. radiación solar y temperatura), y los requerimientos hídricos (e.g. las lluvias y la disponibilidad de agua en el suelo). Se considera generalmente que la lluvia afecta en mayor medida las **variaciones** en producción puesto que la temperatura es relativamente estable. En la sección 4 se utilizará el nivel de lluvias como proxy de la variable clima²⁴ pues no se tuvo éxito con el **balance hídrico** (incorpora la cantidad de lluvia, la evapo-transpiración potencial y la capacidad de almacenamiento de los suelos).

La especificación estadística del factor **bienalidad** merece un análisis detenido, y se tratará de justificar acá el tipo de función particular adoptada en la sección IV. Es claro, en primer lugar, y como lo indica Machado (1960), que se trata de un fenómeno universal para el café, y que son las mismas condiciones fisiológicas de la planta las que determinan que si un año es de alta producción, el

siguiente año será de **baja**. Se decía antes, adicionalmente, que la parcela se encuentra en alta cuando es dominante el número de plantas en alta y viceversa.

Se definió por conveniencia un árbol o parcela como **par** como aquel o aquella que presenta mayor producción en los años pares (2, 4, etc.) de cosecha. Si la bienalidad fuese perfecta la producción sería mayor en todas las cosechas pares que en las impares, y bastaría comparar la producción en el año 12 con la del año 11 (por ejemplo) para clasificar el árbol como par o impar. La realidad es más compleja, sin embargo: se presentan otros factores que influyen sobre la producción de cada árbol y existe de todas formas un error aleatorio. Por ello podría encontrarse una mayor producción en el año 12 que en el 11 (sugiriendo que el árbol o parcela es par), y también en el año 11 que en el 10. De hecho, Quiceno (1979) encuentra 20 patrones de producción en el ensayo de Uniformidad.

Existen varias alternativas prácticas para clasificar el árbol o parcela como par o impar: a) Observar si la producción es mayor en el año par que en el anterior año impar para las cosechas iniciales (e.g. comparar la producción del árbol o parcela en los 2 primeros años - método seguido por Quiceno 1979); b) Establecer la misma comparación para las cosechas finales (e.g. años 11 y 12); c) Determinar si la producción en los años pares es mayor para una proporción alta de los casos. Se trabajó con las alternativas b) y c) pues el patrón de bienalidad es altamente probable cuando la planta madura, e incierto para bajas edades (Quiceno, 1979).

En resumen, en 12 cosechas se utilizaron dos alternativas para clasificar el árbol como par o impar. En el primer caso se comparó la producción en los años 12 y 11, y en el segundo se comparó la producción de los años pares con la de los impares anteriores. El árbol o parcela se clasificó como par cuando la producción en el árbol 12 era mayor a

²⁴ No se consideraron exhaustivamente las distintas posibilidades empíricas que podrían enriquecer el análisis. Jaramillo y Valencia (1980), por ejemplo, sugieren que la precipitación y la humedad del suelo sólo inciden en aquellas regiones donde se presenta un período seco marcado; y la radiación solar en las demás.

Cuadro 2
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS EXPERIMENTOS UTILIZADOS

PROYECTO	LOCALIDAD	VARIEDAD	DISTANCIA	FECHA DE SIEMBRA	TRATAMIENTO		TAMAÑO PARCELA (PLANTAS)	1A COSECHA	ULTIMA CO- SECHA	
					No.	TIPO 1/				
ENSAYO DE UNIFORMIDAD	ROSARIO	CATURRA	2 x 2	Sep. 62			720	65	77	
	NARANJAL	CATURRA	2 x 2	Oct. 61			540	63	68	
	PARAGUAICITO	CATURRA	2 x 2	Nov. 63			720	65	70	
IE-29	ROSARIO		2 x 2	Sep. 62			5 96	78	84	
C-6	SUPIA	CATURRA	2 x 2	Mar. 77			9	78	79	
	GIGANTE	CATURRA	2 x 2	Oct. 79			9	81	84	
	NARANJAL	BORBON	2.5 x 2.5	Jun. 67	27	F	54	9	69	72
	CENICAFE	CATURRA	2 x 2	Jun. 67			9	68	72	
	PARAGUAICITO	CATURRA	2 x 2	Jul. 68			9	70	74	
	ROSARIO	CATURRA	2 x 2	May. 66			9	68	70	
	PIAMONTE	CATURRA	2 x 2	May. 66			9	68	73	
	MESITAS	BORBON	2.5 x 2.5	Jun. 67			9	68	71	
	GRANJAS	BORBON	2.5 x 2.5	Abr. 69			9	70	74	
	TRINIDAD	CATURRA	2 x 2	Dic. 70			9	72	77	
	ALBAN	CATURRA	2 x 2	SEP. 73			9	75	77	
	HAVILUZ	BORBON	2.5 x 2.5	Feb. 74			9	76	78	
	MISIONES	CATURRA	2 x 2	Oct. 77			9	78	79	
C-7	LIBANO	CATURRA		Dic. 70	10	Dm	40 100	72	77	
	NARANJAL	CATURRA		Nov. 65	10		40 100	67	74	
	PIAMONTE	CATURRA		May. 68	10		40 100	69	74	
	MESITAS	CATURRA		Sep. 67	10		40 100	69	73	
	PARAGUAICITO	CATURRA		Ene. 66	10		30 100	67	73	
	GRANJA	CATURRA		Mar. 68	10		40 100	69	74	
C-8 73	PARAGUAICITO	CATURRA	CON RALEO		Jun. 66	6 Dm	24	100	67	
	ROSARIO	CATURRA		Abr. 67				68	73	
	MESITAS	CATURRA		May. 68				69	74	
	NARANJAL	CATURRA	ORIGINAL	Nov. 65				67	74	
	NARANJAL	CATURRA	ZOCA	Nov. 65				76	82	
C-9	NARANJAL	CATURRA	2 x 2	Oct. 67	12	FF	48	9	69-70	73-74
	ROSARIO			Mar. 68				9	69	74
	SUPIA		1.5 x 1.5	Sep. 70				9	73	76
	ALBAN			Ago. 73				9	75	77
	PIAMONTE			May. 68				9	69	73
	GRANJAS			May. 70				9	72	76
	PARAGUAICITO			Jun. 68				9	70	73
	TRINIDAD			May. 71				9	72	79
	MOSQUETER.		May. 74					9	76	79
	CENICAFE			Abr. 75				9	76	79
	MISIONES			Oct. 76				9	78	85
GIGANTE	CATURRA	2 x 2	Nov. 79				9	81	85	

PROYECTO	LOCALIDAD	VARIEDAD	DISTANCIA	FECHA DE SIEMBRA	TRATAMIENTO		TAMAÑO PARCELA (PLANTAS)	1A COSECHA	ULTIMA CO- SECHA		
					No.	TIPO 1/					
C-12	NARANJAL	BORBON		May. 68	16	FD	48	6	69	73	
	SUPIA	CATURRA		Ene. 71				4	72	76	
	ROSARIO	CATURRA		May. 67				4	69	73	
	HAVILUZ	CATURRA		Jul. 73				4	75	78	
	LIBANO	CATURRA		Abr. 71				4	73	77	
	MESITAS	CATURRA		Mar. 68				4	69	73	
	QUINDIO	CATURRA		Ago. 70				4	72	76	
C-14	NARANJAL	CATURRA		May. 68	9	D	36	Vari	69	80	
C-15	NARANJAL	CATURRA		Ago. 68	14	D	42		70	74	
C-19	PARAGUAICITO	CATURRA		Abr. 12/76	9	Dm	36	v100M	2.78	83	
	SUPIA	CATURRA		Ene. /71				a	72	76	
	ROSARIO	CATURRA		Feb. 21/72				r	73	77	
	NARANJAL			Jul. 15/69				i	70	80	
	ALBAN			Ago. 17/76				a	78	81	
	LIBANO			May. 25/71				72	77		
C-24	NARANJAL	CATURRA		Sep. /72	15	Dm	60	25	74	82	
	TRINIDAD	CATURRA		Jun. 22/71				25	73	83	
	ALBAN	CATURRA		Ago. 12/76				25	78	82	
	PARAGUAICITO	CATURRA		Nov. 05/76				25	78	83	
C-33	LIBANO		1.5 x 1.5	Jun. /73	6	Vss	24	v	75-78	80-85	
	PARAGUAICITO			Jul. /73				a	75-79	82-84	
	NARANJAL		2 x 2	Nov. /73				r	75-79	81-83	
	ALBAN			Oct. /74				i	76-78	80-82	
C34	SUPIA	COLOMBIA	2 x 2	Ene. 30/80	4	FSo	16	3	6		
	PARAGUAICITO	BORBON	2 x 2	May. 18/73	4	FSo		16	75	81	
	TRINIDAD	BORBON	2 x 2	Ago. 26/73					75	77	
	NARANJAL	BORBON	2 x 2	Mar. 16/73					75	80	
	ROSARIO	BORBON	2 x 2	Mar. 24/75					77	81	
	ALBAN	BORBON	2 x 2	Jun. 24/74					76	83	
C-42	ROSARIO	CATURRA	1.5 x 1.5	Dic. 26/74	4	Fqo	24	1	6	76	81
	SUPIA			Feb. 27/76					76	81	
	ALBAN			Ago. 26/76					78	81	
	PARAGUAICITO		1.5 x 1.5	Nov. 17/76					78	81	
	TRINIDAD			Ago. 26/76					78	81	
	NARANJAL			Jul. 11/75					77	80	
	GIGANTE			Ago. 3/79					81	84	
IE-9	ROSARIO	CATURRA		Oct. 15/64	12	DF	48	4	66	72	
	PIAMONTE	CATURRA		May. 3/65	12	DF	48	4	67	72	
	PARAGUAICITO	CATURRA		Jun. /63	12	DF	48	4	65	71	
	NARANJAL	CATURRA		Jun. /63	12	DF	48	4	65	70	

F: Fertilizante; FF: Fertilizante-Frecuencia; FD: Fertilizante y Densidad; FS: Fertilizante y Sombrío; FQo: Fertilizante y Químicos Orgánicos; DM: Densidad y Manejo; VS: Variedad y Sombrío.

aquella en el año 11 (primera alternativa), o cuando la producción en los años pares era superior en la mayoría de los casos (segunda alternativa). Se creó una variable dummy para capturar la bialidad, con un valor de 1 cuando el árbol o parcela se encuentran en alta, y con un valor de 0 cuando se encuentran en baja. Los árboles pares tendrán un patrón del tipo 0 (para la primera cosecha), 1, 0, 1...0, 1, y los impares uno del tipo 1,0,1,0...1,0...²⁵. Las conclusiones empíricas resultan ser similares para ambas alternativas en la Sección IV.

• La forma funcional de las ecuaciones y otros aspectos biométricos:

Pocos de los estudios reseñados en la Sección II incorporan la influencia **simultánea** de los distintos factores, y menos aún las **interacciones** entre variables; los trabajos que tratan de medir la influencia de la densidad o fertilización no consideran el clima o la edad y algo similar sucede con aquellos sobre clima con respecto a los demás factores. Ambas limitantes se subsanan en este trabajo: se utiliza en todos los casos un modelo de regresión múltiple (con lo cual se 'aisla' la influencia de cada variable suponiendo constantes las demás) para un conjunto amplio de variables dependientes. Se incorporan también los efectos cruzados entre la densidad, el sombrero y la edad.

En cuanto a la forma funcional empleada, se utilizaron polinomios hasta de grado 4 para permitir curvaturas y cambios en pendientes (cambios en las segundas y terceras derivadas), y sólo se elimina alguna potencia cuando no resulta estadísticamente significativa,²⁶ o cuando no lo permite el diseño del experimento por ser reducido el rango para la variable considerada (e.g.) sólo se cuenta con 4 cosechas en el experimento C33, y ello nos lleva a considerar un polinomio hasta de grado 3 para la edad).

En el caso del clima sería deseable incluir la lluvia en cada uno de los doce meses del año, y descartar luego los meses no significativos, pero ello conduce a una multicolinealidad (casi perfecta) entre las variables. Se optó, como alternativa, por incluir el nivel de lluvia sólo en aquellos meses considerados a priori importantes: marzo (con un signo negativo esperado), junio y julio (para los

cuales se espera una influencia positiva); las lluvias en abril deberían incidir positivamente sobre la producción del siguiente año (ver Sección II, Naranjal).

Resumiendo, la forma funcional y la manera como se especifica las variables conducen a estimar la siguiente ecuación (1):²⁷

Puesto que se trata de un análisis que combina series de tiempo con información transversal, es de esperar que se presenten problemas relacionados con heteroscedasticidad y autocorrelación de residuos.²⁸ Se utilizó la metodología de mínimos cuadrados generalizados para corregir la heteroscedasticidad, pero existen dificultades operacionales para detectar y corregir por autocorrelación (los ensayos no tienen la misma duración). Los coeficientes de regresión son sensibles a los cambios en la información cuando existe autocorrelación, y futuras investigaciones deberán analizar el sesgo que introduce este problema en nuestros resultados.

• Comparaciones entre localidades:

Se considera tradicionalmente que las condiciones de producción son óptimas en **Naranjal**, y ello significa que el coeficiente b_1 de la ecuación (1)

25 Para estudiar la bialidad algunos autores trabajan con valores de 1 y -1 con lo cual reproducen exactamente los resultados para la dummy 0, 1 (excepto por el interceptor de la función). Castillo (1964) utiliza la función coseno para simular comportamientos cíclicos.

26 Esta es la metodología recomendada por autores como Hendry y Richard (1983). En consideración a lo anterior se adoptaron polinomios de segundo grado para la densidad y la fertilización.

27 Se utilizaron polinomios de grado 4 para la densidad y el fertilizante pero los coeficientes no resultaron estadísticamente significativos para los grados 3 y 4. Sólo se consideró el efecto cruzado entre la edad y la densidad para no hacer excesivamente engorroso el tratamiento de la información. Futuras investigaciones deberán profundizar sobre la influencia de los demás efectos cruzados.

28 Se evaluó la presencia (o no) de heteroscedasticidad mediante las pruebas de Golfeld-Quandt y de Breusch-Pagan, y se utilizaron mínimos cuadrados generalizados cuando ésta resultase significativa. Es claro, de otra parte, que el diseño experimental adoptado conduce a la autocorrelación de residuos, ya que los datos de la producción se recogen sobre los mismos árboles y en las mismas parcelas en los diferentes años; un árbol o parcela con producción 'alta' (respecto a la media) en un año específico podría ser también de producción alta en los años siguientes.

$$\begin{aligned}
 Q = & \beta_1 + \\
 & + \beta_2 \text{ Edad} + \beta_3 \text{ Edad}_2 + \beta_4 \text{ Edad}_3 + \beta_5 \text{ Edad}_4 + \\
 & + \beta_6 \text{ Densidad} + \beta_7 \text{ Densidad}^2 + \\
 & + \beta_8 \text{ Fertilizante} + \beta_9 \text{ Fertilizante}^2 + \\
 & + \beta_{10} \text{ Precipitación (Marzo)} + \beta_{11} \text{ Precipitación (Abril)} + \\
 & + \beta_{12} \text{ Precipitación (Junio)} + \beta_{13} \text{ Precipitación (Julio)} \\
 & + \beta_{14} \text{ Bienalidad} + \\
 & + \beta_{15} \text{ Edad} * \text{Densidad} \\
 & + \mu
 \end{aligned}$$

Donde:

- Q: Producción (en arrobas) de café pergamino seco por hectárea.
 Edad: Edad del cultivo en años
 Densidad: Número de árboles por hectárea
 Fertilizante: Cantidad de fertilizante compuesto en kilogramos por hectárea.
 Precipitación: Condición climática (lluvia) para cada mes.
 Bienalidad: 0,1,0,1... cuando el árbol es par, y 1,0,1,0... cuando el árbol es impar.
 μ : Error aleatorio.

resultará sumamente alto (en términos relativos) para los experimentos realizados en dicha localidad. No obstante, la evidencia empírica disponible (y el conocimiento de los 'expertos') sugiere que no ocurre lo mismo para los coeficientes b_2 - b_{15} . En otras palabras, se presentan diferencias importantes en las alturas (b_1) de las curvas, pero no así entre curvaturas o pendientes (b_2 - b_{15}).²⁹ A manera de ejemplo, si la producción por hectárea se eleva en 50% cuando la densidad cambia desde 2.000 hasta 10.000 árboles por hectárea, ello ocurriría tanto en **Naranjal** como en las demás localidades.

No es fácil confirmar o refutar las hipótesis anteriores pues no se dispone de un conjunto amplio de experimentos adelantados simultánea-

mente en diferentes localidades para la misma variedad. ¿Cómo comparar lo sucedido en **Naranjal** y el Rosario si dos de los experimentos del grupo base no se hicieron en el Rosario, y si algunos experimentos como el C6 se realizaron con variedades diferentes en cada localidad? Fue posible una comparación parcial de los resultados, sin embargo, empleando el siguiente procedimiento: se estimaron regresiones para el grupo base (C7, C9, C15 y C19) con la variedad **Caturra** en **Naranjal**, y luego se consideró si los parámetros d_2 - d_{15} diferían de los del C7. Las conclusiones sugieren que las hipótesis sobre 'paralelismo' son correctas aún cuando se requiere investigación adicional antes de llegar a conclusiones sólidas en este campo.

III. La función de producción en café

1. EDAD Y BIENALIDAD EN EL ENSAYO DE UNIFORMIDAD

Las características del **Ensayo de Uniformidad** le hacen especialmente apto para el análisis de la

influencia de la edad y la bienalidad sobre la productividad: se realizó durante 20 cosechas, para una sola variedad, una sola densidad, y un único nivel de fertilización. Las razones expuestas en la Sección anterior llevaron a ajustar un polinomio de grado 4 para la edad y a considerar el factor bienalidad mediante variables dummy; se trató sin éxito de incluir la influencia del clima.

²⁹ El trabajo de Orozco (1991) para los experimentos C7, C8, C19, C35 y C37 sugieren que éste es el caso cuando se compara **Naranjal** con otras localidades.

El Cuadro 3 presenta los principales resultados estadísticos, considerando la información a nivel de parcela para 22 años,³⁰ tanto para mínimos cuadrados ordinarios como generalizados, utilizando las dos definiciones alternativas de bienalidad en las columnas (3) y (4): la parcela es par cuando el número de casos ocurre frecuentemente (Columna 3), o cuando la producción en el año 12 es mayor a la del año 11 (Columna 4).³¹

Resultan significativos con un nivel del 1% todos los coeficientes del polinomio de edades, con un máximo en productividad a los 6 años (Gráfico 2). La importancia de la bienalidad es a todas luces clara al elevar el coeficiente R2 desde 0.35 hasta 0.49 para mínimos cuadrados ordinarios, y desde 0.47 hasta 0.72 para mínimos cuadrados generalizados.³² Los resultados son prácticamente idénticos en las dos definiciones de bienalidad.

El Gráfico 2 ilustra los resultados para la Columna (4) del Cuadro 3, diferenciando el cafetal en alta y en baja. La productividad cae a tasas del 3%-4% entre los años 8 y 14, y a tasas sustancialmente menores (1%-2% entre los 15 y 19 años. El eje derecho indica que se produce 30% más café en los años de alta, con una relación que desciende ligeramente entre los años 2 y 6, y asciende durante los años subsiguientes: la bienalidad resulta más marcada a medida que el árbol envejece.

2. GRUPO BASE: DENSIDAD, EDAD, FERTILIZACIÓN Y LLUVIA

El ensayo de uniformidad posee las características ideales para determinar la influencia de la edad y la bienalidad en la productividad de la planta, pero queda por determinar el efecto de otras varia-

bles como densidad, la lluvia, y la fertilización. Para responder estas preguntas se trabajó con el denominado grupo base de experimentos (C7, C9, C15 y C19), que incluye 7 niveles de densidad (desde 2500 hasta 20000), 8 niveles de edad (2 a 10 años), y tres dosis de fertilizante completo. Se consideró únicamente la localidad de Naranjal y la variedad Caturra. Siguiendo las recomendaciones de los estudios sobre la fisiología del cafeto, se trabajó con el nivel de lluvias en los meses de marzo, junio y julio, y el efecto rezagado de las lluvias en abril.

Se esperan signos negativos para el cuadrado de la edad, la densidad y la fertilización (la productividad alcanza un máximo), negativo para las lluvias de marzo, y signo positivo para las lluvias de abril (rezagado), junio y julio. Las pruebas empleadas para detectar la presencia de heteroscedasticidad resultaron significativas, y por ello se reportan los resultados para mínimos cuadrados ordinarios y generalizados (Cuadro 4); el coeficiente de determinación R2 mejora con la segunda metodología.

Los coeficientes para los polinomios de edad y densidad resultan significativos al 1%, pero no sucede lo mismo con el fertilizante.³³ Los signos son correctos en todos los casos (también para el fertilizante) exceptuando la precipitación en junio, y los coeficientes de las demás variables no se ven afectados al incluir o excluir la precipitación. Existen valores máximos para la edad, la densidad, y la fertilización, y el signo de la variable densidad*edad indica que las diferencias en productividad (para altas y bajas densidades) descienden con la edad del cafeto (ver Gráfica 3, Panel C); algunos de los resultados anteriores se discutirán y ampliarán en la siguiente Sección.

30 Se corrieron regresiones con información a nivel de árbol durante 14 años, y a nivel de parcela durante 22 y 14 años (22 años para cinco parcelas de 96 árboles; 14 años para las otras cinco parcelas). No se presentan diferencias importantes en los resultados cuando se trabaja a nivel de árbol o de parcela.

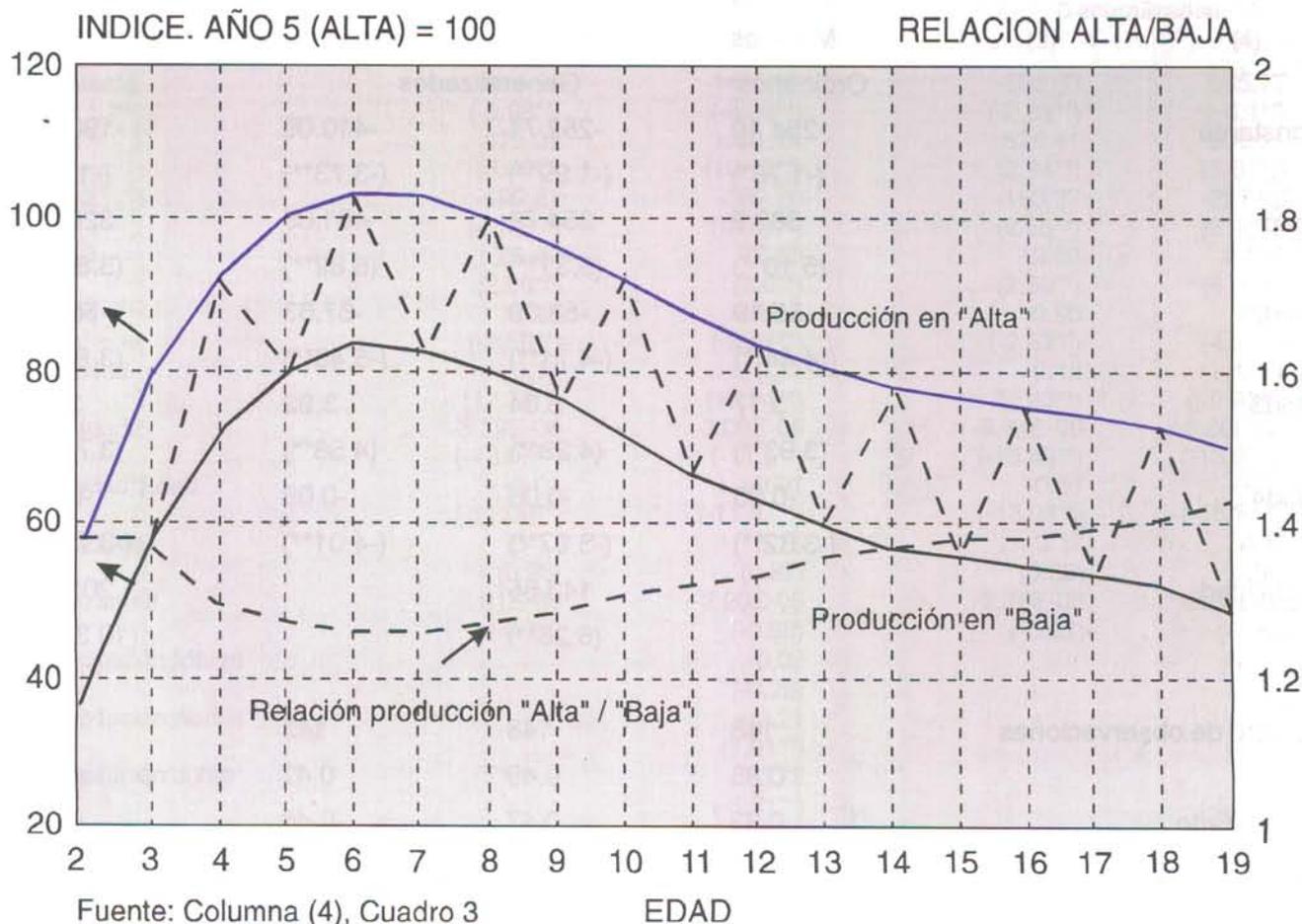
31 516 de los 702 árboles considerados resultaron 'pares' según la primera definición, y 552 según la segunda; 511 árboles resultaron pares en ambas definiciones (161 impares en ambas definiciones).

32 La diferencia es marcada cuando se trabaja con información a nivel de árbol, en cuyo caso el coeficiente de determinación se eleva desde 0.10 hasta 0.56

33 Tampoco se obtienen resultados significativos en la siguiente sección, cuando se combinan los resultados del ensayo de uniformidad y el grupo base. Se indica en el Anexo 1, sin embargo, que no pueden descartarse las recomendaciones de Cenicafé (1.6 toneladas) si se considera que la información contenida en el experimento C12 indica que el máximo se obtiene para 1.6-1.8 toneladas. Se trata de un tema 'espinoso' y no enteramente resuelto sobre el cual se requiere mayor investigación. Recuérdese (Sección II) que los resultados de Mestre y Uribe (1980, C9) y de Uribe y Salazar (1981, C12) tampoco eran enteramente satisfactorios en este campo.

Gráfico 2

**ENSAYO UNIFORMIDAD
INFLUENCIA DE LA EDAD Y LA BIENALIDAD**



La magnitud de los coeficientes para la variable clima atienden a confirmar las conclusiones de Gómez (1977) y Jaramillo *et. al* (1987), con un efecto (sobre la productividad) cercano al 8% bajo mínimos cuadrados ordinarios, y despreciables cuando se considera la metodología alternativa de mínimos cuadrados generalizados (compárense los coeficientes R^2 en las columnas 1 y 2, y en las columnas 3 y 4). Los coeficientes de la lluvia en marzo, abril y julio presentan los signos esperados, y son generalmente significativos.

3. UNIFORMIDAD Y GRUPO BASE CONSIDERADOS CONJUNTAMENTE

Los resultados para el grupo base son satisfactorios cuando se considera la influencia de las diferentes variables, pero se presenta un inconveniente que sería deseable subsanar. El grupo base (para 2500 árboles) sobre-estima el incremento en productividad (y el máximo se presenta muy temprano) entre los años 2 y 5, y sobre estima la caída en los años posteriores: desciende a una tasa anual del 3% a partir del año 7 en el grupo base, y a una tasa menor al 2% en el ensayo uniformidad.

Cuadro 3.
EL ENSAYO DE UNIFORMIDAD 22 AÑOS
INFLUENCIA DE LA EDAD Y LA BIENALIDAD

	(1)	(2)	(3)	(4)
	Mínimos Ordinarios	Cuadrados Generalizados	Mínimos	Cuadrados
Constante	-254.10 (-1.78*)	-252.71 (-1.99**)	-410.06 (-3.73**)	-198.67 (-1.11)
Edad	382.9 (5.10**)	354.79 (5.31**)	461.65 (6.82**)	326.68 (3.89**)
Edad2	-55.19 (-4.44**)	-52.09 (-4.71**)	-67.63 (-5.48**)	-50.33 (3.81**)
Edad3	3.17 (3.93**)	3.04 (4.23**)	3.92 (4.58**)	3.10 (3.74**)
Edad4	-0.06 (-3.62**)	-0.06 (-3.97**)	-0.08 (-4.01**)	-0.07 (-3.79**)
Bienalidad		143.65 (6.26**)		201.37 (10.32**)
Número de observaciones	148	148	143	139
R ²	0.35	0.49	0.47	0.72
R2 Ajustado	0.33	0.47	0.46	0.70

Las cifras en paréntesis corresponden al valor del coeficiente 't', calculado; **: Nivel de significación del 1%; *: Nivel de significación del 5%.

(2): bienalidad definida según la proporción de casos pares o impares.

(4): Bienalidad definida al comparar la producción en los años 11 y 12.

Existen varias explicaciones de las diferencias en los resultados, pero dos de ellas son apenas obvias. En primer lugar, no se cuenta en el grupo base con un período de estimación siquiera comparable al del ensayo uniformidad (22 años), pues el experimento con mayor rango para la edad trae información para sólo 10 años. En segundo lugar, no se tuvo éxito al incluir la variable bienalidad en el grupo base, y ello podría deberse nuevamente a la ausencia de altas edades. Se mencionó antes cómo los patrones de bienalidad son más regulares una vez la planta madura.

En consecuencia, se decidió estimar la influencia de la densidad, la fertilización y el clima en el grupo base, asumiendo como correctos los coeficientes del polinomio de edades en el ensayo de uniformidad. El Cuadro 5 presenta los resultados para las estimaciones 'restringidas',³⁴ sin incluir el factor clima por ser baja su influencia en las regresiones anteriores.

34 Si en el ensayo de uniformidad se encuentra una función $Y = \beta_1 + \beta_2 \cdot \text{Edad} + \beta_3 \cdot \text{Bienalidad}$, donde Edad corresponde al polinomio de edades, para el grupo base se estimará una función $(Y - B2 \cdot \text{Edad}) = B1' + B2' \cdot \text{Densidad} + B3' \cdot \text{Fertilizante} + B4' \cdot \text{Precipitación}$.

Cuadro 4

LA FUNCION DE PRODUCCION EN CAFE
GRUPO BASE DE EXPERIMENTOS. VARIEDAD CATURRA, EN NARANJAL

	Mínimos Cuadrados Ordinarios		Mínimos Cuadrados Generalizados	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Constante	-814.94 (-2.68**)	-1421.37 (-6.38**)	-686.63 (-2.33**)	-955.77 (-4.1**)
Edad	675.02 (3.05**)	1301.14 (10.13**)	529.41 (2.94**)	805.31 (5.87**)
Edad2	-199.81 (-2.78**)	-389.29 (-8.67**)	-153.37 (2.65**)	-227.98 (5.02**)
Edad3	25.49 (2.66**)	48.53 (7.6**)	19.62 (2.60**)	27.12 (4.43**)
Edad4	-1.16 (-2.59**)	-2.14 (-6.81**)	-0.90 (-2.63**)	1.16 (4.02**)
Densidad	0.11 (17.24**)	0.11 (17.24**)	0.12 (21.43**)	0.11 (19.93**)
Densidad2	-3.19E-06 (-12.07**)	-3.00E-06 (-11.5**)	-3.44E-06 (-15.49**)	-2.80E-06 (-13.92**)
Densidad*Edad	-0.01 (-11.09**)	-0.01 (-11.37**)	-0.01 (-13.08**)	-0.01 (-15.81**)
Fertilizante	0.17 (0.96)	0.15 (0.87)	0.17 (0.82)	0.16 (0.94)
Fertilizante2	-2.81E-05 (-0.72)	-2.20E-05 (-0.59)	-2.76E-05 (-0.61)	-2.53E-05 (-0.69)
Precipitación Marzo		-0.02 (-0.28)		0.002 (0.04)
Precipitación Abril-1		0.21 (1.91**)		0.01 (0.05)
Precipitación Junio		-0.72 (-5.81**)		-0.61 (-5.42**)
Precipitación Julio		0.81 (6.5**)		0.52 (4.41**)
Número de observaciones	728	721	714	721
R ²	0.49	0.57	0.62	0.62
R ² Ajustado	0.48	0.56	0.61	0.61

Fuente: Experimentos C15 (Densidades mayores a 10000), C19 (tratamientos sin manejo), C7 y C9.

Las cifras en paréntesis corresponden al coeficiente 't'; **: Nivel de significancia del 1%; *: Nivel de significancia del 5%

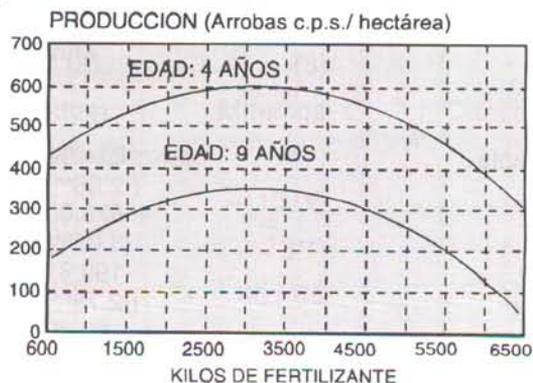
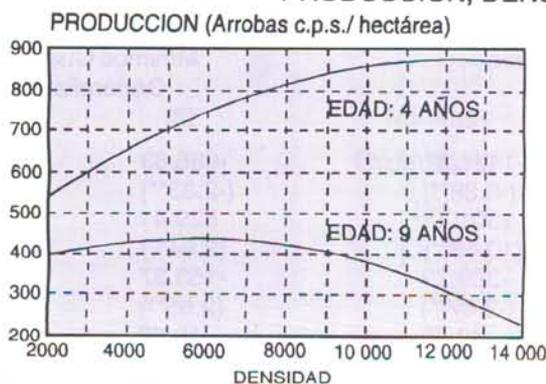
Los valores para detectar la heteroscedasticidad resultaron significativos para las dos pruebas empleadas. El coeficiente de determinación R² mejora bajo mínimos cuadrados generalizados, y los coeficientes de los parámetros tienen características similares a los del ejercicio anterior: resultan significativos y con signo correcto para el polinomio de densidad, y para los efectos cruzados entre densidad y edad, pero no son significativos (si tienen signo correcto) para el fertilizante. No se reportan

los valores 't' para la edad o la bienalidad por tratarse de parámetros forzados exógenamente a partir del ensayo uniformidad.

En el Gráfico 3 se ilustran algunos resultados derivados de la columna 2 del Cuadro 5 (mínimos cuadrados generalizados), considerando el efecto de la densidad, el fertilizante y la edad para valores particulares de las demás variables. La productividad máxima se obtiene para densidades de 12.000

Grafico 3

PRODUCCION, DENSIDAD, EDAD Y FERTILIZACION

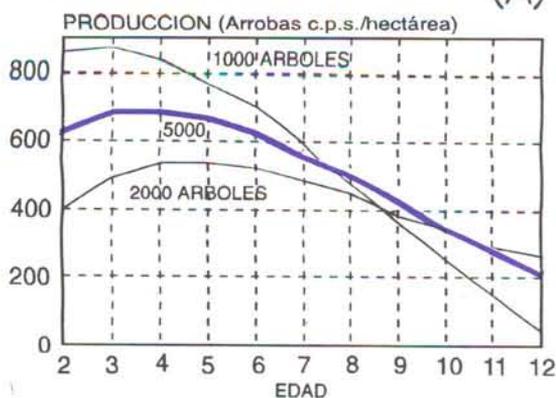


1.5 Toneladas de fertilizante

(A)

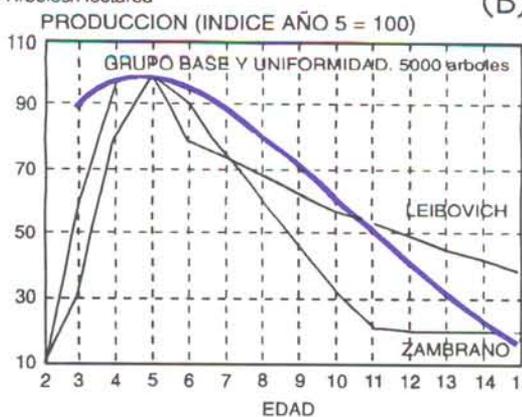
5000 Árboles/Hectárea

(B)



1.5 Toneladas de Fertilizante
c.s.p. Café Pergamino Seco
Fuente: Cuadro 5, columna 2

(C)



(D)

árboles en cafetos jóvenes (4 años) y de 6.000 árboles en cafetos viejos (9 años), y para una dosis de fertilizante de 3 toneladas por hectárea. El máximo se obtiene a los 3, 4 y 5 años de edad cuando se siembra con densidades de 10.000, 5.000 y 2.000 árboles por hectárea respectivamente. Este último resultado obedece a la importancia del efecto cruzado entre densidad y edad, e indica que tiene un costo sembrar a densidades altas cuando el cafetal envejece.

¿Cómo se comparan nuestros resultados con aquellos reseñados en la Sección II? El máximo según densidad (12.000) es menor al que encuentran Uribe y Mestre (14.200), aún cuando los autores afirman al comienzo de su artículo que parece

razonable esperar un máximo de productividad para 12.000 árboles por hectárea. De otra parte, nuestros resultados en materia de fertilización (máximo para 3 toneladas) difieren sensiblemente de los de Mestre (1977, experimento IE9, 1.6 toneladas) pero no lo invalidan por no ser significativos los coeficientes a un nivel estadístico aceptable. La información contenida en el experimento C12 no permite aún conclusiones definitivas en este campo, pero arroja un máximo cercano a aquel recomendado por Cenicafe (ver Echavarría, 1992).

El Gráfico 3D compara la productividad obtenida para una densidad de 5.000 árboles por hectárea con la que encuentran Leibovich (1987) y Zambrano (1984) respectivamente. El máximo en producción

se presenta a los 5 años en todos los casos, pero ambos autores sobre estiman la caída en productividad entre los 5 y 10 años. El valor obtenido en este trabajo para la productividad en el año 15 prácticamente coincide con el que estima Zambrano (y es inferior al que presenta Leibovich), pero parece erróneo asumir que el nivel se mantiene constante a partir del año 12.³⁵

4. DIFIEREN LOS RESULTADOS ENTRE LOCALIDADES Y EXPERIMENTOS?

En el Cuadro 6 se comparan los coeficientes anteriores con aquellos obtenidos en un ejercicio similar para el experimento C7, y se observa que existen diferencias significativas en la altura de las curvas (B1) pero no en sus pendientes o curvaturas. En efecto, el valor del coeficiente F (Columna 3) es sustancialmente mayor al valor crítico (2.0) cuando se considera el intercepto (5.04), pero muy bajo para los coeficientes del polinomio de edades o para los efectos cruzados entre la edad y la densidad. Nuestros resultados sugieren que la hipótesis de 'paralelismo' es válida, y confirman los de Orozco (1991) y los de Uribe y Salazar (1981, C12). Orozco comparó los coeficientes obtenidos en Naranjal y en otras localidades para los experimentos C7, C8, C35 y C37, y Uribe y Salazar los coeficientes de fertilización en 7 localidades.

5. LUMINOSIDAD

El Cuadro 7 reporta los resultados de regresión para el experimento C33, adelantado en tres localidades (Libano, Paraguaicito y Naranjal³⁶) para las variedades Caturra, Borbón y Típica. Se ajustó un polinomio de grado 3 para la edad pues las series siembra original consideran apenas 4 cosechas. Se incluyeron 2 dummies para las 3 localidades (la base es Naranjal), y una dummy para la luminosidad (0

³⁵ La justificación dada por Zambrano en este respecto es bastante cuestionable. Según el autor "para plantaciones con más de 10 años se ha supuesto que el proceso de deterioro que se observa experimentalmente es detenido por el productor mediante prácticas culturales que conviertan el cafetal en una plantación cuya productividad es similar a la tradicionales. ... "Nada garantiza este supuesto. Ver H. Zambrano, "La Política de Precio Interno, el Ingreso de los Caficultores y las Tendencias de la Producción" (mimeo), Agosto de 1988.

Cuadro 5.
LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN EN CAFÉ
GRUPO BASE DE EXPERIMENTOS

(Parámetros restringidos)

	Mínimos Cuadrados Ordinarios (1)	Mínimos Cuadrados Generalizados (2)
Constante	-755.53 (-3.04**)	-729.08 (-2.12**)
Edad	-326.68	326.68
Edad2	-50.33	-50.33
Edad3	-3.10	3.10
Edad4	-0.07	-0.07
Bienalidad	201.37	201.37
Densidad	0.13 (17.92**)	0.13 (23.14**)
Densidad2	-3.51E-06 (-10.29**)	-3.46E-06 (-13.77**)
Densidad*Edad	-0.01 (-19.67**)	-0.01 (-28.18**)
Fertilizante	0.19 (0.87)	0.18 (0.55)
Fertilizante2	-3.5E-05 (-0.71)	-2.9E-05 (-0.42)
Número de observaciones	728	728
R ²	0.49	0.63
R ² Ajustado	0.48	0.63

Fuente: Experimentos C15 (densidades mayores a 10000), C19 (tratamientos sin manejo), C7 y C9.

Las cifras en paréntesis corresponden a los valores 't'.

** : Nivel de significación al 1%

* : Nivel de significación al 5%

Los parámetros para la bienalidad, y para el polinomio de edades se tomaron del ensayo de uniformidad. Ver Cuadro 4.

para sombrío y 1 para plena exposición). No resultó significativo el efecto cruzado entre luz y edad.

Los coeficientes R2 y R2 ajustados oscilan entre 0.68 y 0.76, y el polinomio de edades resulta altamente significativo (excepto para el grado 3 en la variedad Típica) y con signos correctos. El signo negativo (y generalmente significativo) para las dummies por localidad indican que la productividad

³⁶ Se excluyó la localidad de Albán pues los investigadores de Cenicafé reportaron inconvenientes en este lugar. Por la misma razón se excluyó la información para el café Típica en Paraguaicito

Cuadro 6.
COMPARACION ENTRE LOS RESULTADOS
PARA EL GRUPO BASE-UNIFORMIDAD Y
PARA EL C7

Variable	Coefficientes Grupo Base (1)	F C7 (2)	(3)
Intercepto	-729.08 (-2.12)	-489.52 (-10.31)	5.04
Densidad	126.72 (23.14)	131.27 (6.77)	0.23
Densidad2	-3.46 (-13.77)	-2.44 (-1.68)	0.70
Densidad*Edad	-11.46 (-28.18)	-12.72 (-18.45)	-1.83
Fertilizante	175.20 (0.55)		
Fertilizante2	-29.11 (-0.42)		
Edad	326.07		
Edad2	(-50.33)		
Edad3	3.10		
Edad4	(-0.07)		
Bienalidad	201.37		
Observaciones	728	320	
R2	0.63	0.80	
R2 Ajustado	0.63	0.80	

es mucho más alta en Naranjal, y el signo positivo para la dummy sol-sombra sugiere que se presentan diferencias importantes en productividad cuando se comparan las dos modalidades de cultivo, ello ocurre para las tres variedades (Gráfico 4), con una relación promedio de 70% en Caturra y Borbón, y de 83% en Típica. La relación asciende en todos los casos entre el segundo y el cuarto año, y desciende ligeramente durante los dos años posteriores.

No se ha hecho referencia en el documento a la productividad de las diferentes variedades de café, pero es posible deducirla de los resultados anteriores (Gráfico 5). La productividad de la variedad **Borbón** supera en 44% y 20% la del Típica cuando

Cuadro 7.
EXPERIMENTO C33.
LA INFLUENCIA DE LA SOMBRA

	Caturra	Borbón	Típica
Constante	-1802.70 (-6.37**)	-1410.34 (-6.48**)	-605.24 (-2.96**)
DLíbano	-93.65 (-3.91**)	-100.19 (-5.44**)	-73.89 (-5.17**)
DParaguaicito		-4.94 (-0.22)	-34.97 (-2.07**)
Edad	1673.93 (6.86**)	1208.29 (6.44**)	498.96 (2.82**)
Edad2	-383.50 (-5.88**)	-252.75 (-5.04**)	-82.64 (-1.74*)
Edad3	27.27 (5.00**)	16.18 (3.86**)	3.92 (0.98)
Dluz	172.00 (9.25**)	130.24 (9.1**)	47.85 (3.54**)
Observaciones	112	112	78
R ²	0.69	0.76	0.76
R ² Ajustado	0.68	0.75	0.75

Las cifras en paréntesis corresponden a los valores t'

** Nivel de significación al 1%

*** Nivel de significación al 5%

DLíbano y DParaguaicito son variables dummy con 1 para cada localidad y 0 para Naranjal.

La variable Dluz corresponde a una dummy con 0 para la sombra y 1 para el sol.

se consideran los experimentos al sol y a la sombra respectivamente, pero las diferencias se hacen menores con la edad de los cafetales.

CONCLUSIONES

El presente documento reseña y sistematiza la información disponible en Cenicafé en materia de productividad. Se estudia inicialmente la incidencia de la edad y la bienalidad durante 20 años con base en la información del ensayo de uniformidad, y se analiza luego el impacto de la densidad, la fertilización y el clima a partir de los experimentos C7, C9, C15 y C19. Para considerar el impacto del sombrío se utiliza el experimento C33.

Existen efectos 'cruzados' significativos entre la densidad y la edad, por lo cual se obtienen máximos

Grafico 4
EXPERIMENTO C33
PRODUCCION AL SOL Y A LA SOMBRA

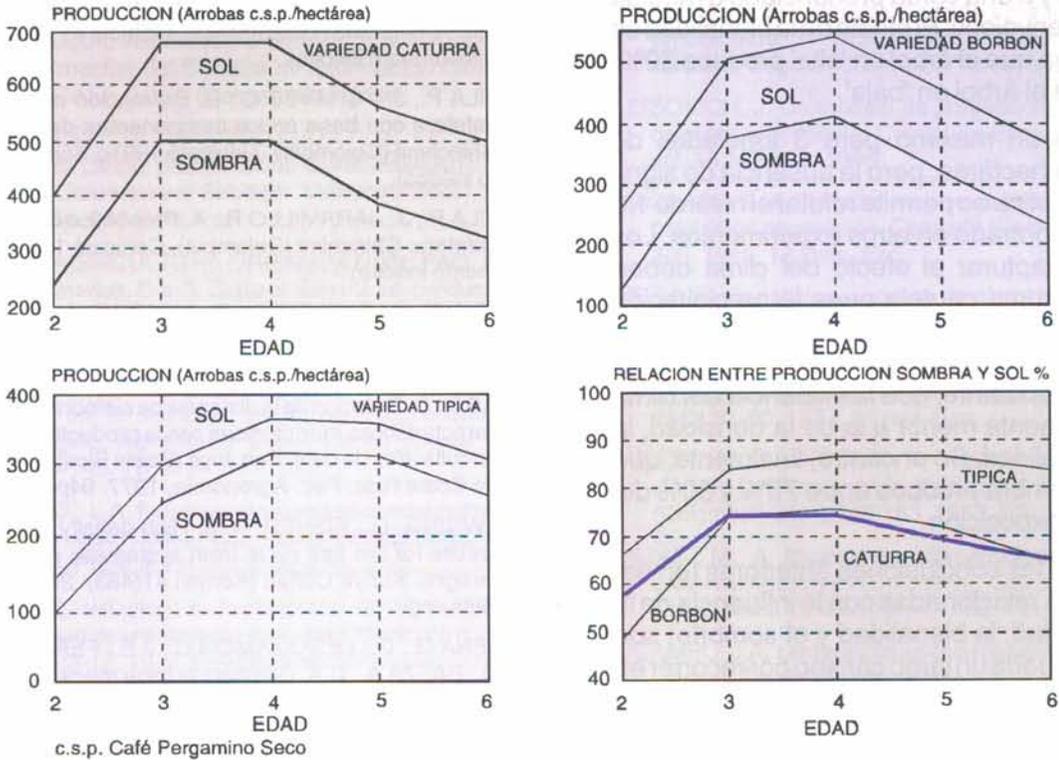
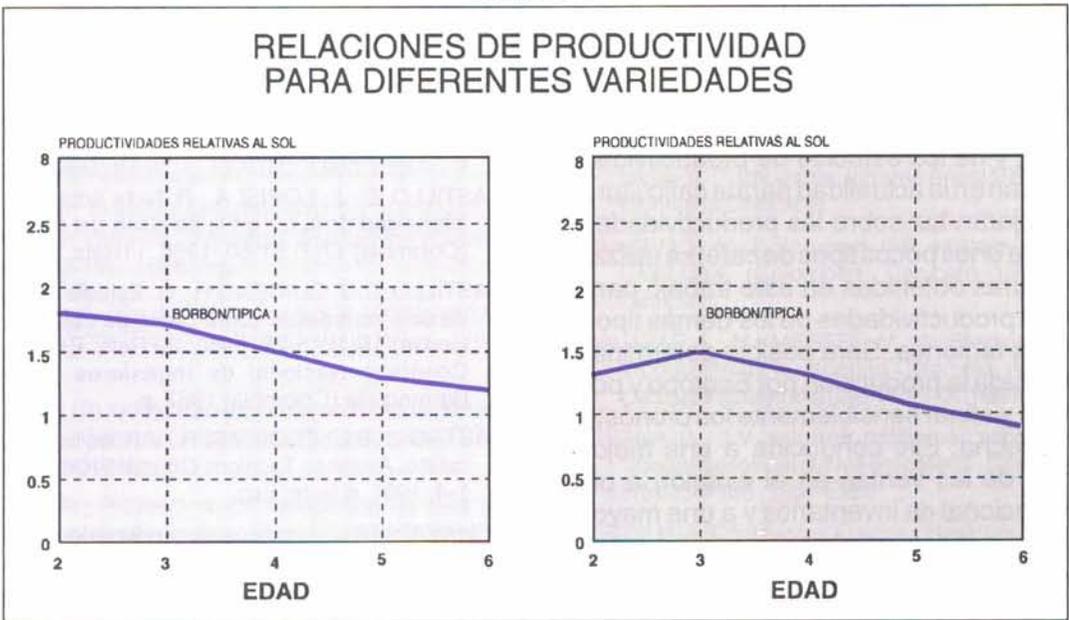


Gráfico 5



de densidad que fluctúan entre los 6.000 y los 12.000 árboles por hectárea, y máximos de edad que fluctúan entre los 3 y los 6 años. Altas densidades de siembra llevan a un máximo temprano en productividad y a una caída pronunciada a medida que el cafetal envejece. El efecto de la bienalidad es significativo, ya que el árbol en 'alta' produce 30%-40% más que el árbol en 'baja'.

Se obtuvo un máximo para 3 toneladas de fertilizante por hectárea, pero la ausencia de significación estadística no permite refutar el nivel de 1.6 toneladas encontrado en otros experimentos. Los intentos por capturar el efecto del clima deben tomarse con suma cautela pues la precipitación captura sólo en forma parcial un fenómeno excesivamente complejo. Nuestros resultados preliminares indicarían, no obstante, que la influencia del clima es sustancialmente menor a la de la densidad, la edad y la bienalidad. Se encontró, finalmente, que el árbol a la sombra produce entre 70% y 80% del árbol a plena exposición.

Algunas de las conclusiones anteriores (en especial aquellas relacionadas con la influencia de la densidad la edad, la bienalidad y el sombrero) son sólidas, pero queda un largo camino por recorrer en la investigación sobre el efecto de la fertilización y el clima. El impacto del fertilizante parece depender del contenido de nitrógeno, potasio y fósforo de los suelos, y la influencia de la precipitación podría depender de la temperatura, y de otros factores relacionados con el denominado balance hídrico.

El trabajo de enumeración censal que se realizará en 1993 permitirá actualizar la estructura de áreas en café, y de los estudios de productividad que se adelantan en la actualidad para la caficultura comercial arrojarán luz sobre las productividades regionales para unos pocos tipos de café; se utilizarán las curvaturas obtenidas en este trabajo para determinar las productividades de los demás tipos en las distintas regiones. Será posible determinar en forma acertada la producción por Ecotopo y por Departamento y afinar sensiblemente los pronósticos de la cosecha. Ello conduciría a una mejor programación de las ventas en el exterior, a un manejo más racional de inventarios y a una mayor eficiencia en la política cafetera; conducirá a un mayor conocimiento de nuestra caficultura.

- ARCILA P., J. Crecimiento y fenología del cafeto en Colombia. Chinchiná (Colombia), Cenicafé 1991a, 46p. (Documento inédito).
- ARCILA P., J. Modelos para estimar la producción de cafetales. Chinchiná (Colombia), Cenicafé 1991b, 30p. (Documento inédito).
- ARCILA P., J.; CHAVES C., B. Estimación de la cosecha cafetera con base en los componentes de producción. Chinchiná (Colombia), Cenicafé 1991c, 45p. (Documento inédito).
- ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. Pronóstico de la cosecha cafetera. Chinchiná (Colombia), Cenicafé 1991d, (Documento inédito).
- ARCILA P., J.; CHAVES C., B.; MESTRE M., A. Indicador para estimar la producción de cafetales. Chinchiná (Colombia), Cenicafé 1991e, 13p. (Documento inédito).
- ARIASS, G. Relación de la distancia de siembra y de algunas características morfológicas con la productividad, en cinco cultivares de café. San José (Costa Rica), Universidad de Costa Rica, Fac. Agronomía, 1977. 94p. Esp.
- BROWNING, G.; FISHER, N.M. High density coffee: Yield results for the first cycle from systematic plant spacing designs. Kenya Coffee (Kenya) 41(483): 209-217. 1976 Refs. Ing.
- CADENA G., G.; LEGUIZAMON C., J.E.; FERNANDEZ B., O.; BAEZA A., C.A. Combata la llaga macana del cafeto. Avances Técnicos Cenicafé (Colombia) No. 123. 1985. 2p. Esp.
- CASTILLO Z., J. Analysis of the yield of some coffee varieties grown in Colombia and Brazil. Raleigh (EEUU), North Carolina State University, Department of Genetics, 1964. 84p. 46 Refs. Ing. (Tesis Mag. Sci.).
- CASTILLO Z., J. Mejoramiento genético del café en Colombia. In: 50 años de Cenicafé 1938-1988; Conferencias Conmemorativas. Chinchiná (Colombia), Cenicafé 1990. p.46-53. Esp., 5 Refs.
- CASTILLO Z., J.; LOPEZ A., R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeto. Cenicafé, (Colombia) 17(2):51-60. 1966. 11Refs. Esp.
- CASTILLO Z., J. QUICENO H., G. Estudio de la producción de seis variedades comerciales de café. Cenicafé (Colombia) 19(1):18-29. 1968. 29 Refs. Esp.) También en: Congreso Nacional de Ingenieros Agrónomos, 4. Barranquilla (Colombia) 1967, p.
- CASTRO C., B.L.; ESQUIVEL R., V.H. las llagas radicales del cafeto. Avances Técnicos Cenicafé (Colombia) No. 163: 1-4. 1991. 6 Refs. Esp.
- ECHAVARRIA, J.J. Indices de productividad para el Censo Cafetero. Bogotá (Colombia), FEDERACAFE, 1991. (Documento inédito).

- ECHAVARRIA, J.J. et. al. Pacto, costos, productividad y ausencia de instituciones en Costa Rica, México y Guatemala. Bogotá (Colombia), FEDERACAFE, 1991 (Documento inédito).
- ECHAVARRIA, J.J. Aspectos metodológicos de la Propuesta para la Creación del Sistema de Información Cafetera, FEDERACAFE, 1992, (Documento inédito).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. FAO. El café en América Latina: problemas de la productividad y perspectivas: Colombia y el Salvador. México (México), FAO, 1958, 156p. 247 Refs. Esp.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. FAO. Coffee in Latin America. Brazil, State of Sao Paulo; productivity, problems and future prospects México (México), FAO, 1960. 2 vols.
- FOURNIER, O., L.A. El cultivo del cafeto /*Coffea arabica*/ L. al sol o en la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. *Agronomía Costarricense (Costa Rica)* 12(1):131-146. 1988. 64 Refs. Esp.
- FOURNIER O., L.A. Fundamentos ecológicos del cultivo del café. San José (Costa Rica), IICA-PROMECAFE, 1980. 29p. Esp. (Publicación Miscelanea No. 230).
- GOMEZ G., L. Influencia de los factores climáticos sobre la periodicidad de crecimiento del cafeto. *Cenicafé (Colombia)* 28(1):3-17. 1977. 25 Refs. Esp.
- HENDRY, D.F.; RICHARD, J.F. The econometric analysis of the time series. *International Statistical Review (Estados Unidos)* vol. 51:111-163. 1983.
- JARAMILLO R., A. et. al. adaptación de un modelo para evaluar la influencia del clima en la producción de café. Chinchiná (Colombia). *Cenicafé* 1987. (Documento inédito).
- JARAMILLO R., A.; VALENCIA A., G. Los elementos climáticos y el desarrollo de /*Coffea arabica*/ L., en Chinchiná, (Colombia) *Cenicafé* 31(4):127-143. 1980. Esp.
- JARAMILLO, C.F. Análisis comparativo de los dos modelos de producción cafetera. *coyuntura Económica (Colombia)* 16(3):183-195. 1986. Ing.
- JUDGE, G.G. et. al. The theory and practice econometrics. 2a. Ed. New York (Estados Unidos), John Wiley, 1985. 1019p.
- JUNGUITO B., R. Un modelo de respuesta en la oferta de café en Colombia. Bogotá (Colombia), Fedesarrollo, 1974. (Documento inédito).
- JUNGUITO B., R.; PIZANO S, D. Producción de café en Colombia. Bogotá (Colombia), Fondo Cultural Cafetero, 1991.
- KUGURU, F.M.; FISHER, N.M.; BROWNING, G.; MITCHELL, H.W. The effect of tree density on yield and some yield components of arabica coffee in Kenya. *Acta Horticulturae (Holanda)* vol 65: 101-113. 1978. Ing. 12 Refs.
- LEIBOVICH, J. La producción de un cultivo permanente; la aplicación de un modelo de corto y mediano plazo al café en Colombia. In: OCAMPO, J.J. *Lecturas de economía cafetera*. Bogotá (Colombia), Tercer Mundo, 1987.
- LEIBOVICH, J. Un modelo de proyección de la producción cafetera colombiana. *Coyuntura Económica (Colombia)* vol. 16:177-186. 1986.
- MACHADO S., A. Duración de un experimento de campo con cafetos en producción. *Cenicafé (Colombia)* 11(10):275-305. 1960. 18 Refs. Esp.
- MEJIA F., Beneficios y costos en el cultivo del café, en R. JUNGUITO y D. PIZANO, 1991.
- MESTRE M., A. Determinación de la rata óptima de fertilización en plantaciones de café sin sombrío. *Cenicafé (Colombia)* 28(2):51-60. 1977. 11 refs. Esp.
- MESTRE M., A.; URIBE H.; A. Dosis y frecuencia de aplicación de fertilizante en la producción del café. *Cenicafé (Colombia)* 31(4):145-163. 1980. Esp.
- MUÑOZ M., A. Impacto agroclimatólogo y productividad cafetera. Manizales (Colombia), Corporación Autónoma Universitaria de Manizales, 1982. 44p. 10 Refs.
- OCAMPO, J.A. *Lecturas de economía cafetera*. Bogotá (Colombia), Tercer Mundo, 1987.
- OCAMPO, J.J. Los retos de la bonanza cafetera. In: *Lecturas de economía cafetera*. Bogotá (Colombia), Tercer Mundo, 1987.
- OCAMPO J.J. Políticas de regulación de la oferta de café, en *lecturas de economía cafetera*. Bogotá (Colombia), Tercer Mundo, 1987.
- OROZCO G., L. Evaluación de metodologías para el estudio de la interacción tratamiento por ambiente y aplicaciones en café. Chinchiná (Colombia), *Cenicafé* 1991. Esp. (Seminario). (También en: Informe Anual 1990-1991 *Disciplina Biometría Cenicafé*).
- QUICENO, H.G. Informe del ensayo de uniformidad. Chinchiná, (Colombia), *Cenicafé* 1979. (Documento *Cenicafé*).
- SALAZAR A., N.; MESTRE M., A. Efecto del zoqueo en la producción de la variedad Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé (Colombia)* No 159:1-2. 1991. Esp.
- TRIANA B., J.V. Informe preliminar sobre un estudio de "modalidades del cultivo del cafeto". *Cenicafé (Colombia)* 8(5):156-168. 1957 Esp.
- URIBE H. A. Constantes Físicas y Factores de Conversión en Café, *Avances Técnicos de Cenicafé*, No. 65.
- URIBE H.A.; QUICENO H., G. Comportamiento de algunas progenies de /*Coffea arabica*/ L. bajo diferentes condicio-

nes de sombrero y fertilización. *Cenicafé (Colombia)* 9(5-6):121-124. 1958. esp.

URIBE H., A. MESTRE M., A. Efecto de la densidad de población y su sistema de manejo sobre producción de café. *Cenicafé (Colombia)* 31(1):29-51. 1980. Esp.

URIBE H., A.; MESTRE M., A. Efecto de la densidad de población y de la disposición de los árboles en la producción de café. *Cenicafé (Colombia)* 39(2):31-42. 1988. Esp.

URIBE H., A.; SALAZARA., N. Distancias de siembra y dosis de fertilizante en la producción de café. *Cenicafé (Colombia)* 32(3):88-105. 1981. Esp.

VALLEJO J. Bases para una racionalización de la producción colombiana de café, 1984, documento inédito.

ZAMBRANO, H. Tendencias de la caficultura colombiana. *Economía colombiana (Colombia)* vol. 179:34-46. 1986.

ZAMBRANO, H. Un modelo para simular y proyectar la producción de café en Colombia. In: Reunión Latinoamericana de la Sociedad Econométrica, 5. Bogotá (Colombia). s.n.t. 1984.

ANEXO

DESCRIPCION DE LOS PRINCIPALES EXPERIMENTOS

PROYECTO: C-6

TITULO: "Efecto del nitrógeno, el fósforo y el potasio, solos y combinados a diferentes niveles sobre la producción del café".

Descripción de tratamientos: Niveles de 0, 120 y 240 kilos por hectárea/año de nitrógeno, fósforo y potasio y sus diferentes combinaciones.

Fuentes de fertilizantes: sulfato de amonio, superfosfato y sulfato de potasio.

Diseño experimental: Bloques al azar con arreglo factorial de 3_3 , 27 tratamientos y 2 replicaciones.

Variedad: Caturra o Borbón según sitio experimental.

Distancias de siembra: 2 x 2 y 2,5 x 2,5.

Parcela efectiva: 56, 25 m² (9 árboles).

Sitios experimentales: 13

PROYECTO: C-7

TITULO: "Influencia de la densidad de población sobre la producción de café".

Descripción de tratamientos: (Ver cuadro).

Fertilización: 200 gramos de una fórmula completa planta/año primer año y 3 toneladas/ha. de 12-6-22 en producción.

Diseño experimental: Bloques al azar, 10 tratamientos y 4 replicaciones.

Variedad: Caturra.

Parcela efectiva: Variable: 100 m² con 25, 50 y 100 plantas.

Sitios experimentales: 6

PROYECTO: C-8

TITULO: "Sistemas de manejo de una plantación de café con altas densidades de población"

Descripción de Tratamientos: (Ver cuadro).

Fertilización: 200 gramos de una fórmula completa por planta/año en el primer año y 3 toneladas/ha. de 12-12-17-2 en los años siguientes.

Diseño Esperimental: Bloques al azar, 6 tratamientos y 4 replicaciones.

Variedad: Caturra

Parcela Efectiva: 100 plantas.

Sitios Experimentales: 4.

PROYECTO: C-9

TITULO: "Frecuencia y dosis de aplicación de fertilizantes en café".

Descripción de tratamientos: (Ver cuadro).

Fertilización: 200 gramos de 12-12-17-2 por planta en el primer año; aplicación de los tratamientos diferenciales en los años siguientes.

Distancia de siembra: 1,5 x 1,5 en Supía, y 2 x 2 en los demás.

Diseño experimental: Parcelas divididas, parcelas principales: dosis y subparcelas: frecuencias de aplicación, 12 tratamientos y 4 replicaciones.

Variedad: Caturra.

Parcela efectiva: 9 plantas.

Sitios experimentales: 10.

PROYECTO: C-12

TÍTULO: "Comparación de densidades de población y varias dosis de un fertilizante completo, sobre la producción de café".

Descripción de tratamientos: (Ver cuadro).

Fertilización: 200 gramos de 12-12-17-2 por planta en el primer año; aplicación de los tratamientos diferenciales en los años siguientes.

Diseño experimental: Parcelas divididas, parcelas principales: distancias y subparcelas: dosis.

Variedad: Borbón en Naranjal y Caturra en los demás.

Parcela efectiva: 6 plantas.

Sitios experimentales: 6

PROYECTO: C-14

TÍTULO: "Comparación de los rendimientos de café en plantaciones sembradas a 1m x 1m con otras densidades de población".

Descripción de tratamientos: (Ver cuadro).

Fertilización: 200 gramos de una fórmula completa planta/año durante el primer año y 3 toneladas/ha de 12-12-17-2 en producción.

Diseño experimental: Bloques al azar, 9 tratamientos y 4 replicaciones.

Variedad: Caturra.

Parcela efectiva: 36 árboles.

Sitios experimentales: Naranjal.

PROYECTO: C-15

TÍTULO: "Distancias de siembra para el café de la variedad Caturra".

Descripción de tratamientos: (Ver cuadro).

Fertilización: 3 toneladas/ha/año de 12-12-17-2 en producción.

Diseño experimental: Bloques al azar, 14 tratamientos y 3 replicaciones.

Variedad: Caturra.

Parcela efectiva: Tamaño variable para cada tratamiento.

Sitio experimental: Naranjal

PROYECTO: C-19

TÍTULO: "Comparación de la producción de café entre plantaciones sembradas con 1, 2 y 3 plantas por hoyo, a partir del almácigo, con varias distancias de siembra".

Descripción de Tratamientos: (Ver cuadro).

Fertilización: 200 gramos de fórmula completa por planta durante el primer año y 3 toneladas/ha para todos los tratamientos en los años siguientes.

Diseño Experimental: Parcelas divididas, parcelas principales: distancias y subparcelas: plantas por hoyo.

Variedad: Caturra

Parcela Efectiva: tamaño variable, 64, 25 y 9 plantas según la distancia de siembra.

Sitios Experimentales: 7

PROYECTO C-24

TÍTULO: "Distancias de siembra y sistema de manejo de una plantación de café con dos plantas por sitio".

Descripción de Tratamientos: (Ver cuadro).

Fertilización: 200 gramos de 12-12-17-2 por planta durante el primer año y 300 gramos planta/año en los años siguientes.

Diseño Experimental: Bloques al azar, 15 tratamientos y 4 replicaciones.

Variedad: Caturra

Parcela Efectiva: 25 plantas.

Sitios Experimentales: 4

PROYECTO: C-33

TÍTULO: "Comparación de rendimientos entre café al sol y a la sombra con diferentes variedades".

Descripción de tratamientos: (Ver cuadro).

Fertilización: 200 gramos de 12-12-17-2 por planta/año durante el primer año para todos los tratamientos. A partir del segundo año 600 gramos de 12-12-17-2 planta/año para tratamientos al sol y

200 gramos planta/año para tratamientos a la sombra.

Sombrío: Se utilizó sombrío transitorio de plátano sembrado a 6 x 6m y definitivo de guamo santafereño, sembrado a 12 x 12m.

Diseño experimental: Parcelas divididas, parcelas principales: modalidades de cultivo sol, sombra y como subparcelas las variedades.

Distancias de siembra: 2 x 2 para Típica y Borbón y 1,5 x 1,5 para Caturra.

Parcela efectiva: Variable.

Sitios experimentales: 4.

PROYECTO: C-34

TÍTULO: "Respuesta del café con sombrío a la fertilización".

Descripción de tratamientos: Testigo sin fertilizante, con 200, 400 y 600 gramos planta/año.

Fertilización: 200 gramos de 12-12-17-2 planta/año durante el primer año para todos los tratamientos. 200 gramos planta/año del mismo compuesto para los años siguientes.

Sombrío: Transitorio de plátano, sembrado a 4m x 4m y definitivo con guamo santafereño sembrado a 12m x 12m.

Diseño experimental: Cuadrado latino, 4 tratamientos y 4 replicaciones.

Variedad: Borbón.

Distancias de siembra: 2 x 2.

Parcela efectiva: 36 plantas.

Sitios experimentales: 4.

PROYECTO: C-41

TÍTULO: "Densidades de siembra en café en relación con el número de plantas por sitios".

Descripción de Tratamientos: (ver cuadro).

Fertilización: 150 gramos planta/año de una fórmula completa durante el primer año, y 2 toneladas/ha. para los siguientes años.

Diseño experimental: Bloques al azar, 14 tratamientos y 4 replicaciones.

Variedad: Caturra.

Parcela efectiva: Número de plantas variable por tratamiento.

Sitios experimentales: 2.

PROYECTO: C-42

TÍTULO: "Comparación del efecto de fertilizantes sin fósforo en la producción de café".

Descripción de tratamientos: Para el primer año 200 gramos/planta/año de fertilizantes 12-6-22, 12-0-22, 12-6-22 más 17% de pulpa y 12-0-22 más 19% de pulpa. Para el segundo año se triplican las dosis anteriores.

Diseño experimental: Bloques al azar, 4 tratamientos y 6 replicaciones.

Variedad: Caturra.

Distancias de siembra: 1,5 x 1,5.

Parcela efectiva: 16 plantas.

Sitios experimentales: 7.

PROYECTO IE-9

TÍTULO: "Determinación de la rata óptima de fertilización en plantaciones nuevas de café sin sombrío".

Descripción de tratamientos: (Ver cuadro).

Diseño experimental: Parcelas divididas, parcelas principales: densidades de siembra, subparcelas: dosis fertilizante 12-12-17-2 por ha./año.

Variedad: Caturra.

Distancias de siembra: Variables.

Parcela efectiva: 4 plantas.

Sitios experimentales: 4

ENSAYO DE UNIFORMIDAD

TÍTULO: "Ensayo de Uniformidad".

Diseño experimental: Ensayo en blanco: Manejo uniforme y controlado de una plantación de café Caturra con fines experimentales.

Variedad: Caturra sembrado a 2m x 2m.

Fertilización: 3 toneladas por hectárea de 12-12-17-2 (1.200 gramos/planta/año).

Parcela efectiva: 720, 540 y 720 árboles para Rosario, Naranjal y Paraguaicito, respectivamente.

Sitios experimentales: 3.

PROYECTO: IE-29

TITULO: "Análisis económico comparativo de dos sistemas de manejo de cafetales al sol: a libre crecimiento y con descope".

Descripción de tratamientos: Libre crecimiento y descope.

Fertilización: 2 toneladas por hectárea de 12-12-17-2

Diseño experimental: Bloques al azar, 2 tratamientos y 5 replicaciones.

Variedad: Caturra.

Distancias de siembra: 2 x 2.

Parcela efectiva: 96 plantas.

Sitios experimentales: 1.

DESCRIPCION DE TRATAMIENTOS

PROYECTO: C-7

TRATAMIENTOS	DISTANCIA DE SIEMBRA (metros)	PLANTAS POR SITIO	COSECHAS Y MANEJO	
				RALEO
1	2.00*2.00	2.500	5	2.500
2	1.42*1.42	5.000	5	5.000
3	1.00*1.00	10.000	5	10.000
4	1.00*1.00	10.000	4	(10.000) 1(5.000)
5	1.00*1.00	10.000	3	(10.000) 2(5.000)
6	1.00*1.00	10.000	3	(10.000) 1(5.000) 1(2.500)
7	1.00*1.00	10.000	2	(10.000) 3(5.000)
8	1.00*1.00	10.000	2	(10.000) 1(5.000) 2(2.500)
9	1.00*1.00	10.000	1	(10.000) 4(5.000)
10	1.00*1.00	10.000	1	(10.000) 1(5.000) 3(2.500)

PROYECTO C-8

TRATAMIENTOS	DISTANCIA	PLANTAS POR HECTAREA	DISTNACIAS DESPUES DE 1a. COSECHA	NUMERO PLANTAS POR HECTAREA
	1	1.00*1.00	10.000	1.42*1.42
2	1.00*1.00	10.000	1.00*1.00	10.000

3	1.15*1.15	7.569	1.63*1.63	3.784
4	1.15*1.15	7.569	1.15*1.15	7.569
5	1.25*1.25	6.400	1.75*1.75	3.200
6	1.25*1.25	6.400	1.25*1.25	6.400

PROYECTO C-19

TRATAMIENTOS	DISTANCIA	PLANTAS POR HECTAREA	No.DE SITIOS POR HECTAREA	NUMERO PLANTAS HECTAREA
	1	1.00*1.00	1	10.000
2	1.00*1.00	2	10.000	20.000
3	1.00*1.00	3	10.000	30.000
4	1.42*1.42	1	5.000	5.000
5	1.42*1.42	2	5.000	10.000
6	1.42*1.42	3	5.000	15.000
7	2.00*2.00	1	2.500	2.500
8	2.00*2.00	2	2.500	5.000
9	2.00*2.00	3	2.500	7.500

PROYECTO C-9

TRATAMIENTOS	DOSIS GRAMOS/PLANTA/AÑO	kg/ha	FRECUENCIA No. APLIC./AÑO
	1	600	1.500
2	600		3
3	600		4
4	600		6
5	900	2.250	2
6	900		3
7	900		4
8	900		6
9	1.200	3.000	2
10	1.200		3
11	1.200		4
12	1.200		6

PROYECTO C-12

TRATAMIENTOS	DISTANCIA	PLANTAS POR HECTAREA	FERTILIZANTE GMS/PLANTA/AÑO	FERTILIZANTE KGS/HA/AÑO
	1	1.25*1.25	6.410	200
2	1.25*1.25	6.410	400	2.564
3	1.25*1.25	6.410	600	3.846
4	1.25*1.25	6.410	800	5.128
5	1.50*1.50	4.444	200	889
6	1.50*1.50	4.444	400	1.778
7	1.50*1.50	4.444	600	2.666
8	1.50*1.50	4.444	800	3.555
9	1.75*1.75	3.268	200	645
10	1.75*1.75	3.268	400	1.307
11	1.75*1.75	3.268	600	1.961

12	1.75*1.75	3.268	800	2.614
13	2.00*2.00	2.500	200	500
14	2.00*2.00	2.500	400	1.000
15	2.00*2.00	2.500	600	1.500
16	2.00*2.00	2.500	800	2.000

11	1.25*.25	2	Después 2a. cosecha
12	1.25*.25	2	Después 3a. cosecha
13	1.42*.42	2	Después 1a. cosecha
14	1.42*.42	2	Después 2a. cosecha
15	1.42*.42	2	Después 3a. cosecha

PROYECTO C-14

TRATAMIENTO	DISTANCIAS	PLANTAS POR HECTAREA
1	0.50*1.00	20.000
2	0.50*1.00	20.000
3	0.80*0.80	15.625
4	0.80*0.80	15.625
5	1.00*1.00	10.000
6	1.00*1.00	10.000
7	1.00*1.40	7.143
8	1.00*1.40	7.143
9	2.00*2.00	2.500

PROYECTO C-33

TRATAMIENTO	VARIEDADES Y MODALIDADES	PLANTAS EFECTIVAS	DISTANCIA
1	Caturra-sol	196	1.50*1.50
2	Borbón-sol	100	2.00*2.00
3	Típica-sol	100	2.00*2.00
4	Caturra-sombra	64	1.50*1.50
5	Borbón-sombra	36	2.00*2.00
6	Típica-sombra	36	2.00*2.00

PROYECTO C-15

TRATAMIENTO	DISTANCIAS	PLANTAS POR HECTAREA	PLANTAS EFECTIVAS
1	0.70*.70	20.000	210
2	0.50*.50	20.000	196
3	0.75*.75	17.500	171
4	0.50*.14	17.500	168
5	0.82*.82	15.000	144
6	0.50*.34	15.000	140
7	0.90*.90	12.500	112
8	0.80*.00	12.500	112
9	1.00*.00	10.000	84
10	0.80*.25	10.000	88
11	1.15*.15	7.500	60
12	1.00*.32	7.500	60
13	1.42*.42	5.000	36
14	1.20*.72	5.000	35

PROYECTO C-41

TRATAMIENTO	DISTANCIAS	SITIOS POR HECTAREA	PLANTAS POR SITIO
1	1.00*.00	10.000	1
2	1.42*.42	5.000	2X1*
3	1.42*.42	5.000	2
4	2.00*.00	2.500	2
5	2.00*.00	2.500	3X2**
6	2.00*.00	2.500	3
7	2.00*.00	2.500	4
8	2.00*.50	2.000	3X2**
9	2.00*.50	2.000	3
10	2.00*.50	2.000	4X3**
11	2.00*.50	2.000	4
12	2.50*.50	1.600	4
13	2.50*.50	1.600	4x3***
14	2.50*.50	1.600	3

- * Surcos alternos, uno con 2 plantas por sitio y otro con 1 planta.
- ** Surcos alternos, uno con 3 plantas por sitio y otro con 2 plantas.
- *** Surcos alternos, uno con 4 plantas por sitio y otro con 3 plantas.

PROYECTO C.24

TRATAMIENTOS	DISTANCIAS	PLANTAS POR SITIO	RALEO DE UN TALLO
1	1.00*.00	1	
2	1.25*.25	1	
3	1.42*.42	1	
4	1.00*.00	2	
5	1.25*.25	2	
6	1.42*.42	2	
7	1.00*.00	2	Después 1a. cosecha
8	1.00*.00	2	Después 2a. cosecha
9	1.00*.00	2	Después 3a. cosecha
10	1.25*.25	2	Después 1a. cosecha

PROYECTO IE-9

TRATAMIENTO	DISTANCIAS	DOSIS KG/HA
1	2.00*2.50	0
2	2.00*2.50	800
3	2.00*2.50	1.600
4	2.00*2.50	2.400
5	2.00*2.00	0
6	2.00*2.00	800
7	2.00*2.00	1.600
8	2.00*2.00	2.400
9	2.00*1.50	0
10	2.00*1.50	800
11	2.00*1.50	1.600
12	2.00*1.50	2.400