



Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia

Hernando Duque O. - Hugo Mauricio Salazar - Leonardo Rojas - Álvaro Gaitán



Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

80 años de ciencia para la caficultura colombiana



Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia

Hernando Duque
Hugo Mauricio Salazar
Leonardo Rojas
Álvaro Gaitán

Hernando Duque Orrego - Gerente Técnico - FNC
<https://orcid.org/0000-0001-5284-3577>

Hugo Mauricio Salazar Echeverry - Investigador Científico II-
Disciplina de Economía- Cenicafé
<https://orcid.org/0000-0001-7812-7595>

Leonardo Alfonso Rojas Sepúlveda - Coordinador Programa
Nacional - Gestión Empresarial -
Gerencia Técnica - FNC
<https://orcid.org/0000-0003-2748-540X>

Álvaro León Gaitán Bustamante - Director Centro Nacional de
Investigaciones de Café - Cenicafé
<https://orcid.org/0000-0001-5093-0677>



80 años de Ciencia
para la Caficultura
colombiana



Comité Nacional

Ministro de Hacienda y Crédito Público
José Manuel Restrepo Abondano

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Rodolfo Enrique Zea Navarro

Ministra de Comercio, Industria y Turismo
María Ximena Lombana Villalba

Director del Departamento Nacional de Planeación
Luis Alberto Rodríguez Ospino

Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros
Marcela Urueña Gómez

Período 1° enero/2019 - diciembre 31/2022

José Eliecer Sierra Tejada (Antioquia)
José Alirio Barreto Buitrago (Boyacá)
Eugenio Vélez Uribe (Caldas)
Danilo Reinaldo Vivas Ramos (Cauca)
Juan Camilo Villazón Tafur (Cesar-Guajira)
Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)
Ruber Bustos Ramírez (Huila)
Javier Mauricio Tovar Casas (Magdalena)
Jesús Armando Benavides Portilla (Nariño)
Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)
Carlos Alberto Cardona Cardona (Quindío)
Luis Miguel Ramírez Colorado (Risaralda)
Héctor Santos Galvis (Santander)
Luis Javier Trujillo Buitrago (Tolima)
Camilo Restrepo Osorio (Valle)

Gerente General
Roberto Vélez Vallejo

Gerente Administrativo y Financiero
Juan Camilo Becerra Botero

Gerente Comercial
Juan Camilo Ramos Mejía

Gerente Técnico
Hernando Duque Orrego

Director Investigación Científica y Tecnológica
Álvaro León Gaitán Bustamante

Comité Editorial Cenicafé

Pablo Benavides M.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé

Carmenza Esther Góngora B.
Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé

José Ricardo Acuña Z.
Ph.D. Biólogo. Fisiología Vegetal, Cenicafé

Diana María Molina Vinasco
Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé

Luis Fernando Salazar G.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

Secretaría Técnica Comité Editorial,
revisión de textos y corrección de estilo
Sandra Milena Marín L.
Ing. Agrónoma, Esp. M.Sc.

Diseño
Carmenza Bacca R.

Fotografías
Archivo Cenicafé

Impresión
Capital Graphic

ISBN 978-958-8490-53-3
DOI 10.38141/cenbook-0016

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

© FNC - Cenicafé - FoNC





Como citar:

Duque-Orrego, Salazar, H. M., Rojas-Sepúlveda, L. A. & Gaitán, A. (2021). Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0016>



Índice

6 Presentación

10 Introducción

14 Conceptos básicos

- Productividad
- Rentabilidad
- Eficiencia
- Cambio Técnico
- Toma de decisiones
- Sistemas de producción
- Costo unitario de producción
- Margen Neto
- Conclusión

26 Metodología

- Antecedentes
- Métodos empleados en los análisis económicos
- Supuestos básicos

30 Consideraciones económicas de las prácticas

- Planear los ciclos de renovación de los cafetales
- Sembrar variedades resistentes
- Producir los colinos de café en la finca
- Sembrar un alto número de plantas por hectárea
- Realizar manejo integrado de arvenses
- Fertilizar los cafetales para mejorar la productividad
- Aplicar fertilizantes al voleo
- Adoptar el manejo integrado de la broca
- Renovar por zoca
- Conservar la población inicial de árboles
- Calibrar equipos de aspersión de agroquímicos
- Cosechar sólo frutos maduros
- Incorporar las prácticas de la cosecha asistida
- Adoptar el beneficio ecológico
- Calibrar los equipos de beneficio del café
- Secar adecuadamente el café
- Seleccionar el combustible más conveniente
- Producir alimentos en los cafetales
- Usar herramientas de registro y análisis de costos

108 Consideración final

114 Literatura citada

Presentación





En la concepción actual de la caficultura, la rentabilidad en la finca está soportada sobre tres objetivos fundamentales: mayor productividad, menores costos de producción y mayor valor agregado al grano. Retrospectivamente, la argumentación para aplicar estos planteamientos en el cultivo del café en Colombia se encuentra en dos publicaciones del año 2002, escritas por el Ingeniero Agrónomo Hernando Duque Orrego M.Sc., entonces investigador de la Disciplina de Economía del Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, y surgidas en medio de la mayor crisis de la historia reciente de la caficultura, por los bajos precios internacionales originados por la sobreoferta mundial del grano para esa época.

La primera obra, titulada “Determinantes de la Productividad del Café”, en coautoría con Francisco Bustamante, desarrolló una función de producción tipo Cobb-Douglas aplicada en el Departamento de Caldas, e identificó a las variables densidad de siembra, número de jornales por hectárea y edad promedio de los cafetales, como las de mayor efecto en la productividad de la tierra. Aquí también se demostró que los incrementos en productividad resultan en menores costos unitarios (pesos por arroba), y esta productividad es determinante en el margen bruto por hectárea.

En la segunda publicación, “Cómo reducir los costos de producción en la finca cafetera”, Hernando Duque le dio una mirada a la caficultura desde el punto de vista económico, analizando 16 prácticas recomendadas por la investigación científica del Cenicafé. Aplicando metodologías como

presupuestos parciales, estimación de flujo de fondos, actualización del dinero en el tiempo, análisis marginal y análisis costo-beneficio, y con unos supuestos económicos básicos, necesarios para obtener conclusiones en el ambiente variable definido hoy por el precio del café en la bolsa, la tasa de cambio del dólar y el valor de los insumos en una economía globalizada y dinámica, se evidencian las ventajas que tiene para el ingreso del negocio cafetero la adopción de un conjunto de prácticas técnicamente sólidas, escalables al tamaño de cualquier finca, pero sobre todo, bajo el control del productor.

Más recientemente, para la publicación de la guía “Mas Agronomía, Más Productividad, Más Calidad”, el Doctor Duque, desde la Gerencia Técnica de la Federación de Cafeteros de Colombia, juntó a un grupo de investigadores de Cenicafé, para retomar y enriquecer los razonamientos de los dos libros mencionados, y marcar así la ruta para continuar promoviendo el cambio técnico necesario para incrementar el número de arobas de café por hectárea, con la calidad física y sensorial que ha caracterizado al café colombiano, dentro de un marco de sostenibilidad.

Complementando la guía, y como parte de la serie de libros editados en la conmemoración de los 80 años de Cenicafé, es muy satisfactorio presentar el libro “Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia”, donde los autores, bajo la orientación del Doctor Duque, actualizaron los valores de las prácticas recomendadas por Cenicafé, demostrando su vigencia gracias a una relación costo-beneficio favorable. Estas prácticas ventajosas incluyen desde aquellas no-negociables en la caficultura del país, como lo es

la siembra de variedades resistentes a la roya, hasta los últimos desarrollos técnicos, donde se encuentra la aplicación de la cosecha asistida, utilizando equipos tan innovadores como la Derribadora Selectiva de Café, DSC-18.

Nuevamente, retomando los conceptos de productividad, rentabilidad, cambio técnico, eficiencia, toma de decisiones, costo unitario y margen neto, y haciendo uso de las metodologías de análisis económico, los autores muestran la utilidad de realizar las prácticas de manera oportuna, para una ejecución eficiente de los costos de producción, que se revierta en más café recolectado, de mejor calidad y, en consecuencia, con ingresos superiores.

En el mundo cafetero, donde más de 40 países cultivan café para exportación, y con la presencia de otros cultivos que se perfilan como alternativas para generar ingresos en el negocio agrícola, es muy importante para el productor conocer el impacto de las inversiones económicas que realice en sus lotes, que no solo le resulten en un balance positivo al final de la cosecha, sino que también lo hagan competitivo con respecto a otros agricultores, facilitando la comercialización de su producto, y ayudándole a proyectar los costos en que debe incurrir en la siguiente cosecha y a tomar decisiones cruciales para ser exitoso en su actividad productiva.

Con el soporte de ocho décadas de investigación científica, los caficultores de Colombia cuentan con un acervo extenso y creciente de conocimiento del comportamiento de la planta de café en el ambiente particular de nuestro país. El análisis económico que se presenta en esta obra conecta a las tecnologías desarrolladas por Cenicafé para el

manejo del cultivo, con el ejercicio, cada vez más importante, de registrar los costos de producción y ejecutar de manera eficiente las inversiones que requiera. Los aciertos en este sentido son determinantes de la sostenibilidad de la caficultura, para enfrentar de una manera más sólida la variabilidad de los mercados de las materias primas, los altibajos de las tasas de cambio y las fluctuaciones del

comportamiento del clima, para beneficio de los productores y de los millones de consumidores que disfrutan diariamente del mejor café colombiano.


Álvaro León Gaitán B.

Director Cenicafé

Noviembre de 2021

Introducción





La caficultura ha sido una de las principales fuentes de ingreso en el sector agrícola de Colombia durante los últimos 100 años, llevando bienestar a más de medio millón de familias, en 604 municipios del país, y generando empleos directos e indirectos para dos millones de personas. Como motor del bienestar de las zonas rurales en las cordilleras de los Andes y de la Sierra Nevada de Santa Marta, la caficultura colombiana precisa cada vez más de cambios técnicos que favorezcan su productividad, especialmente cuando el comienzo de la cadena de valor está en manos de pequeños productores, con acceso limitado a la tierra y a los insumos, cuando la disponibilidad de la mano de obra en el campo es cada vez más escasa, y su costo sigue nivelándose con el urbano, y cuando los consumidores aumentan continuamente las exigencias de inocuidad y sostenibilidad ambiental, en un producto como el café, cuya demanda año tras año sigue creciendo en volumen y calidad, pero que igualmente presenta múltiples competidores en su oferta, en un mercado globalizado.

En un negocio donde los márgenes de ganancia están influenciados por factores fuera del control del caficultor, como son las variaciones diarias del orden de centavos de dólar en la bolsa de Nueva York, o el valor del cambio del dólar al peso en el país, es crucial ejecutar en los lotes de la finca aquellas acciones correctas y oportunas, que están bajo el control total del productor. **En el negocio del café, la rentabilidad empieza en la finca.**

En un cultivo perenne como el café, muchas decisiones de manejo agronómico tienen implicaciones a muy largo plazo, 20 años o más, pero todas tienen consecuencias económicas, ya sea en mano de obra, insumos, productividad y calidad del café a comercializar. Para la Federación

Nacional de Cafeteros de Colombia, la articulación de la toma de decisiones acertada está en la fundamentación sólida que provea la investigación científica y en la transferencia fiel de esa información a los productores, para la construcción de sistemas de producción rentables.

Bajo este esquema de trabajo, por más de 80 años, el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, ha recibido el apoyo de los caficultores colombianos, para llevar a cabo numerosos proyectos de investigación en diferentes áreas de la ciencia, que van desde la obtención de nuevas variedades hasta aspectos relacionados con la industrialización del café. De esta manera, se ha desarrollado un acervo de conocimiento en prácticas de manejo de cafetales y tecnologías apropiadas con el

propósito de que la caficultura colombiana sea más competitiva y más productiva, en un contexto de armonía con los recursos naturales empleados en la producción de café.

De igual manera, el Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros ha llevado por más de 60 años el asesoramiento técnico a todos los rincones del país, acumulando una experiencia única en metodologías de transferencia, que promueven el Cambio Técnico y potencializan la capacidad productiva de los caficultores de Colombia.

La orientación actual del cambio técnico de la caficultura ha estado enmarcada en la estrategia de la Gerencia Técnica de la Federación denominada “Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad”, que



se enfoca en ocho decisiones clave, no negociables, para cimentar los sistemas de producción de manera sólida, con material genético conocido, resistente a la roya, densidades óptimas, luminosidad apropiada, nutrición efectiva y ciclos de producción adecuados, y en siete prácticas de recolección y beneficio que preservan la calidad del café obtenida en los cultivos, y que complementadas con recomendaciones técnicas probadas y validadas bajo diferentes condiciones de oferta climática, hacen más eficiente la gestión de los costos de producción. mejoran la productividad, preservan la calidad del café, protegen el medioambiente e incrementan los ingresos de las fincas cafeteras. La forma más explícita para acceder a las ventajas ofrecidas por estas tecnologías, es a través de su adopción, la cual implica beneficiarse de los aspectos positivos que ofrece el Cambio Técnico.

Para facilitar la comprensión en relación con el papel desempeñado por cada práctica

o tecnología, este documento comienza con la definición de algunos conceptos básicos tales como productividad, rentabilidad, eficiencia, cambio técnico, toma de decisiones y posteriormente se muestran los resultados de los análisis económicos de cada práctica y se hace una consideración a manera de conclusión.

El propósito fundamental de este documento es difundir las ventajas de las tecnologías mencionadas, mostrando su viabilidad técnica y económica con el objetivo de mejorar el desempeño económico de las fincas cafeteras, elevar su competitividad y, por lo tanto, contribuir al desarrollo rural de las regiones cafeteras colombianas. Con respecto a las ediciones pasadas, se incluyen nuevas prácticas, se actualizan los análisis al valor en pesos colombianos de 2021, se incluyen en algunos análisis el costo de los equipos y se adicionan también, eventualmente, otros enfoques para comprender el impacto económico de algunas prácticas de manejo de cafetales.



Conceptos básicos



Las diferentes prácticas o tecnologías recomendadas mejoran el desempeño económico de las fincas cafeteras si se ejecutan correctamente y de manera oportuna, ofreciendo ventajas desde varios puntos de vista: incrementando la productividad agronómica, reduciendo los costos unitarios de producción, aumentando el uso eficiente de la mano de obra o añadiendo valor agregado del café por su calidad, todas ellas con la perspectiva de mejorar la rentabilidad de la finca, bajo condiciones de armonía con el medio ambiente y en un contexto general de producción sostenible de café.

Sin embargo, todas llevan implícitos conceptos básicos de la economía agrícola, que en el fondo ayudan a entender las razones y las consecuencias financieras para el productor de café, para el gremio y para las entidades que, de una u otra manera, están interesadas en el progreso de la caficultura. A continuación, se relacionan estos conceptos.

Productividad

Existe un amplio consenso en el sector agrícola acerca de promover la productividad como una estrategia efectiva de desarrollo, en especial entre los pequeños productores (Bravo-Ureta & Pinheiro, 1997). La productividad se refiere a la relación existente entre una cantidad de producto obtenida o la realización de una labor, y los recursos empleados para alcanzar dicha producción o para llevar a cabo dicha labor específica (Sumanth, 1990). La productividad es una medida de eficiencia y es un determinante crítico de la rentabilidad (Bharati & Gupta, 2018). En café y otros cultivos, la productividad puede medirse utilizando dos tipos de indicadores: indicadores parciales de productividad e indicadores de productividad total.

La **productividad parcial** se refiere a la razón entre la cantidad producida o labor realizada y un solo tipo de insumo o recurso empleado (Doss, 2018). En el caso de café pueden citarse como ejemplos de indicadores parciales de productividad: arrobos de café pergamino seco producidas por hectárea, número de árboles de café plateados por jornal, número de jornales utilizados por hectárea en una labor determinada, sacos de fertilizante aplicados por jornal, entre otros. Algunas prácticas de manejo de cultivos de café mejoran los indicadores de productividad parcial, por efecto de las ventajas técnicas que ofrecen. Cuando existe claridad en cuál o cuáles son los recursos más escasos y se desea mejorar su productividad, los indicadores parciales son muy útiles para constatar esa mejoría. Debe resaltarse, igualmente, que los indicadores parciales de productividad son importantes en la toma de decisiones en el corto y mediano plazo, pues al final, en el largo plazo, lo fundamental es el mejoramiento de la productividad total.

En este sentido, la **productividad total** hace referencia a la razón entre la producción global y la suma de todos los recursos o factores empleados en la obtención de dicha producción. De esta forma, la medición de la productividad total refleja el impacto conjunto de todos los factores para generar un producto determinado. Al medir la productividad total se ve reflejado el uso de nuevas tecnologías y, al mismo tiempo, se hace evidente una mayor adopción de tecnologías existentes (Camacho Villota et al., 2020). En café, el indicador de productividad total más confiable es el **costo unitario de producción** o el costo de producción por arroba de café pergamino seco, que se explicará más adelante. Los

indicadores totales de productividad son útiles cuando es difícil identificar un sólo recurso limitante y se considera que existe un conjunto de recursos escasos. La medición y evaluación de la productividad proporciona información a la empresa sobre el nivel de eficiencia alcanzado en la ejecución de sus actividades (Nurwantara et al., 2018).

Adicionalmente, el mejoramiento en los indicadores de productividad total (menor costo unitario de producción), debe ser el objetivo de largo plazo en la producción cafetera, pues de ello depende en gran medida ser competitivo en esta actividad. La disposición de los agricultores a adoptar nuevas técnicas de producción es, sin duda, un medio importante para mejorar la productividad (Doll & Orazem, 1992). De esta manera, el acceder al cambio técnico debe traer implícita una reducción en el costo de producción, a unos precios dados (Ellis, 1993).

Calcular la productividad parcial de la tierra agrícola es igualmente relevante, dado que posibilita tener información para la toma de decisiones. Un índice de productividad de la tierra agrícola muestra de manera simplificada la evolución del cambio tecnológico (Picardi & Giacchero, 2015).

Rentabilidad

La rentabilidad¹ es el beneficio que se obtiene de una inversión de recursos en la gestión de una empresa. Es una medida de eficiencia económica y se considera un elemento que se aplica a toda decisión económica, con el fin de obtener resultados favorables. En general, la rentabilidad financiera es la medida de rendimiento que

¹ La rentabilidad debe interpretarse o asumirse como margen neto unitario o como margen neto por unidad de área.

puede generar un capital o una actividad en un determinado período de tiempo.

En agricultura, para calcular la rentabilidad de la producción de un determinado rubro, es preciso establecer la diferencia existente entre ingresos y costos, resultando en un beneficio o un margen neto (Beneficio = Ingresos – Costos) (Molina de Paredes, 2017). Por lo tanto, la Rentabilidad (R) se calcula restando de los Ingresos totales, los Costos asociados, ajustados por los Costos totales, así (Expresión <1>):

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Ingreso Total} - \text{Costo Total}}{\text{Costo Total}} * 100$$

Al reemplazar Ingresos por Precio, multiplicado por la cantidad (Q), se tiene:

$$\text{Rentabilidad} = \frac{Q * \text{Precio}_Q - Q * \text{Costo}_Q}{Q * \text{Costo}_Q} * 100$$

Finalmente, considerando que Q corresponde a arrobas de café pergamino seco, se tiene:

$$\text{Rentabilidad} = \left[\frac{@\text{cps} * \text{Precio}_{@\text{cps}}}{@\text{cps} * \text{Costo}_{@\text{cps}}} - \frac{@\text{cps} * \text{Costo}_{@\text{cps}}}{@\text{cps} * \text{Costo}_{@\text{cps}}} \right] * 100$$

$$\text{Rentabilidad} = \left[\frac{@\text{cps} * \text{Precio}_{(@\text{cps})}}{@\text{cps} * \text{Costo}_{(@\text{cps})}} - 1 \right] * 100$$

Simplificando finalmente en la Expresión <1>:

$$R = \left[\frac{\text{Precio}_{(@\text{cps})}}{\text{Costo}_{(@\text{cps})}} - 1 \right] * 100$$

Cuando la rentabilidad se asocia a la unidad de área, aparece la expresión (@ ha⁻¹), que corresponde a la productividad, eje de la estrategia “Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad” que ha adelantado la Gerencia Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros desde 2016 (Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé], 2021), y que está sustentada en ocho prácticas fundamentales que debe adoptar el

caficultor en la definición de su sistema de producción de café:

1. Sembrar variedades mejoradas con resistencia durable a la roya
2. Utilizar colinos de café de origen conocido
3. Sembrar o renovar los cultivos en las épocas correctas
4. Establecer la densidad de siembra óptima
5. Definir los ciclos de renovación para mantener los cultivos jóvenes
6. Conocer la acidez del suelo y corregirla para el cultivo de café
7. Nutrir apropiadamente los cultivos
8. Manejar la luminosidad del cultivo

Eficiencia

A pesar de que frecuentemente los términos productividad y eficiencia se emplean con el mismo significado, es claro que ellos tienen diferentes connotaciones. De acuerdo con el Comité de Eficiencia en la Producción Agrícola (Irwin, 1976), la **eficiencia** es la capacidad para generar resultados u obtener productos con el menor costo posible de tiempo, dinero, energía o materiales, y es al mismo tiempo considerada como una medida de la transformación de insumos en productos. Este concepto enfatiza que para ser eficiente se debe buscar una alta productividad, combinada con los costos más bajos posibles. De esta manera, el productor eficiente mantendrá su producción por hectárea tan alta como

pueda, en relación con los costos en que se incurren. Así, cuando el caficultor adopta tecnologías que mejoran sus condiciones de producción, haciendo uso de las ventajas del cambio técnico, está enfocando sus esfuerzos hacia alcanzar mejores niveles de eficiencia y, por lo tanto, ser más competitivo.

Cambio técnico

De acuerdo con (Colman & Young, 1992), la tecnología se define como el conjunto de métodos de producción que han sido o pueden ser desarrollados con base en el conocimiento científico existente. Un concepto asociado a la tecnología es el denominado **cambio técnico**, el cual corresponde al mejoramiento en el estado del conocimiento del productor, de tal forma que adopte nuevas prácticas de producción que incrementen sus posibilidades de obtener márgenes positivos al final del ejercicio agrícola. Este mejoramiento puede expresarse en beneficios directos, derivados de tecnologías, o prácticas que contribuyen a un aumento en productividad, para: fortalecer el consumo familiar, obtener alimentos más nutritivos, acceder a mayores ingresos brutos provenientes de volúmenes de ventas más grandes, tener menores costos de producción, reducir riesgos en la producción, manejar de manera más sostenible los recursos naturales, entre otros (Janvry et al., 2005).

El cambio técnico es el resultado esperado de la innovación, de la implementación de nuevos desarrollos y de la actualización de equipos, técnicas o procesos. Comprende el conjunto de elementos que permiten mejorar los métodos de producción, incrementando la productividad y actuando como un factor potenciador del crecimiento de la agricultura (Biscay, 2007). El acervo de conocimiento que soporta al

cambio técnico y sus aplicaciones en el campo, son elementos indispensables para elevar los niveles de productividad (Cordera Campos, 2017), y es a través de la investigación científica que se expande ese estado del conocimiento, generando tecnologías más eficientes.

En este sentido, existen dos formas básicas para acceder a las ventajas ofrecidas por el cambio técnico (Colman & Young, 1992; Casavant & Infanger, 1984). La primera es, obteniendo una mayor cantidad de producto, empleando la misma cantidad de insumos, y la segunda, obteniendo la misma cantidad de producto, pero empleando menor cantidad de insumos. En ambas opciones se derivan beneficios económicos para el adoptante de la tecnología.

Un ejemplo clásico de la primera opción, es el uso de variedades resistentes a enfermedades, como ocurre con la roya del cafeto. En este caso, los costos de producción son similares para variedades de porte bajo, tanto susceptibles (variedad Caturra) como resistentes (variedad Cenicafé 1), en términos de mano de obra, fertilizante y otros insumos, siendo el único factor que cambia, la necesidad de control de la enfermedad en la variedad susceptible, como se ilustra en la Figura 1.

En la Figura 1 se observan dos funciones de producción, una para cada variedad. Para una densidad de siembra similar y unos costos de producción dados, la variedad susceptible a la roya del cafeto produce la cantidad Q_S de arrobas de café pergamino seco por hectárea; sin embargo, para la misma densidad de siembra y con costos de producción similares, la variedad resistente produciría la cantidad Q_R de arrobas de café por hectárea. Para este ejemplo, $Q_R > Q_S$, dado el carácter de resistencia a la enfermedad

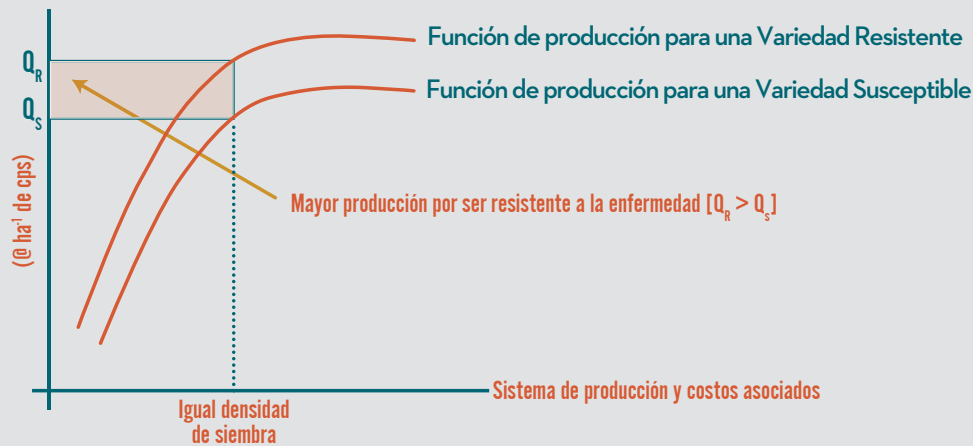


Figura 1. Obtención de una mayor cantidad de producto empleando la misma cantidad de insumos con una variedad resistente a una enfermedad limitante.

en la variedad resistente, y cuando hay ausencia de control de la enfermedad en la susceptible, caso en el cual el cambio técnico ofrece una importante ventaja económica representada en el ingreso bruto generado por la diferencia entre las cantidades producidas ($Q_R - Q_S$), multiplicada por el precio de venta de cada arroba de café.

El uso del análisis de suelos ilustra la segunda forma de aprovechar las ventajas del cambio técnico. A través de numerosos análisis de suelos y de validaciones en su uso, Cenicafé ha demostrado que se pueden lograr los mismos rendimientos en café por unidad de área, empleando una menor cantidad de fertilizante por hectárea y por año; la Figura 2 describe esta ventaja, al comparar dos funciones de producción, una superpuesta sobre la otra. La inferior es una función de producción en la cual el agricultor no haría uso del análisis de suelos para tomar decisiones en fertilización. En este caso, el agricultor aplicaría la cantidad de fertilizante Q_A y obtendría la cantidad de café $Q_{café}$, representada en el eje arrobas de café por hectárea.

La otra función de producción corresponde a la que se obtendría haciendo uso del análisis de suelos. Por experiencia de Cenicafé se sabe que son frecuentes los casos en los cuales los caficultores aplican más fertilizante del requerido, entonces en esta función se aplicaría la cantidad de fertilizante Q_B , que es la recomendada por el análisis.

De esta forma, mediante el análisis de suelos, se estructura una recomendación que involucra una menor cantidad de fertilizante ($Q_B < Q_A$), que es por supuesto una recomendación de menor costo (siendo el ahorro representado por la diferencia de fertilizante $Q_A - Q_B$ multiplicada por su precio), y que permite alcanzar la misma producción que aplicando la cantidad Q_A de fertilizante. En este caso la ventaja del cambio técnico está representada por la disminución en los costos, conservando la misma productividad del café.

El cambio técnico es la vía para hacer uso o acceder a estas ventajas, reconociendo que ellas no operan en forma independiente, sino que, por el contrario, interactúan permanentemente entre sí. De

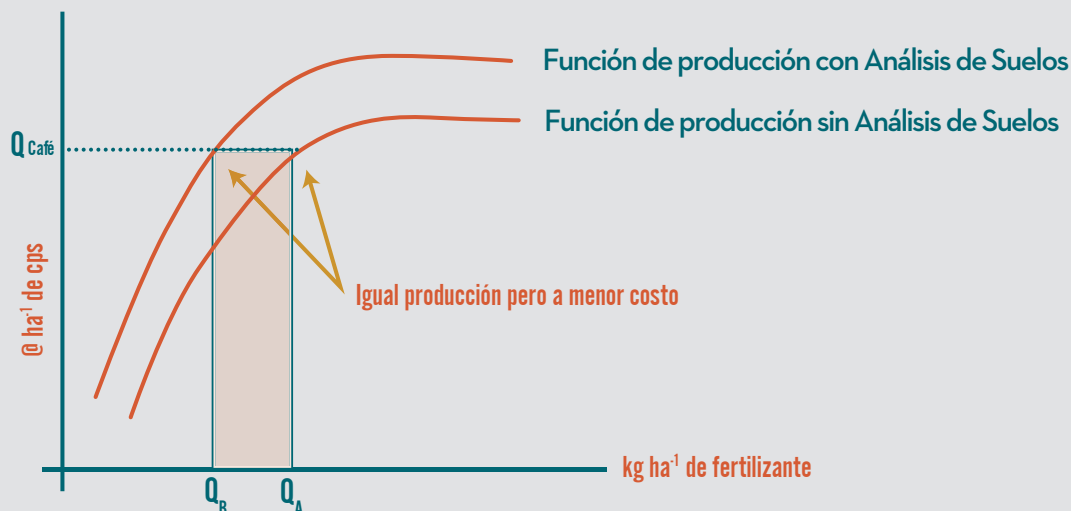


Figura 2.

Obtención de una cantidad similar de producto empleando una menor cantidad de fertilizante haciendo uso de análisis de suelo.

esta manera, algunas prácticas pueden mejorar la productividad y también aportar a la sostenibilidad de la producción cafetera, con resultados positivos en la calidad. Debe esperarse que al implementar sistemas de producción de café que combinen los conceptos de productividad y de cambio técnico se consiga un efecto integrado de estas ventajas que eleve la competitividad de la finca, básicamente por su mayor eficiencia en la producción.

Toma de decisiones

Dentro de los componentes de los costos de café, aquellos que representan la agronomía del cultivo, es decir, la renovación de cafetales, la fertilización, el manejo de plagas, enfermedades y arvenses, corresponden al 47% de los costos de producción, siendo el porcentaje restante aquel relacionado con la recolección, el beneficio y la administración y gastos generales. Este 47% de componentes agronómicos

es responsable por el 100% de la producción y del ingreso bruto. Esto significa que las inversiones económicas en el cultivo deben estar orientadas en aplicar de la mejor manera la agronomía, e incrementar así el ingreso bruto por efecto del mayor volumen y la mejor calidad del café cosechado.

Es claro entonces que **para ser rentable primero hay que ser productivo**. Ser rentable implica tener un margen neto positivo, y en la finca la rentabilidad dependerá de la toma de decisiones correctas y oportunas por parte del caficultor. En este sentido, los componentes tecnológicos desarrollados por Cenicafé apuntan hacia la productividad de la caficultura que, además de promover el cambio tecnológico, la seguridad de los operarios y la conservación de los recursos naturales, resultan en una ganancia en productividad.

En esa toma diaria de decisiones para el manejo de las plantaciones entra a jugar la **regla de decisión económica**, donde de manera abstracta se debe realizar previamente un análisis económico, que implica conocer la práctica agronómica, el **beneficio** de implementarla y el **costo** de la misma. Según esta regla, el caficultor se enfrenta a tres situaciones:

Si el **beneficio** es mayor que el **costo**, entonces debe proceder a ejecutar la práctica, ya que es racionalmente económica.

Si por el contrario, el **costo** es mayor que el **beneficio**, no debe proceder con la práctica. Es el caso de aplicaciones de sobredosis de fertilizante o de insecticidas.

Si el **beneficio** es igual al **costo**, la práctica es indiferente (está en un punto de equilibrio), y el caficultor no debería proceder.

La Tabla de Decisión (Figura 3) enfrenta **decisiones** con **resultados** obtenidos. Es así como al usar prácticas con resultados superiores al Punto de Equilibrio (PE), o cuando no se ejecutan prácticas donde el resultado esté por debajo del PE, se hace un uso eficiente de los recursos con el propósito de aumentar la producción, o se ahorran costos si la práctica no tiene efectos positivos. De otro lado, al realizar gastos en prácticas sin resultados favorables, utilizando productos no recomendados, o dosis inapropiadas, o con una aplicación deficiente o inoportuna, se entra en un Error de Tipo I. Finalmente, si se dejan de hacer las labores, teniendo opciones eficientes disponibles, se cae en el denominado Error de Tipo II.

En ausencia de limitaciones económicas, los caficultores deberían estar moviéndose

entre las opciones correctas de la Tabla de Decisión, pero muchas veces se tienen ineficiencias en los resultados económicos, porque, por ejemplo, usan fertilizantes con grados no cafeteros (Error de Tipo I), en cuyo caso el costo unitario tiende a subir, o dejan de aplicar un insecticida eficaz en el momento oportuno (Error de Tipo II), donde el ingreso bruto tiende a bajar por una menor producción.

Hay que considerar también que, para la mayoría de prácticas agronómicas, la expresión biológica en la planta no es de orden lineal, sino que el árbol presenta respuestas de tipo cuadrático o similares (Cobb Douglas, Spilman u otras), donde la curva de respuesta exhibe incrementos rápidos al inicio, que se reducen con la intensificación de la acción, llegando eventualmente a presentar un valor máximo de respuesta, con incremento en la expresión de la planta igual a cero, y a partir del cual la pendiente se torna negativa y se generan respuestas decrecientes.

Tomar las decisiones acertadas de manera oportuna es fundamental para generar las condiciones de productividad que resulten de manera repetitiva en un margen neto positivo. El acompañamiento técnico del Servicio de Extensión, que transfiere las tecnologías desarrolladas por Cenicafé, con su alta probabilidad de repetición y la validación de eficiencia agronómica, es la mejor manera de promover la rentabilidad desde la finca.

Sistemas de producción

Conceptualmente, el sistema de producción es un conjunto de componentes que interactúan entre sí, comprendiendo las actividades y

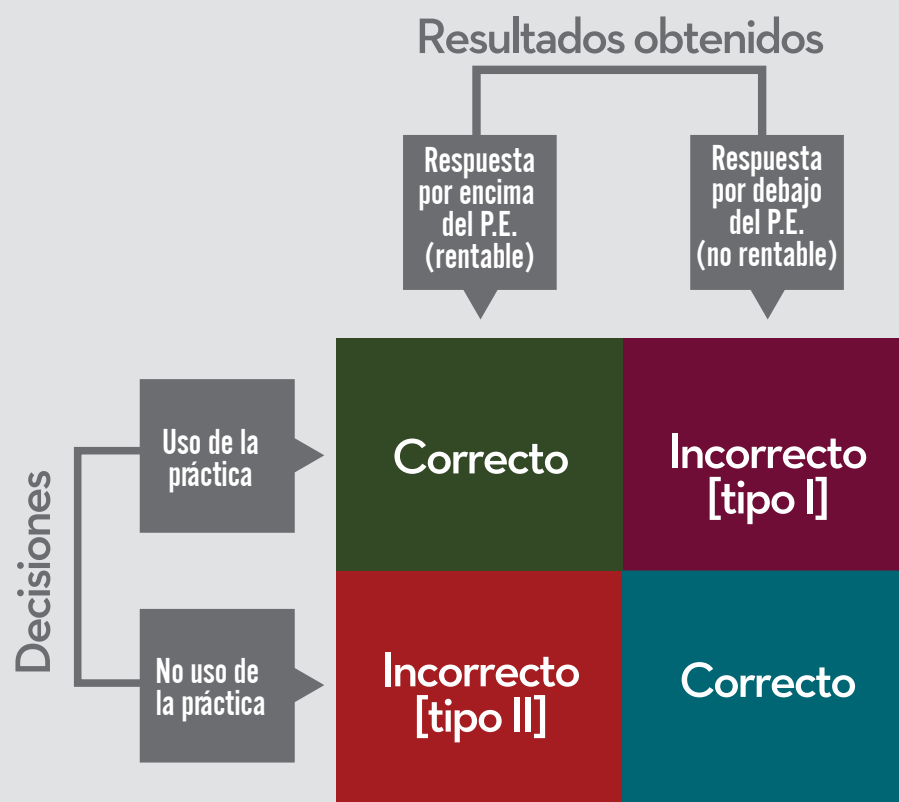


Figura 3.
Tabla de Decisiones para el productor de café. P.E. Punto de Equilibrio

prácticas que los agricultores realizan en sus fincas, bajo su disponibilidad de recursos y circunstancias, para maximizar la productividad y el ingreso neto. Es así como en el centro del sistema está el agricultor, ejerciendo control y manejo, y observando los posibles resultados de esta interacción. Esta aproximación mira de manera integral y dinámica a los componentes del sistema de producción y a sus interacciones, en lugar de referirse a elementos tecnológicos individuales, entendiendo que existen variaciones en los sistemas, dependiendo de la oferta climática, principalmente, y del nivel de implementación de los cambios técnicos. El enfoque de los sistemas de producción hacia los objetivos de rendimiento y

rentabilidad, impulsa indudablemente el bienestar general de los hogares rurales (Kareem, 2014), así como el mejor aprovechamiento y las condiciones de trabajo de la mano de obra, y la sostenibilidad ambiental de la actividad agrícola.

Modelo de productividad del cultivo de café

Araque Salazar & Duque (2019) construyeron una función de producción (Expresión <2>) que relacionó la productividad y las variables tecnológicas de los sistemas de producción de café, utilizando una función tipo Cobb-Douglas.

$$Y_t = AK t^\alpha L t^\beta \quad 0 < \alpha \quad \beta < 1 \quad <2>$$

Donde:

Y: Producción

A: Progreso técnico exógeno (constante de la función)

Kt: Stock de capital (capital)

Lt: Número de empleados en una economía (mano de obra)

α y β : Representan las elasticidades parciales de las variables capital y mano de obra

La suma de las elasticidades parciales en la función tipo Cobb-Douglas, puede tomar valores diferentes a la unidad, condición que permite adicionar un número amplio de variables a la función. Con el uso de logaritmos naturales en ambos lados de la ecuación, se transforma en una función doble logarítmica, lineal en sus parámetros.

El término e , usado en la ecuación lineal, representa el error de la función para sus aplicaciones econométricas; la función definida en la Expresión <3> fue utilizada por los autores para construir los modelos.

$$\ln(Y) = \ln\beta_0 + \beta_1 \ln(X_1) + \beta_2 \ln(X_2) \dots \beta_n \ln(X_n) + e \quad <3>$$

Donde:

Y: Productividad

X_n: Variables tecnológicas

β : Elasticidades parciales de las variables

La variable de respuesta elegida para el modelo fue la productividad promedio

por hectárea de cada finca, expresada en arrobas de café pergamino seco. Aplicando ese procedimiento se estableció un modelo en función de cinco variables que resultaron significativas (P valor < 0,15). El modelo fue significativo (P valor < 0,00001) y presentó un R² de 0,497, es decir, logró explicar hasta el 49,7% de las variaciones en la productividad promedio por hectárea de las fincas.

Los coeficientes beta (β) establecidos corresponden a la elasticidad parcial de cada variable. Las máximas elasticidades parciales correspondieron a las variables densidad del cafetal, determinadas en árboles/ha (1,03), y nivel de fertilización, expresado en kilogramos por hectárea al año (kg ha-año⁻¹) de fertilizante (0,515), las dos con coeficiente positivo, lo cual indica que estas variables son las que tienen mayor peso en la determinación de la productividad; así mismo, la edad del cultivo (0,0994), el porcentaje de variedades resistentes (0,0309) y el área en levante (-0,072), resultaron también determinantes de la productividad para el grupo de fincas cafeteras analizadas.

El modelo es un soporte matemático relevante para priorizar la toma de decisiones, afectada siempre por la disponibilidad del recurso económico o de insumos, o ante la oportunidad de realizar una práctica, proyectando su efecto en la productividad.

Costo unitario de producción

Según Berger (2011), conocer el costo unitario de producción es vital para el análisis del desempeño en la producción agrícola. Es claro que **no es posible administrar eficazmente lo que no se mide**, y por esta razón, conocer el costo unitario de producción es una herramienta fundamental, ya que por ser fácil de

comprender permite tomar decisiones efectivas que involucren las situaciones particulares del lote o de la finca. Debe recordarse que el costo unitario es un indicador de productividad total.

Debido a la volatilidad en los mercados, cuando se conoce el costo unitario de producción, se crean oportunidades para que los productores obtengan el mayor beneficio a lo largo del tiempo, buscando comercializar su café para generar márgenes de ganancia conocidos una vez consideradas las inversiones en mano de obra e insumos, así como limitar los aumentos de costos en la ejecución de las prácticas.

De otro lado, el conocimiento de los costos unitarios propios permite claramente adelantar referenciaciones competitivas con otros productores, y de esta forma examinar en cuáles rubros se pueden realizar ajustes y cambios, para lograr cumplir los objetivos de eficiencia esperados. Estas referenciaciones son muy valiosas, pues la comparación de costos unitarios de otras unidades productivas, bajo las mismas condiciones de oferta de mano de obra e insumos, debe contribuir a mejorar el desempeño propio.

Como indicador de productividad total, determinar los costos unitarios de producción permite:

- ◆ Conocer y comprender cuánto cuesta producir algo y cómo está estructurado ese costo, lo que es fundamental para tomar decisiones informadas en un sentido empresarial, y con la creciente exposición de la agricultura a mercados más amplios y competitivos.
- ◆ Como objetivo general, reducir el costo por tonelada o por cualquier otra unidad

producida, aprovechando al máximo cada insumo, mientras se maximiza la producción, significando a veces, más inversión por unidad de área.

- ◆ Mejorar las decisiones de mercadeo, al calcular las ganancias al vender un producto por un valor mayor a su costo de producción, y ajustado por el volumen total a comerciar.
- ◆ Planear las inversiones y los volúmenes de producción.
- ◆ Identificar ineficiencias en la finca, para corregirlas y evitar los impactos negativos (Bayer Crop Science, 2018).

En este sentido, un factor de diferenciación importante y que es determinante en la competitividad en agricultura es el precio de venta. Así, cuando algunos agricultores están en capacidad de vender su producto a un menor precio, comparados con otros, se debe normalmente a costos de producción inferiores, a productividades mayores, o la combinación de ambos. Cuando los costos son inferiores, estos pueden deberse a un menor costo de los factores de producción (mano de obra, insumos, capital, etc.), al uso de prácticas o tecnologías más eficientes, y finalmente, a una interacción de los dos anteriores.

Debe mencionarse que cuando los productores compiten en precio en el mercado, deben acceder a tecnologías que apunten a reducir los costos de producción. Así, son necesarias las investigaciones económicas de las prácticas de producción, que ayuden a los productores en la comprensión de la mejor manera de reducir los costos unitarios de los productos vendidos. Se deduce entonces que, bajo cualquier escenario, la selección de tecnologías de producción

de café es un factor determinante en la conformación del costo de producción.

Margen Neto

El margen neto (MN) o utilidad neta de un cultivo representa en su sentido más amplio el excedente o resultado positivo obtenido de la diferencia entre ingresos y egresos, en un período determinado, es decir, es el total de las ventas del período menos los costos de producción, los gastos administrativos, los gastos de ventas, los intereses de créditos y los posibles impuestos (Álvarez & Sánchez, 2011).

Para que la utilidad o margen neto se incremente en favor del productor, se deben aumentar los ingresos y reducir los egresos. Para incrementar los ingresos en productos agrícolas, que no son negocios fijadores de precio, la vía más expedita es incrementar el número de unidades vendidas mediante mejoras en la productividad. Esto a su vez conduce a disminuir los costos unitarios. Para bajar los egresos, el caficultor deberá optimizar sus costos y gastos buscando eficiencias en cada parte del proceso. Teniendo en cuenta que, según el SICA (FNC, 2021), el caficultor colombiano en promedio tiene 1,55 ha en café, aplica mucho más el propósito de producir la mayor cantidad posible de café por hectárea, al menor costo posible.

En cultivos perennes, existen dos indicadores que evidencian rentabilidad y eficiencia, puesto que varían positivamente al obtener una utilidad o un margen más grande, y son elementos referenciadores representativos. Ellos son el **margen neto unitario** (MNU), que resulta de dividir la utilidad neta o margen neto entre el número de unidades producidas, y el **margen neto por hectárea** (MN/ha), que se obtiene al dividir la utilidad neta del período entre el número de hectáreas en producción.

En café, para obtener el MNU, se divide la utilidad neta de la finca en un año entre la cantidad de arrobas producidas en el período, obteniéndose el margen neto por arroba. El MN/ha se puede calcular de dos maneras: 1. Dividiendo el margen neto de la finca entre el número de hectáreas en café en producción, o 2. Multiplicando el margen neto unitario por la productividad de la finca.

Conclusión

Con estos conceptos descritos de productividad, rentabilidad y eficiencia, asociados al cambio técnico, la toma de decisiones, variables del modelo de producción, costos unitarios y margen neto, se analizarán a continuación un conjunto de prácticas de manejo de cafetales, recordando que estos conceptos interactúan entre sí y que, por lo tanto, no deben considerarse en forma aislada, sino en el contexto de los sistemas de producción de café.

Metodología





Antecedentes

Antes de presentar los análisis económicos de las prácticas más importantes para manejo de cafetales y la producción de café, es importante hacer claridad en varios aspectos, que ayudarán a mejorar la comprensión de dichos análisis. En primer lugar, los resultados que se muestran en productividad de café y cantidades de mano de obra, entre otros, han sido obtenidos en las Estaciones Experimentales de Cenicafé, en fincas de agricultores en las que se han llevado a cabo experimentos y validaciones de tecnología, así como en fincas de caficultores que amablemente han facilitado información sobre el desempeño económico y costos de las labores de sus fincas.

En segundo lugar, los resultados que se analizan corresponden a valores promedio, y debido a la necesidad de ser concretos en este documento, dichos resultados no se analizan desde la perspectiva de su variabilidad, como debería ser. Por esta razón, se resalta que trabajar con cifras absolutas (sin considerar su variabilidad) no es lo ideal, aunque para efectos de la comprensión de las ventajas o bondades de las prácticas puede ser suficiente. En tercer lugar, los costos de los factores de producción (mano de obra, insumos, etc.) corresponden a los de la Zona Cafetera Central según los valores que se indican en la Tabla 1, razón por la cual es natural esperar que se presenten variaciones para otras zonas del país. Debido a esta circunstancia, es importante aconsejar que al analizar los resultados de este documento **no** se haga sobre la base de las cifras absolutas, sino desde el punto de vista de la filosofía en el ahorro de recursos o incremento en ingresos derivados de las prácticas analizadas. Las

cifras presentadas son fundamentalmente una guía para comprender los efectos de la práctica.

Métodos empleados en los análisis económicos

Para llevar a cabo los análisis, se emplearon procedimientos sencillos y conocidos. De un lado varias de las prácticas son analizadas dentro del contexto de los **presupuestos parciales**. Esta técnica evalúa solamente un segmento del total de la finca; en este sentido, en los presupuestos parciales, insumos, productos y, por lo tanto, costos e ingresos, se relacionarán sólo con la parte del negocio que se está evaluando (Rae, 1977). Este método es sugerido y utilizado para evaluar los efectos de un cambio propuesto en una práctica a nivel de finca (Flinn et al., 1984). Es importante

resaltar que los presupuestos parciales sólo son útiles cuando se analizan cambios pequeños, en nuestro caso, una práctica de manejo de cafetales. Esta metodología se fundamenta en el análisis de los efectos positivos y negativos del cambio técnico propuesto.

De otro lado, se utilizó la técnica del **análisis marginal**, la cual es empleada para comparar el costo de un insumo con el valor de un producto a precios del mercado, con el fin de determinar el adecuado nivel de insumo a utilizar (Becker & Nelson, 1987). El concepto de análisis marginal significa, de esta manera, pequeña adición; así, este análisis es el proceso de considerar pequeños cambios en una decisión para determinar si el cambio propuesto mejorará o no el objetivo de quien toma las decisiones. El punto óptimo es aquel a partir del cual todos los posibles cambios hacia el mejoramiento están exhaustos.

En algunos casos, cuando los análisis económicos incluyeron el factor tiempo, se emplearon técnicas comúnmente aplicadas en la evaluación de proyectos, lo cual implicó la estimación de un flujo de fondos y la actualización del dinero en el tiempo, utilizando como tasa de descuento, para la actualización del dinero en el tiempo, la tasa real de interés. En otros casos se utilizó el análisis beneficio/costo de la práctica o tecnología, aplicando los criterios definidos para este tipo de evaluación (Mokate et al., 1994).

Supuestos básicos

Para llevar a cabo los análisis se tomaron unos supuestos básicos, los cuales se mantienen constantes a través de los análisis de las diferentes prácticas. Los supuestos más importantes aparecen en la Tabla 1.



Tabla 1. Principales supuestos básicos en los análisis económicos.

| Variable | Unidad | Medida |
|---|---|------------|
| Precio interno (promedio/2020) ² | Arroba café pergamino seco | \$ 104.900 |
| Mano de obra ³ | Jornal | \$ 42.000 |
| Recolección café, en cosecha ⁴ | Kilogramos de café cereza | \$ 540 |
| Conversión cereza a pergamino seco (cps) ⁵ | Kilogramos de café cereza por arroba de café pergamino seco | 62,5 kg |
| Beneficio del café ⁶ | Costo por arroba de cps beneficiada | \$4.909 |

² Precio promedio diario de referencia, FNC (2020).

³ Valor promedio del jornal, Zona Central Cafetera, 2020.

⁴ Valor pagado, en promedio durante el año 2020.

⁵ Conversión promedio estándar.

⁶ Costo promedio del beneficio por arroba de café de fincas de la región central de Caldas durante el año 2020.

A man wearing a white hat and a light-colored striped shirt is harvesting coffee cherries in a field. He is leaning over a large black mesh bag that is partially filled with red coffee cherries. The background shows lush green coffee plants with many ripe red cherries. The scene is brightly lit, suggesting a sunny day.

Consideraciones Económicas de las Prácticas



Las prácticas de manejo de cafetales que a continuación se analizan, son presentadas en el orden en el cual un caficultor tomaría las decisiones relacionadas con la producción de café. En este sentido, se comienza con la selección de definición de los ciclos de cultivo y se finaliza con el beneficio y secado del café.

Planear los ciclos de renovación de los cafetales

Para el adecuado manejo de las fincas cafeteras y en el marco de la estrategia “Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad”, una de las consideraciones más importantes en la producción de café es tener claridad acerca de la importancia de definir los ciclos de producción. En este sentido, Mestre & Ospina (1994a) plantean que la renovación de cafetales conduce a la estabilización de la producción de las fincas, a través de tiempo, presentando ventajas económicas y administrativas. La estabilización de la producción se logra conservando grupos proporcionales de plantas en edades secuenciales en la finca, con el propósito de alcanzar el promedio máximo de producción anual, fruto de la producción agregada de los grupos de plantas definidos. Para estructurar lotes de plantas en edades secuenciales diferentes, deben intervenir los cafetales, mediante diferentes tipos de métodos de renovación o podas.

La renovación de los cultivos de café tiene sentido, pues el crecimiento de la planta de café presenta unas características fundamentales que inciden directamente en la producción. De acuerdo con estas características, se plantean dos principios básicos (Mestre & Ospina, 1994a). El primero consiste en que la planta de café

produce una sola vez en un sitio de la rama (nudo), y esto ocurre cuando este nudo ha alcanzado aproximadamente un año de edad; según este principio, la producción a través del tiempo se mueve principalmente en dirección de los sectores de crecimiento vegetativo, así: en un mismo año, en una rama puede encontrarse crecimiento vegetativo y reproductivo, observándose este último en los puntos de crecimiento vegetativo del año anterior. El segundo principio plantea que, a través del tiempo, la tasa de crecimiento de la planta disminuye. Según Machado, citado por Mestre & Ospina (1994a), se observa que cada nuevo crecimiento de una rama primaria es inferior con relación al del año anterior, lo cual conduce a que estas ramas sean menos productivas; sin embargo, como la planta de café crece verticalmente, hay una compensación en la producción y, por lo tanto, la cantidad de café total producido aumenta o se conserva. Pero en un momento determinado, el crecimiento vertical también decrece y entonces la

producción total por planta se reduce significativamente.

Debido a estos dos principios básicos, es necesario llevar a cabo intervenciones en el crecimiento con el objetivo de mantener el máximo número de nudos productivos en la planta y de esta manera asegurar altas producciones.

La Figura 4 representa el crecimiento de las plantas y el comportamiento promedio de la producción a través de los ciclos. Es evidente que en una época determinada del ciclo la producción promedio decae, y es este el momento en el cual se debe intervenir el crecimiento de la planta de café. Particularmente, en este ejemplo, es claro que, a partir de la siembra y debido al crecimiento del árbol de café, la producción se incrementa hasta los cinco años de la plantación (en el caso de altas densidades de siembra), para luego alcanzar una edad a partir de la cual la producción decae o disminuye,

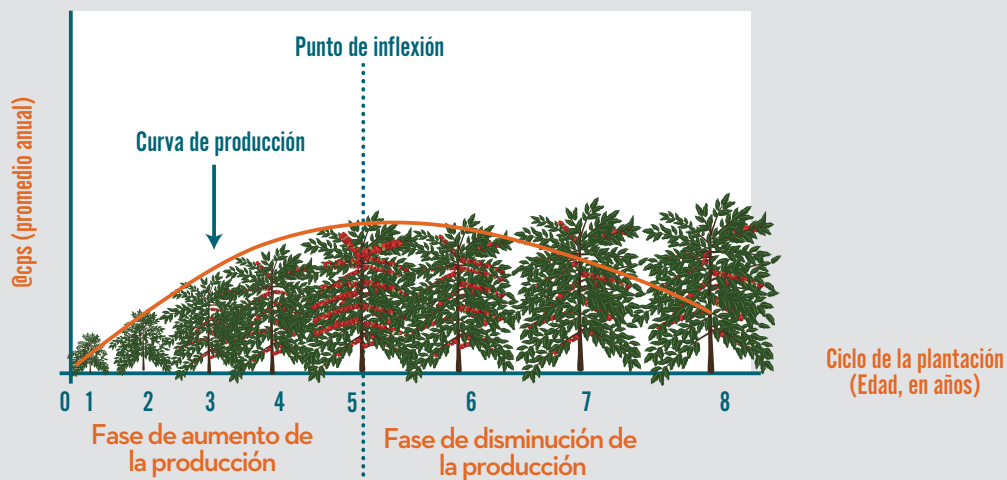


Figura 4. Representación, a través del tiempo, del crecimiento de las plantas de café y del comportamiento del promedio de la producción. Fuente: Mestre & Ospina, (1994a).

que corresponde en realidad al punto de inflexión o de cambio de pendiente de la curva de producción.

Adicionalmente, y con base en resultados experimentales, se ha comprobado el comportamiento de la producción a través del tiempo. Con información obtenida por Uribe (1965), a través de ocho cosechas y nueve años de duración, empleando tres distancias de siembra, se encontró que existía un punto específico para cada densidad de siembra estudiada, en el cual el promedio de la producción era máximo, a partir del cual la producción comenzaba a decrecer. Por supuesto, este punto presentó variaciones, según la densidad de población, tal como se muestra en la Figura 5.

En los tres casos, la respuesta en productividad es explicada mediante

funciones cuadráticas, que son además marginales decrecientes. Para estimar la extensión óptima del ciclo, de acuerdo con la productividad observada, puede emplearse el concepto conocido como **elasticidad de la producción** (Doll & Orazem, 1992; Debertain, 2012), la cual mide el grado de respuesta en la variable dependiente (@ ha⁻¹ de cps), en función de la variable independiente (tiempo en este caso), conservando las demás variables de manejo del cafetal constantes (fertilización, desyerbas, etc.). Cuando dicha elasticidad es mayor a uno, implica que la respuesta en producción es mayor a medida que el tiempo del ciclo de producción avanza. Si la elasticidad está entre mayor que cero y uno, sugiere que la producción también se incrementa, pero en menor proporción al caso anterior. Finalmente, si dicha elasticidad es igual a cero, es evidente que a partir de ese momento adiciones en el tiempo, extender o alargar el ciclo en

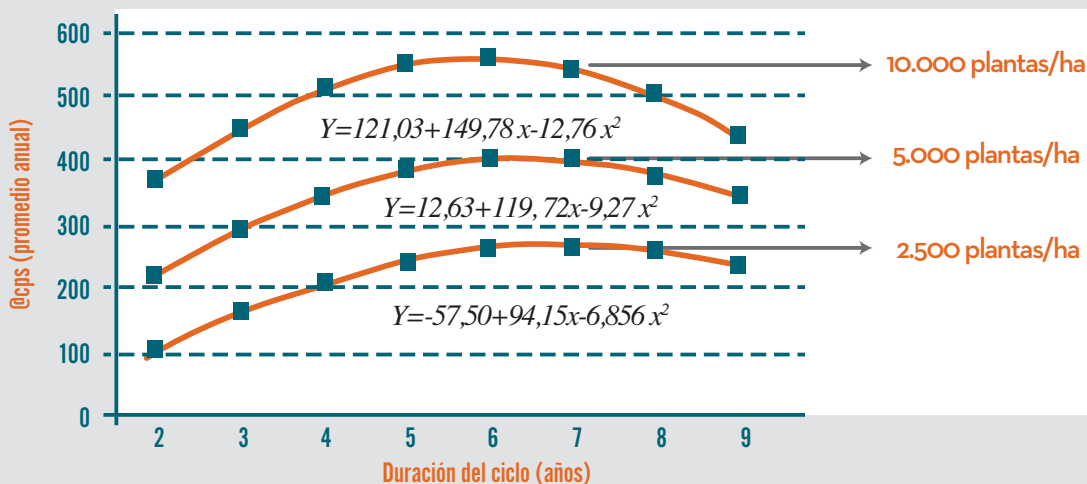


Figura 5. Promedio de producciones según la duración del ciclo. Variedad de porte bajo, Caturra al sol y a libre crecimiento, en tres densidades de siembra. Fuente: Mestre et al. (1994).

este caso, no se reflejarán en aumentos en producción.

La elasticidad de la producción puede estimarse de acuerdo con la Expresión <4>:

$$\varepsilon_p = \frac{\% \text{cambio en producción}}{\% \text{cambio en tiempo}} = \frac{PMg}{Pme} \quad <4>$$

Donde, con base en las funciones de producción:

ε_p = Elasticidad de la producción

PMg = Producto Marginal

PMe = Producto Medio

Cuando la elasticidad de la producción es negativa, implica que a medida que se prolongue el ciclo del cultivo (tiempo, en este ejemplo), la producción declinará significativamente. Para el caso de las tres densidades de siembra analizadas, la Figura 6 describe la elasticidad de la producción en función de la longitud del ciclo, en años.

De acuerdo con la Figura 6, el momento en el cual la elasticidad de la producción es igual a cero, para luego tornarse negativa, varía según la densidad de siembra. Para el caso de 10.000 plantas por hectárea, esto ocurre luego de cinco años de edad de la plantación (60 meses de edad), cuando la densidad es de 5.000 plantas, la elasticidad es igual a cero a los seis años de edad (72 meses de edad), mientras

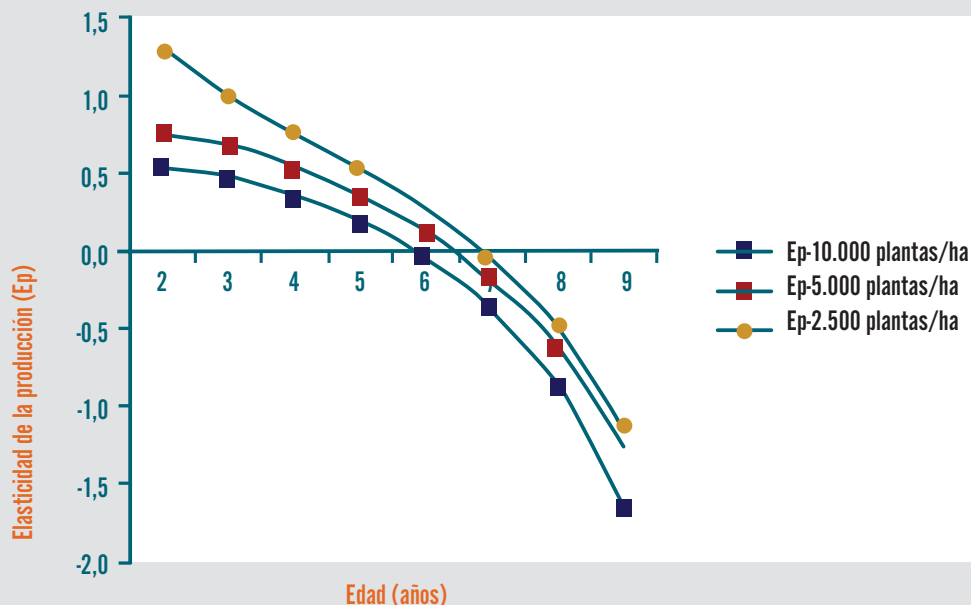


Figura 6. Elasticidad de la producción en tres densidades de siembra al sol, en función de la duración del ciclo de cultivo.

que, para la menor densidad analizada de 2.500 plantas/ha, este momento se alcanza a los siete años (84 meses).

Este análisis permite plantear que con el propósito de mantener altas productividades es necesario intervenir la plantación, renovándola en el momento oportuno del ciclo. Prolongar o extender el ciclo del cultivo, implica aumentar la edad de la plantación (se da un mayor envejecimiento de los árboles), afectando negativamente la producción. Adicionalmente, también tendrá dos efectos negativos adicionales, de un lado dificultará el manejo de la broca y de otro, el costo de la recolección por kilogramo de café cereza, probablemente será mayor. De esta manera, extender los ciclos de las plantaciones, por encima de los momentos recomendados, conducirá a producir café bajo circunstancias de menos competitividad, pues se reduce la productividad del cultivo, se pueden incrementar los costos y, por lo tanto, se afecta negativamente la eficiencia económica de la caficultura.

Es importante mencionar que, una situación similar a la anterior, ocurre en café bajo sistemas agroforestales, tanto en variedades de porte bajo a libre crecimiento como en variedades de porte alto descopadas como, por ejemplo, la variedad Borbón (Figura 7).

De esta forma, la aplicación de cualquier tipo de intervención programada de renovación a los cafetales, en la búsqueda del establecimiento de una plantación de acuerdo con una estructura de edades, en iguales proporciones, se denomina sistema de manejo de los cafetales (Mestre & Ospina, 1994b), y define los ciclos de producción. En este sentido, para determinar el sistema de manejo es necesario en primer lugar, definir la longitud del ciclo, la cual, dependiendo de diferentes factores, varía para la caficultura entre 5 y 7 años. Una vez establecida la duración del ciclo, se define el número de árboles de café a renovar o intervenir por año, para lo cual se puede emplear la Expresión <5> (Mestre & Ospina, 1994b).

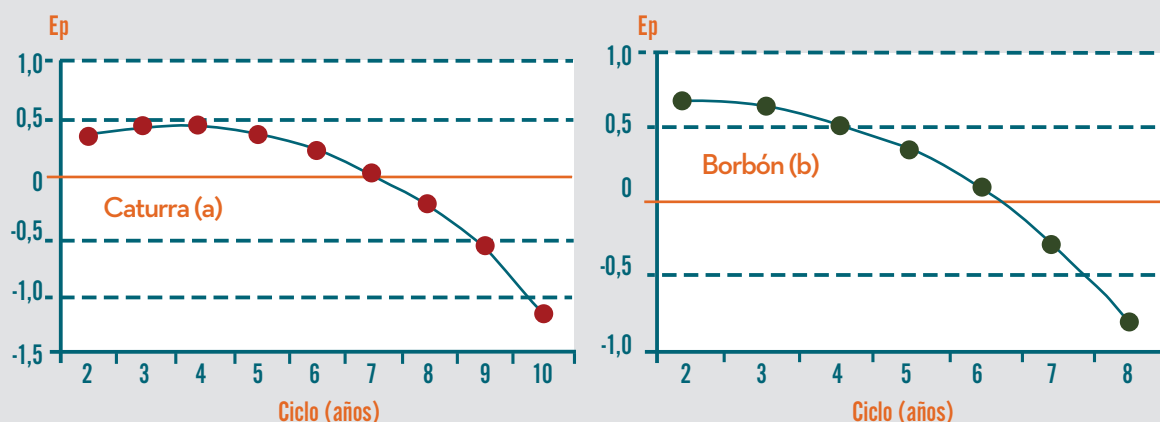


Figura 7. Elasticidad de la producción en Caturra a libre crecimiento (a) y Borbón descopado (b), en función del ciclo de la plantación. Ambos escenarios bajo sistemas agroforestales. Fuente: Mestre (1992).

De esta manera si, por ejemplo, una finca tiene 100.000 árboles de café y ha definido un ciclo de renovación de 5 años, de acuerdo con la densidad de siembra, deberá renovar anualmente unos 20.000 árboles, para estabilizar y maximizar la productividad de la finca.

$$\text{N}^\circ \text{ de árboles a intervenir / año} = \frac{\text{N}^\circ \text{ total árboles / finca}}{\text{N}^\circ \text{ años del ciclo}}$$

<5>

Prever y planear la duración de los ciclos de renovación y determinar la estructura de edades de la plantación es fundamental para incrementar la productividad de la caficultura, vía mejoramiento y estabilización de la productividad de las fincas cafeteras, situación que favorecerá las probabilidades de aumentar la rentabilidad de estas.



Sembrar variedades resistentes

La roya anaranjada de la hoja o roya del cafeto, es la enfermedad más severa en plantaciones de café alrededor del mundo, y está extendida por todo el país. En variedades susceptibles como Caturra, Borbón, Típica, Costa Rica 95, Geisha y varietales, la roya puede causar potencialmente pérdidas entre el 23% y el 50% de la producción acumulada, en un ciclo de cinco años (cuatro cosechas), cuando las condiciones climáticas son apropiadas para una epidemia y ante la ausencia de medidas de control. La roya ataca directamente las hojas de la planta, pero afecta indirectamente el llenado de los frutos, alterando también negativamente el factor de conversión de café cereza a pergamino, con relaciones de 5,8 o más (Rivillas et al., 2011). De esta manera, mientras que en condiciones normales se requieren 62,5 kilogramos o menos, de café cereza para obtener una arroba de café pergamino seco, bajo ataques severos de roya podrían requerirse



72,5 kg, reduciendo apreciablemente la producción.

Tomando como ejemplo una finca de 5,0 ha, que se encuentre dividida en cinco lotes de diferentes edades, es posible proyectar las pérdidas económicas potenciales derivadas de la roya, en un ciclo de 5 años, tal como se observa en la Tabla 2. De esta manera, para una producción promedio de 172,7 @ ha-año⁻¹ en el ciclo, correspondiente a una productividad ligeramente superior al promedio nacional para café tecnificado al sol, pero afectada con una reducción intermedia del 36,5%, por efecto de no controlar la enfermedad, las pérdidas promedio por hectárea al año están por el orden de los 6,5 millones de

pesos, considerando las producciones diferenciales en lotes de edades diversas, que varían entre 32,82 @ en lotes de primera cosecha (equivalentes a \$3.419.927), hasta 108,6 @ en lotes de tercera cosecha (equivalentes a \$11.315.958). La finca en su conjunto podría presentar pérdidas potenciales alrededor de \$32.841.496 anuales.

En cafetales de mayor tecnificación, donde la productividad es mayor, las pérdidas potenciales serán también mayores, tal como se describe en la Tabla 3. Es así como para una productividad promedio de 254 @ ha⁻¹, las pérdidas oscilarían entre 44,02 @ para la primera cosecha (equivalentes a

Tabla 2. Pérdidas económicas debidas a la reducción del 36,5% en producción por efecto de la roya, en fincas cercanas a la productividad nacional promedio.

| Edad Lote | Producción (@ ha ⁻¹) | Pérdidas (@ ha ⁻¹) | Valor pérdidas (\$/ha) |
|--|----------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 0 - 12 meses | 0 | 0 | 0 |
| 12 - 24 meses | 89,92 | 32,82 | 3.419.927 |
| 24 - 36 meses | 264,47 | 96,53 | 10.058.588 |
| 36 - 48 meses | 297,53 | 108,6 | 11.315.958 |
| 48 - 60 meses | 211,58 | 77,23 | 8.047.022 |
| Total Finca (@ año ⁻¹ de cps) | 863,5 | 315,18 | 32.841.496 |
| Promedio @ ha-año ⁻¹ | 172,7 | 63,04 | 6.568.299 |

Tabla 3. Pérdidas económicas debidas a la reducción del 36,5% en producción por efecto de la roya, en cafetales tecnificados de mayor productividad.

| Edad Lote | Producción (@ ha ⁻¹) | Pérdidas (@ ha ⁻¹) | Valor Pérdidas (\$/ha) |
|--|----------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 0 - 12 meses | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 12 - 24 meses | 120,61 | 44,02 | 4.587.337 |
| 24 - 36 meses | 354,75 | 129,48 | 13.492.154 |
| 36 - 48 meses | 496,65 | 181,28 | 18.889.015 |
| 48 - 60 meses | 297,99 | 108,77 | 11.333.409 |
| Total Finca (@ año ⁻¹ de cps) | 1.270,00 | 463,55 | 48.301.910 |
| Promedio @ ha-año ⁻¹ | 254,00 | 92,71 | 9.660.382 |

\$4.587.337), hasta 181,28 @ en la tercera cosecha (con un valor equivalente a \$18.889.015). La finca en su conjunto podría presentar pérdidas potenciales alrededor de \$48.301.910 por año, cifra que corresponde a una pérdida anual promedio por hectárea de \$9.660.382.

En este sentido, los caficultores que estén ubicados en zonas donde la enfermedad es un problema sanitario permanente y serio, deberán implementar una estrategia de control con el objetivo de evitar las pérdidas potenciales en producción. Técnicamente estas estrategias se centran en el uso de fungicidas o en la siembra de variedades con resistencia genética.

Uso de fungicidas contra la roya

El control químico de la roya con fungicidas sistémicos de síntesis química se lleva a cabo mediante aspersiones en el momento oportuno, el cual se define de acuerdo a uno de los tres sistemas recomendados: en las fechas de un calendario fijo, observando la floración principal o siguiendo los niveles de infección (Rivillas et al., 2011). El primero consiste en realizar aspersiones de fungicidas efectivos contra el hongo causante de la roya (*Hemileia vastatrix*), de acuerdo con un calendario establecido

previamente, que varía dependiendo de la distribución histórica semestral de la cosecha en el país. El segundo se basa en el registro de la ocurrencia y la magnitud de las floraciones en la finca, permitiendo un ajuste de las aspersiones a las condiciones particulares del clima del año en curso, mientras que el tercero se realiza bajo el criterio de los niveles de desarrollo de la enfermedad encontrados en el lote afectado, respondiendo a la evolución local de la epidemia. Los fungicidas efectivos a la fecha se reducen a triazoles, como el cyproconazol, a estrobilurinas como el azoxystrobin, o a formulaciones que los mezclan. Así mismo, existen en el mercado diferentes equipos para realizar las aspersiones tales como aspersoras de palanca (presión neumática), de presión constante, motorizadas de espalda y semi-estacionarias. De esta forma el costo del control de la roya podrá presentar variaciones dependiendo del sistema de control establecido, del tipo de fungicida seleccionado y del equipo de aspersión utilizado (Rivillas et al., 2011).

La Tabla 4 describe tres escenarios de implementación de medidas para el control de la roya, con sus costos, dependiendo del tamaño de la finca, del sistema de control, producto empleado y tipo de equipo, y se observa que la ejecución de un programa de manejo de la enfermedad

Tabla 4. Costos de control de la roya, con tres aplicaciones de fungicida por año, bajo diferentes escenarios.

| Tamaño de la finca | Sistema | Equipo de aspersión ⁷ | Tipo de fungicida | Costo (\$ ha-año ⁻¹) |
|--------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Hasta 10 ha | Calendario | Presión neumática | Cyproconazol | 1.156.672 |
| Mayor 10 ha | Floración principal | Motorizado | Azoxystrobin | 457.848 |
| Mayor 10 ha | Niveles de infección | Semi estacionaria | Azoxystrobin–Cyproclonazol | 1.059.847 |

⁷ Depreciados en línea recta, de acuerdo con la vida útil del equipo y su valor de salvamento.

implica incurrir en costos de producción adicionales, por lo que el costo unitario de producción aumenta y el margen de utilidad unitario es menor.

La Figura 8 muestra el incremento en el costo por arroba de café, de acuerdo con el tipo de fungicida aplicado y la productividad del cafetal por hectárea, donde a mayores productividades por hectárea, el incremento en el costo unitario es menor. Por lo tanto, para las productividades descritas, estos incrementos pueden oscilar entre \$13.381/@ de cps para el mayor de los casos, hasta \$5.240/@ cps en el menor. En muchos escenarios, el incremento en el costo marginal de producción puede representar la posibilidad de disminuir significativamente el margen de utilidad unitario, amenazándose seriamente la competitividad de la finca.

Finalmente, en la estrategia de uso de fungicidas contra la roya, cabe anotar que aun con un desempeño eficiente de fungicidas y equipos, y la aplicación oportuna del control químico, la producción en variedades susceptibles bajo epidemias severas de roya puede ser inferior entre un 4,0% y un 7,0%, y hasta un 24%, con respecto a la producción de una variedad resistente a la enfermedad (Aristizábal & Duque, 2007).

Siembra de variedades con resistencia genética a la roya

Como alternativa al manejo de la roya mediante control químico, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia inició en 1970 un programa de investigación con el objetivo de producir variedades mejoradas multilíneas, con resistencia a

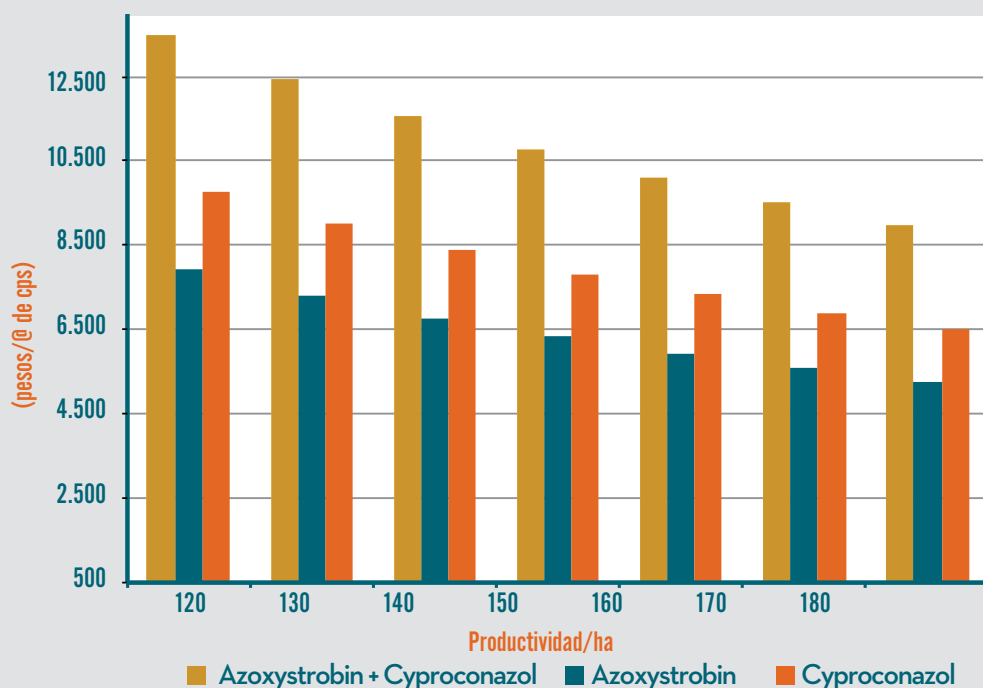


Figura 8. Incremento en el costo unitario, debido al manejo de la roya del café, según diferentes productividades por hectárea.

esta enfermedad. Fruto de ese trabajo, en 1982 se liberó la variedad Colombia, de porte bajo (Moreno & Castillo, 1984; G. Moreno & Alvarado, 2000), la cual fue seguida por la variedad Tabi de porte alto, y posteriormente, por las variedades Castillo®, de porte intermedio: General (2005), Regionales (2006) y Zonales (2018), y finalmente la variedad de porte bajo, Cenicafé 1 (2017). Todas las variedades se desarrollaron a partir del cruzamiento de Caturra x accesiones del Híbrido de Timor 1343, utilizando la diversidad genética como estrategia para tener una resistencia durable contra la roya del cafeto (Alvarado, Posada, & Cortina, 2005; Alvarado, Posada, Cortina, et al., 2005).

Las variedades desarrolladas bajo la estrategia de diversidad genética de la FNC poseen mecanismos genéticos de resistencia completa e incompleta, que actúan de manera simultánea (Moreno & Castillo, 1984). Es aquí, donde el concepto de variedad compuesta cobra relevancia, debido a que la variedad mejorada puede recomponerse, incorporando nuevas líneas resistentes o removiendo aquellas en las que se observa disminución en su resistencia. De esta manera, se reduce el efecto negativo que, sobre la resistencia de la variedad tiene la aparición de nuevas razas de roya y se mantiene la durabilidad de la resistencia en el campo.

En su conjunto, las variedades desarrolladas por la FNC son responsables a la fecha del 85% de la producción nacional de café, siendo cultivadas en diferentes ambientes y microclimas de las distintas regiones cafeteras (Tabla 5), y mostrando una amplia adaptación en una superficie aproximada a 708.656,37 hectáreas, área equivalente al 85% del total del área cafetera nacional⁸.

Los estudios de las características físicas de las variedades resistentes, destacan la excelente granulometría en todas sus progenies, siendo esta superior a la variedad Típica, considerada como una de las mejores del mundo. En este sentido, las variedades resistentes se caracterizan por presentar valores de granos vanos y caracol menores al 10% y porcentajes superiores de granos supremos, comparados con la variedad Caturra (Tabla 6).

En cuanto a la calidad en taza, pruebas realizadas por paneles de catadores, acreditados como Q-Grader, han demostrado que el potencial de excelente calidad sensorial está presente en los diferentes componentes de las variedades resistentes Colombia, Tabi, Castillo® y Cenicafé 1, de la misma manera que en las variedades de *Coffea arabica* reconocidas por su calidad en taza como

⁸ FNC /Gerencia Técnica, Sica Web, junio 30 de 2021

Tabla 5. Área establecida en variedades resistentes en Colombia.

| Variedad | Hectáreas | Porcentaje |
|------------|------------|------------|
| Cenicafé 1 | 6.287,24 | 0,89% |
| Castillo | 501.288,57 | 70,74% |
| Tabi | 4.436,25 | 0,63% |
| Colombia | 196.644,31 | 27,74% |
| Total | 708.656,37 | 100% |

FNC /Gerencia Técnica, Sica Web, junio 30 de 2021.

Tabla 6. Composición de café supremo en las variedades resistentes.

| Variedad | Progenies | Café supremo (%) |
|-----------------------|-----------|------------------|
| Cenicafé 1 | 8 | 83,7 - 85,0 |
| Colombia | 41 | 83,0 |
| Castillo® General | 34 | 80,0 |
| Castillo® Zona Norte | 11 | 75,9 – 78,6 |
| Castillo® Zona Centro | 11 | 73,9 – 77,0 |
| Castillo® Zona Sur | 11 | 78,5 – 81,0 |
| Tabi | 23 | 84,7 – 89,2 |
| Caturra | 1 | 62,5 |

Típica, Borbón y Caturra (Alvarado & Puerta, 2002; Alvarado et al., 2009; Flórez et al., 2016).

De esta manera, al sembrar variedades resistentes, los caficultores tienen ventajas en sus costos de producción. Por una parte, su adopción no implica incurrir en costos adicionales por efecto de prácticas agronómicas como fertilización, manejo de broca y manejo de arvenses, entre otras, donde no difieren las prácticas recomendadas para estas variedades, de las aplicadas en variedades de café susceptibles a la roya. Adicionalmente, se evitan pérdidas significativas en producción por efecto de la roya del cafeto, y por entrar a gastos adicionales en mano de obra e insumos para controlar la enfermedad de manera eficiente. Finalmente, las variedades resistentes mantienen la calidad de taza reconocida para el café colombiano, con una mejora en productividad y calidad física del grano, que implica mejores ingresos por venta de café pergamino seco

Producir los colinos de café en la finca

Construir el germinador en la finca, con semilla certificada y de origen conocido,

y producir los almácigos propios, permite seleccionar las mejores chapolas para la obtención de colinos de café sanos y vigorosos que garantizan la instalación de un buen cafetal. Al producir los colinos de café en la propia finca, se podrán seleccionar las mejores plantas, que son las que aseguran el futuro de la plantación. Adicionalmente, la producción de dichos colinos es menos costosa que adquirirlos comercialmente.

Gaitán et al. (2011) manifiestan que una bolsa para almácigo con capacidad aproximada de 1,0 kg con medidas que privilegien la profundidad, permitirá tener plántulas sin malformaciones de raíz durante los primeros cuatro meses, lo que puede resultar en ahorros en sustrato del colino, facilitar tanto su transporte al lote, como sitio definitivo; sin embargo, debe evaluarse el costo de iniciar el manejo integrado de arvenses de manera anticipada frente al trasplante de un colino con bolsa de mayor tamaño que permite seis meses de tiempo en almácigo.

Estudios llevados a cabo en Cenicafé, empleando materia orgánica (pulpa descompuesta) y bolsa grande (17 x 23 cm) muestran que producir un colino de café en la finca (para un almácigo de 5.000 colinos), cuesta aproximadamente \$240,

incluyendo la depreciación de materiales y equipos necesarios hasta tenerlo listo para el trasplante en el lote, a pesos de 2020.

Actualmente, en la región central cafetera de Colombia, un colino comercial de café tiene un valor cercano a \$350 (algunas veces el precio ha ascendido a \$380 - \$400 por colino), de esta forma la diferencia entre producirlo y comprarlo es de \$110, lo cual implica una reducción del 31% en el costo por colino. En fincas comerciales, donde se puede acceder al sustrato suelo y materia orgánica (pulpa compostada), fácilmente se registraron en 2020 costos de producción hasta de \$142 por colino, lo que significa un ahorro aún superior. La Figura 9 muestra el ahorro en pesos por hectárea al instalar cafetales de diferentes densidades de siembra, pero con colinos producidos en la propia finca.

Como puede observarse en la Figura 9, el ahorro en el costo de los colinos es significativo. Para la menor densidad de siembra dicho ahorro representaría \$550.000 por hectárea hasta el momento de la instalación, y para la mayor densidad equivaldría a \$1.100.000 por hectárea, lo cual es obviamente una ventaja económica de esta práctica.

Otro aspecto importante relacionado con la producción de colinos de café en la finca radica en la seguridad para el caficultor de la identidad del material genético obtenido; es indispensable adquirir la semilla en los Comités de Cafeteros o Almacenes del Café, debidamente empacada e identificada con código de barras que permita su trazabilidad, y validar la siembra de variedades resistentes a la roya y con la tecnología desarrollada por Cenicafé,

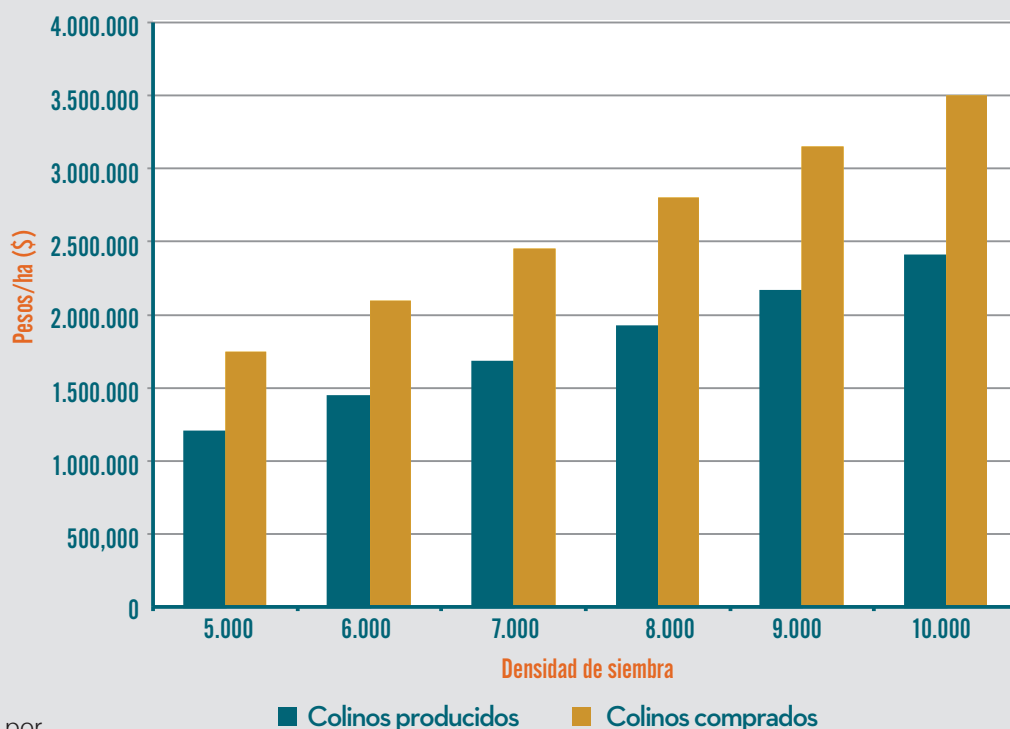


Figura 9. Diferencias en el costo por hectárea, al momento de la siembra entre colinos de café producidos en la finca vs comprados.



para su establecimiento y sostenimiento en el país.

Adicionalmente, producir los colinos en la propia finca permite tener la certeza de la sanidad del material y de un óptimo manejo agronómico brindado durante toda la etapa del almácigo, así como evitar posibles daños en el transporte y manipulación en distancias largas, desde los viveros comerciales hasta la finca.

Sembrar un alto número de plantas por hectárea

En la búsqueda de altas productividades en café, se pueden sembrar hasta 10.000 plantas de café por hectárea. Estudios llevados a cabo en Cenicafé (Uribe &

Mestre, 1988a; Uribe & Mestre, 1988b) han demostrado cómo, hasta cierto límite, la productividad de café por hectárea se incrementa significativamente en función del aumento en la densidad de siembra. En una investigación adelantada por Duque & Bustamante, (2002), acerca de los determinantes de la productividad del café, entre un conjunto de variables, se encontró que la densidad de siembra presentó la mayor elasticidad parcial, indicando que los mayores cambios en productividad por hectárea dependían de las variaciones en la densidad de siembra. Estos resultados fueron corroborados por Araque Salazar & Duque, (2019), a través de una función de producción tipo Cobb–Douglas, que permitió visualizar el peso de las variables agronómicas en la explicación de la productividad del cultivo, siendo la más importante la densidad de siembra, expresada en número de árboles de café por hectárea cultivada. Igualmente, en un estudio en caficultura bajo sistemas agroforestales, Farfán & González, (2020) pudieron inferir que las producciones mayores se registran con densidades de siembra del café entre 7.200 y 9.000 plantas/ha. Por consiguiente, el mayor aporte individual de las variables agronómicas en café hacia la productividad proviene de la densidad de siembra, expresada en el número de plantas sembradas por hectárea.

En un experimento llevado a cabo por Mestre⁹, se estudió la respuesta en productividad de café variedad Colombia al sol, en función de la densidad de siembra por hectárea, en la Estación Experimental Naranjal. La Expresión <6> describe la respuesta en productividad, en arrobas de café pergamino seco promedio por hectárea al año, para un ciclo de 5 años.

⁹ Mestre M., A. Respuesta en productividad de acuerdo con la densidad de siembra en variedad Colombia. Comunicación personal. Cenicafé, Manizales, Noviembre/2000.

En la Figura 10 se observa que la función que describe el incremento en productividad es de tipo cuadrático, caracterizada por ser marginal decreciente. Este comportamiento implica que al aumentar la densidad de siembra a partir de 2.500 árboles por hectárea hasta un poco más de 10.000, la productividad se incrementa, pero en forma decreciente, para luego comenzar a disminuir.

Conociendo la función de respuesta, es posible estimar el **óptimo biológico**, el cual se alcanza con 11.033 árboles/ha, para este caso particular. Este óptimo biológico puede llamarse también **óptimo agronómico u óptimo de producción física**, y corresponde a la densidad de siembra a la cual se maximiza el promedio de arrobas de café pergamino seco por hectárea al año.

$$Y = 130,73 + 0,052647 X - 0,000002359 X^2$$

<6>

Donde:

Y = arrobas de café pergamino seco promedio en el ciclo.

X = densidad de siembra (árboles de café por hectárea).

Para encontrar el óptimo económico en densidades de siembra en cultivos perennes, como es el caso del café al sol, puede procederse desde dos perspectivas. La primera es que, una vez conocida la función de respuesta, es posible determinar la función de ingresos brutos, que correspondería al producto de la función de producción multiplicada por el precio interno del café. En este caso sería

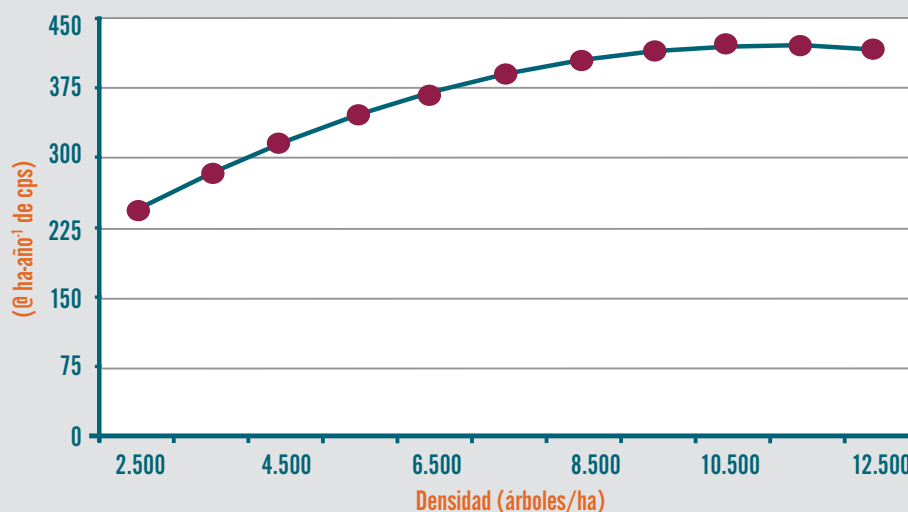


Figura 10. Productividad del café al sol, en función de la densidad de siembra.

necesario conocer la función de costos totales para cada densidad de siembra y en el punto donde la distancia entre ambas funciones (ingresos brutos y costos totales) fuera máxima, se encontraría el óptimo económico; sin embargo, este procedimiento es difícil de emplear puesto que la función de costos para cada densidad de siembra es compleja de determinar.

En vista de esto, puede optarse por un segundo acercamiento, el cual consiste en tratar el costo del árbol de café como si fuese un insumo, por ejemplo, un kilogramo de nutriente (fertilizante). Esta aproximación se sustenta en los principios de la economía de la producción, específicamente en la relación insumo - producto. En este sentido, si para determinar el óptimo económico en fertilización con nitrógeno debe conocerse el costo de un kilogramo de nitrógeno (N), en el caso de densidades deberá establecerse el costo anual de un árbol de café, a través del ciclo productivo. Este costo anual del árbol se refiere al costo de todas aquellas labores de mantenimiento del cultivo que garantizan un árbol productivo; adicionalmente, debe cargarse un costo adicional que corresponde a la parte proporcional de los costos administrativos relacionados con las decisiones tomadas en la ejecución de las labores agronómicas, que se suman a los costos de la agronomía del cultivo.

Para este ejercicio y aplicando el principio de prudencia (no sobrestimar, ni subvalorar costos), se tomó información proveniente de un conjunto de fincas (40) de la zona central de Caldas, específicamente relacionadas con ciclos de siembra al sol y para una densidad de 6.000 árboles/ha.

De acuerdo con la información obtenida acerca del costo de la agronomía del árbol y su correspondiente parte proporcional de los costos administrativos, se estimó el costo promedio por árbol de café, por año del cultivo, para un período de 20 años, actualizados al año cero del proyecto. Las variables agronómicas consideradas fueron: renovación del cultivo, fertilización, manejo de arvenses, manejo de broca, otras labores (deschuponadas, resiembras, etc). Se excluyeron los costos relacionados con recolección, beneficio y transporte, debido a que son costos proporcionales a la cantidad de café cosechado. En este sentido, Harrington (1982) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (1988) consideran no incluir en análisis económicos y formulación de recomendaciones aquellos costos que son aproximadamente proporcionales al rendimiento (cosecha, desgrane, almacenamiento, entre otros).

Con estos supuestos, el costo unitario por árbol de café fue de \$ 953, cifra que se asumió como el costo promedio por árbol al año, para estimar el óptimo económico. Con esta cifra y con el precio interno del café¹⁰ es posible estimar el óptimo económico, que en este caso estaría en 9.129 árboles/ha de café cultivado al sol (óptimo que puede presentar variaciones entre sistemas de producción de café o entre zonas agroecológicas). Sin embargo, conociendo que a través del ciclo de cultivo ocurren pérdidas en población, en los cafetales (árboles muertos), que puede ser aproximadamente del 5%, entonces la población a sembrar y mantener en producción deberá estar alrededor de 9.600 árboles de café por hectárea, siendo este el óptimo en densidad de siembra

¹⁰ Como el café es un cultivo perenne, debe asumirse un precio de venta que represente al menos un año, en un promedio, por ser un ciclo del cultivo, y no tomar el precio vigente a un día específico. Así se evitaría sobrestimar la densidad de siembra óptima o por el contrario subestimarla. En este caso se tomaron \$104.900 @ de cps, promedio del precio de referencia en el año 2020.

para las condiciones del experimento. En la Figura 11 se describe la elasticidad de la producción, concepto analizado en el capítulo de ciclos de renovación. Cuando esta elasticidad es igual a 0, se logra el óptimo biológico.

Es fundamental recalcar que, cuando se toma la decisión de hacer caficultura al sol, es conveniente, desde el punto de vista económico, establecer plantaciones con densidades hasta de 9.600 árboles de café por hectárea, pero siempre teniendo en cuenta las condiciones ambientales locales. Cabe resaltar que, al establecer densidades de siembra menores, cuando las condiciones favorecen altas poblaciones, se pierde eficiencia económica en los recursos empleados.

En vista de la importancia de las altas densidades de siembra, Cenicafé ha desarrollado diferentes formas de obtenerlas, pero con una reducción significativa en los costos. Un ejemplo es la siembra de dos chapolas por bolsa

para instalar en el campo dos plantas de café por sitio. Estudios desarrollados por Uribe & Mestre (1988b) demostraron las ventajas de sembrar dos chapolas por bolsa, para obtener dos colinos por sitio, que sembrados a una distancia de 1,42 x 1,42 m (5.000 sitios), presentaron altos rendimientos.

Con base en los resultados anteriores, a continuación, se muestra el análisis económico de sembrar dos plantas por sitio, provenientes de almácigos en los cuales se sembraron previamente dos chapolas de café por bolsa. Es claro que los costos difieren sustancialmente, pues empleando dos chapolas por bolsa, los costos de instalación pueden reducirse hasta en un 45,2%, circunstancia ampliamente ventajosa desde el punto de vista de reducción de costos.

De otro lado, la Disciplina de Fitotecnia de Cenicafé, estudiando diferentes sistemas de obtención del número de plantas por sitio y su efecto en la producción de café, encontró en 14 localidades de

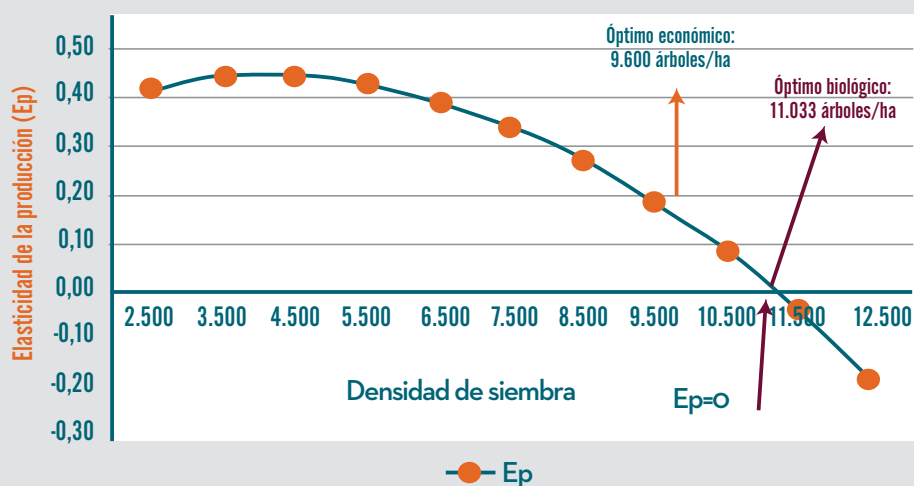


Figura 11.

Elasticidad de la producción, en función de la densidad de siembra.

la zona cafetera colombiana que no se presentaron diferencias estadísticas en productividad por hectárea al comparar una, dos plantas por sitio y dos tallos por sitio provenientes de un colino descopado en la fase de almácigo, para tres densidades de siembra, 5.000, 7.500 y 10.000 plantas o tallos por hectárea (Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé], 2001). La Figura 12 describe los resultados obtenidos en la Estación Experimental Naranjal, municipio de Chinchiná, correspondientes al ciclo desde el año 1996 al 2000.

De la Figura 12 también se deduce que, independientemente del arreglo observado, es evidente que, a mayor población de árboles de café por hectárea se alcanzan productividades mayores. Unigarro et al. (2021) plantean que, al incrementar la densidad de siembra en rangos adecuados se optimiza la captura de luz, dado el incremento del índice de

área foliar (IAF) y, por lo tanto, se incrementa la capacidad fotosintética del cultivo de café. Al aumentar la fotosíntesis se mejora la productividad, que es un camino clave para tener las bases y construir una mayor rentabilidad de la finca cafetera.

Realizar manejo integrado de arvenses

A nivel mundial las pérdidas por manejo inadecuado o inoportuno de las arvenses, o plantas acompañantes de los cultivos, son mayores que las producidas por insectos plaga u otros artrópodos, y pueden convertirse en el problema más severo de la agricultura (Ramírez, 2017). A través de varios estudios se ha demostrado cómo las desyerbas o limpieas de los cafetales se reflejan en aumentos en producción

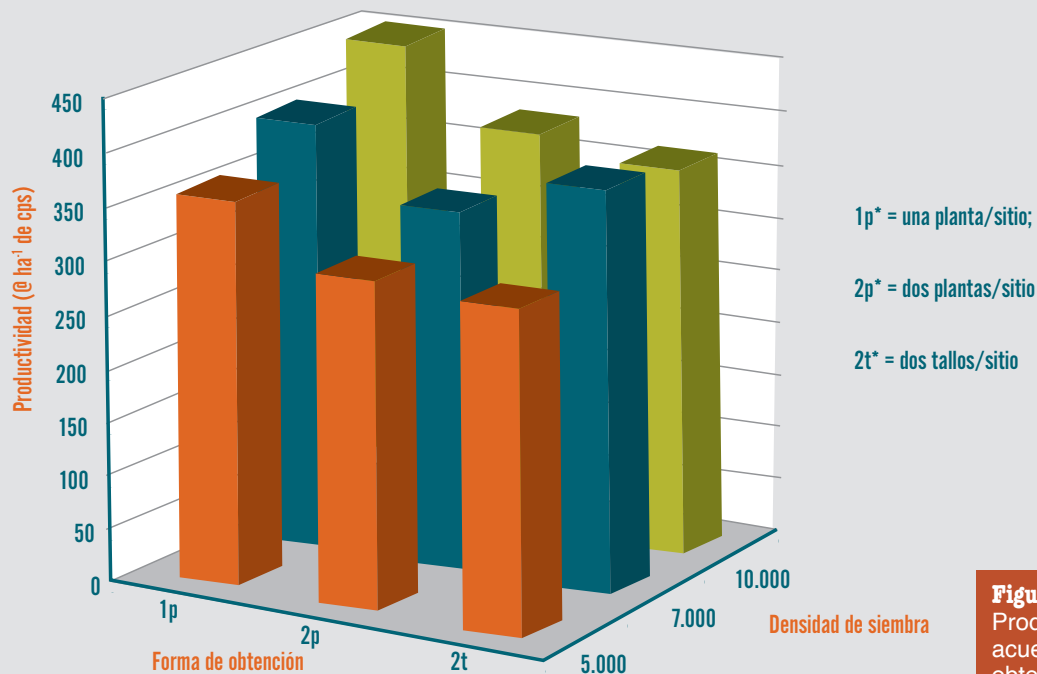


Figura 12. Productividad del café al sol, de acuerdo con diferentes formas de obtener la densidad de siembra.



y ganancias, dentro de ciertos límites (Mestre, 1979). Sin embargo, este aspecto debe ser analizado más profundamente, pues el manejo de malezas o arvenses juega un papel muy importante en la conservación de los suelos y, por lo tanto, en la sostenibilidad de la productividad de café en las distintas regiones del país.

De hecho, si las prácticas de manejo de arvenses, sobre todo en las regiones de ladera, se hacen con criterios de conservación, la capacidad de producción de estos suelos y su fertilidad natural se mantendrán a través del tiempo, dando lugar a una producción sostenible de café (Gómez & Rivera, 1993). Por esta razón, Cenicafé desarrolló la propuesta de manejo integrado de arvenses – MIA, la cual ha sido plasmada en varias publicaciones (Gómez & Rivera, 1994; Rivera, 1994; Rivera, 1997a; Rivera, 1997b; Rivera, 2000; Hincapié & Salazar, 2007).

Comparando costos del manejo de arvenses, se observa que en Brasil estos son muy variables, encontrándose reportes del 15% al 20% de los costos de producción en finca, según Santos et al. (2008), y del 11% al 23% de acuerdo con de Alcântara et al. (2009). Para Colombia, según datos de la Disciplina de Experimentación de Cenicafé (2017), los costos de producción relacionados con el manejo integrado de arvenses son del 10%, y a nivel comercial, estimaciones de la Gerencia Técnica de la FNC, obtenidas dentro de un monitoreo de costos de cerca de 2.000 fincas en el país, muestran que los costos del manejo de arvenses oscilan entre el 6% y el 8% del total de los costos en etapa de producción (FNC – GT, Plan 2000F, 2020).

En presupuestos de costos realizados mediante los coeficientes de rendimiento de la mano de obra (ITECS) y el uso de insumos, al detallar los costos de instalación y levante se registra que los costos de manejo de arvenses son más significativos durante los dos primeros años del ciclo del cultivo, debido a que son más altos que en la etapa productiva, en términos absolutos por unidad de área, y representan entre un 20% y un 29% de estos costos de instalación y levante, durante esos dos años iniciales.

Por el significado del MIA, en términos económicos en la caficultura en Colombia, Torres & Salazar (2020) lo señalan como una práctica que permite la reducción de costos y la prevención de su incremento futuro, haciendo sostenible la actividad cafetera en cuatro aspectos:

1. Disminución de los costos de las desyerbas: en las fincas cafeteras la implementación de MIA puede reducir los costos de esta actividad hasta en un 20% en el primer año posterior a la instalación del cultivo, y hasta en un

45% por la reducción combinada de mano de obra e insumos, frente a los manejos convencionales.

2. Sostenibilidad o mejoramiento de la productividad mediante la oportunidad de las labores: la implementación del MIA requiere una planificación y ejecución de las labores con oportunidad, protegiendo el recurso suelo.
3. Menor riesgo de aparición de arvenses resistentes a herbicidas: debido a una reducción en el uso del agroquímico de hasta el 29% durante el primer año después de la instalación, y de un 63% durante el segundo. El uso constante y en dosis cada vez mayores de la misma molécula, hace que las arvenses generen resistencias a herbicidas, convirtiéndose en plantas de alta interferencia con el cultivo, con problemas crecientes para su manejo.
4. Evita la pérdida de la productividad por erosión del suelo: el MIA permite un manejo sostenible de la cobertura del recurso suelo, evitando su pérdida y disminuciones en la productividad, calculadas hasta en un 51%, incluso con el uso de fertilizantes.

Las anteriores consideraciones se basaron en un estudio de comparativo de los costos del MIA publicado por Hincapié & Salazar (2007), con el fin de demostrar las bondades del MIA en reducción de costos, implementado en cinco fincas de los departamentos de Caldas y Risaralda, frente al manejo tradicional adelantado normalmente por cada caficultor en parcelas en idénticas condiciones

ambientales y de cultivo del café. En este trabajo se detallan las labores adelantadas dentro del MIA y el manejo convencional realizado por cada caficultor y se comparan sus costos mediante el método de presupuestos parciales (Tabla 7).

Los costos por año y totales del MIA en dos años en mano de obra e insumos se muestran en la Tabla 8.

Adicionales a las bondades económicas ya señaladas, en este estudio Hincapié & Salazar (2007) indican como ventajas de implementar el MIA:

- ◆ Disminuir el transporte y acarreo de agua hasta en un 95%.
- ◆ Reducir el riesgo de contaminación ambiental de flora, fauna y aguas superficiales y sub-superficiales.
- ◆ Reducir el riesgo de daño a cultivos por derivas.
- ◆ Proteger el recurso suelo, por la presencia de coberturas, que además aportan al equilibrio de entomofauna benéfica y crean condiciones desfavorables para el surgimiento de plagas y enfermedades.

En otro trabajo adelantado por la Gerencia Técnica de la FNC en 2020 como estudio de caso¹¹, se consolidaron los jornales e insumos empleados y los costos de manejo de arvenses, durante 2019, en 12,23 ha, de 12 lotes productores de semilla de la Estación Experimental La Catalina de Cenicafé, ubicada en Pereira

¹¹ Como estudio de caso, no permite inferencia estadística. Se presenta sólo como referencia de campo en costos del manejo integrado de arvenses y es, por lo tanto, solo una guía.

(Risaralda), con más de 15 años con manejo integrado de arvenses. Estos lotes tienen un manejo agronómico acorde con las recomendaciones de Cenicafe para

cultivos comerciales a plena exposición solar y con una densidad promedio de 6.031 plantas/ha.

Tabla 7. Jornales e insumos requeridos en cada tratamiento de manejo de arvenses durante dos años.

| Tratamiento | Año | Finca | Mano de obra | Insumos | |
|-------------|-----|-------|---------------|---------------------------------|----------------------------|
| | | | (Jornales/ha) | Herbicida (L ha ⁻¹) | Agua (L ha ⁻¹) |
| MIA | 1 | A | 41,47 | 11,29 | 113 |
| | | B | 38,32 | 9,59 | 96 |
| | | C | 30,50 | 9,02 | 90 |
| | | D | 36,60 | 11,55 | 115 |
| | | E | 25,80 | 9,33 | 93 |
| | 2 | A | 13,85 | 2,81 | 28 |
| | | B | 25,68 | 3,17 | 32 |
| | | C | 16,80 | 4,70 | 47 |
| | | D | 19,08 | 4,00 | 40 |
| | | E | 17,28 | 4,30 | 43 |
| MT | 1 | A | 38,44 | 18,36 | 2.367 |
| | | B | 51,56 | 7,68 | 155 |
| | | C | 54,27 | - | - |
| | | D | 39,87 | 9,74 | 1.530 |
| | | E | 45,00 | 18,50 | 2.695 |
| | 2 | A | 26,71 | 15,66 | 2.080 |
| | | B | 40,71 | 5,44 | 70 |
| | | C | 37,14 | 4,3 | 714 |
| | | D | 39,70 | - | - |
| | | E | 49,10 | 15,00 | 2.478 |

*MIA = manejo integrado de arvenses, MT = manejo tradicional del agricultor.

Tabla 8. Costos de manejo de arvenses en cinco fincas, durante 2 años, comparando Manejo Integrado de Arvenses (MIA) y Manejo Tradicional (MT). (Datos expresados en pesos de 2004).

| Finca | MIA | | MT | | MIA | MT |
|-------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Año 1 | Año 2 | Año 1 | Año 2 | Total | |
| A | 841.400 | 258.650 | 964.000 | 714.500 | 1.100.050 | 1.678.500 |
| B | 778.500 | 466.300 | 956.000 | 745.800 | 1.244.800 | 1.701.800 |
| C | 698.000 | 374.500 | 1.212.000 | 850.000 | 1.072.500 | 2.062.000 |
| D | 766.300 | 375.000 | 858.000 | 664.200 | 1.141.300 | 1.522.200 |
| E | 556.500 | 345.000 | 1.059.500 | 1.075.500 | 901.500 | 2.135.000 |
| Media | 728.140 | 363.890 | 1.009.900 | 810.000 | 1.092.030 | 1.819.900 |

Los costos del MIA de la Estación Experimental La Catalina se llevaron a indicadores por hectárea y por edad, y se compararon con los indicadores por hectárea promedio obtenidos de cinco fincas comerciales de Caldas y Quindío, en lotes de renovaciones por zoca o por siembra, a plena exposición y con una densidad promedio de 7.510 plantas/ha, con manejo convencional de arvenses basado principalmente en el uso generalizado de herbicidas, durante sus primeros 36 meses de ciclo. Lotes mayores de 36 meses no se incluyeron en los análisis (Figura 13).

Para evitar distorsiones por el valor del jornal, de los insumos y la hora de equipo y combustible, estos se unificaron de acuerdo con la Tabla 9.

La Tabla 10 describe las labores, el número de jornales e insumos empleados por hectárea y por edades (en vista de la diversidad de planes de manejo, los promedios se calcularon teniendo en

cuenta únicamente las fincas que realizan cada labor).

La Tabla 11 compara los promedios de jornales empleados, insumos y costos totales por edades, entre el manejo integrado de arvenses y el convencional.

Dentro de las conclusiones de carácter económico más relevantes de este estudio de caso se destacan como diferencias del MIA implementado durante varios años frente a un esquema tradicional basado en el uso generalizado de herbicidas:

1. En promedio, la utilización de mano de obra es inferior en el MIA en un 6% en el primer año de implementación y el 42% en el segundo.
2. En promedio, la utilización de herbicidas es inferior en el MIA en un 81% en el primer año y un 97% en el segundo año de implementación.

Tabla 9. Costos unitarios tomados para el manejo de arvenses (datos expresados en pesos de 2020).

| Descripción | Unidad | Costo unitario (COP) |
|--------------------------|--------|----------------------|
| Mano de obra | Jornal | \$ 42.000 |
| Herbicida glifosato | cc | \$ 18 |
| Glufosinato de amonio | cc | \$ 27 |
| Aspersora | hora | \$ 236 |
| Guadaña | hora | \$ 1.261 |
| Selector de arvenses/año | Unidad | \$ 158.850 |

Tabla 10. Indicadores promedio de cada labor e insumo por hectárea, por año, por edad, en la comparación de manejo convencional vs. manejo integrado de arvenses.

| Modelo de costos de manejo de arvenses convencional | | | Modelo de costos de manejo integrado de arvenses | | |
|--|--------|-------------|---|--------|-------------|
| Promedio de indicadores por hectárea al año 5 fincas | | | Promedio de indicadores por hectárea al año - La Catalina | | |
| 0-12 meses | Unidad | Cantidad/ha | 0-12 meses | Unidad | Cantidad/ha |
| Control Máquina Espalda-MO | Jornal | 32,1 | MIA Aspersión | Jornal | 4,3 |
| Control Máquina Espalda-Herbicida | cc | 21.101,8 | MIA Guadaña | Jornal | 15,4 |
| Plateo Manual | Jornal | 17,1 | MIA Aspersión-Glifosato | cc | 3.190,3 |
| Guadaña | Jornal | 6,0 | MIA Aspersión-Glufosinato | cc | 711,6 |
| Machete | Jornal | 3,5 | MIA Manejo de coberturas | Jornal | 2,8 |
| Selector | Jornal | 12,4 | MIA Plateos | Jornal | 44,9 |
| Plateo Químico-MO | Jornal | 0,9 | MIA Selector | Jornal | 0,1 |
| Plateo Químico-Insumo | cc | 203,6 | MIA Selector-Glifosato | cc | 14,1 |
| 12-24 meses | Unidad | Cantidad | 12-24 meses | Unidad | Cantidad/ha |
| Control Máquina Espalda-MO | Jornal | 6,3 | MIA Aspersión | Jornal | 0,5 |
| Control Máquina Espalda-Herbicida | cc | 14.500,5 | MIA Guadaña | Jornal | 14,3 |
| Plateo Manual | Jornal | 24,6 | MIA Aspersión-Glifosato | cc | 146,2 |
| Guadaña | Jornal | 10,3 | MIA Aspersión-Glufosinato | cc | 181,3 |
| Machete | Jornal | 14,8 | MIA Manejo de coberturas | Jornal | 1,1 |
| Selector | Jornal | 21,6 | MIA Plateos | Jornal | 29,3 |
| Plateo Químico-MO | Jornal | 3,9 | MIA Selector | Jornal | 1,9 |
| Plateo Químico-Insumo | cc | 4000,0 | MIA Selector-Glifosato | cc | 185,4 |
| 24-36 meses | Unidad | Cantidad | 24-36 meses | Unidad | Cantidad/ha |
| Control Máquina Espalda-MO | Jornal | 1,1 | MIA Aspersión | Jornal | 1,8 |
| Control Máquina Espalda-Herbicida | cc | 14.437,6 | MIA Guadaña | Jornal | 17,4 |
| Plateo Manual | Jornal | 1,5 | MIA Aspersión-Glifosato | cc | 1.441,5 |
| Guadaña | Jornal | 9,0 | MIA Aspersión-Glufosinato | cc | 0,0 |
| Machete | Jornal | 4,9 | MIA Manejo de coberturas | Jornal | 0,5 |
| Selector | Jornal | 7,4 | MIA Plateos | Jornal | 10,4 |
| Plateo Químico-MO | Jornal | 0,0 | MIA Selector | Jornal | 4,4 |
| Plateo Químico-Insumo | cc | 0,0 | MIA Selector - Glifosato | cc | 362,9 |

Tabla 11. Comparativo de promedios de jornales empleados, herbicida aplicado y costos por hectárea, por año y por edad, entre el manejo convencional versus manejo integrado de arvenses.

| Modelo de costos de manejo de arvenses convencional | | Modelo de costos de manejo integrado de arvenses | | |
|--|-------------|---|-------------|-----------|
| Promedio de indicadores por hectárea al año 5 fincas | | Promedio de indicadores por hectárea al año - La Catalina | | |
| 0-12 meses | Cantidad/ha | 0-12 meses | Cantidad/ha | Reducción |
| Total Jornales/ha/año | 71,9 | Total Jornales/ha/año | 67,6 | 6,0% |
| Total cc herbicida/ha/año | 21305,4 | Total cc herbicida/ha/año | 3916,0 | 81,6% |
| Costo promedio / ha [COP 2020] | 3.342.827 | Costo promedio / ha [COP 2020] | 3.042.008 | 9,0% |
| 12-24 meses | Cantidad | 12-24 meses | Cantidad/ha | |
| Total Jornales / Ha/año | 81,6 | Total Jornales/ha/año | 47,2 | 42,2% |
| Total cc herbicida/ha/año | 18500,5 | Total cc herbicida/ha/año | 512,9 | 97,2% |
| Costo promedio / ha [COP 2020] | 3.469.293 | Costo promedio / ha [COP 2020] | 2.028.476 | 41,5% |
| 24-36 meses | Cantidad | 24-36 meses | Cantidad/ha | |
| Total Jornales ha/año | 24,0 | Total Jornales/ha/año | 34,4 | -43,7% |
| Total cc herbicida/ha/año | 14437,6 | Total cc herbicida/ha/año | 1804,4 | 87,5% |
| Costo promedio / ha [COP 2020] | 1.654.264 | Costo promedio / ha [COP 2020] | 1.295.641 | 21,7% |

- Se puede inferir que después del tercer año de implementación, el MIA hace que la labor sea más eficiente en las edades más avanzadas del ciclo productivo por los cambios en la proporción de las poblaciones de arvenses de agresivas a nobles.
- La disminución de los costos de esta actividad puede alcanzar el 25% en promedio durante los tres primeros años del ciclo productivo.

- El MIA utiliza en menor proporción equipos de fumigación y guadañadoras y, por lo tanto, se evidencia una reducción en los costos de su utilización y mantenimiento.

En los costos totales del ciclo productivo completo de un cultivo de café en Colombia, el control de arvenses participa entre un 8,2% y un 12,3%, sumando los costos de la actividad en las etapas de instalación y levante, más la participación

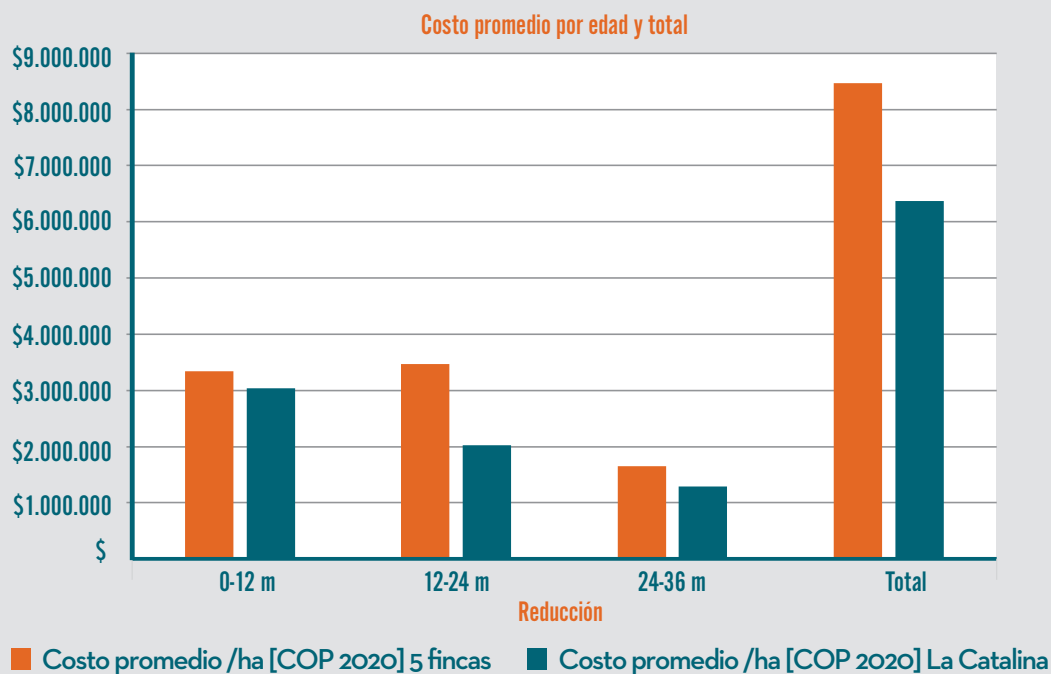


Figura 13.

Comparativo de costos entre el manejo de arvenses, en cinco fincas comerciales versus el MIA en la Estación Experimental La Catalina, para tres edades y el total.

de los costos de MIA en la etapa productiva. Con la implementación del MIA se podrán disminuir los costos totales de producción de café pergamino seco a nivel de finca entre un 2% y un 3%, lo que permitiría un incremento en el margen neto, con efectos benéficos en el sistema productivo para la sostenibilidad del suelo y del cultivo.

Fertilizar los cafetales para mejorar la productividad

Durante muchos años Cenicafé, a través de sus investigaciones, ha generado información amplia sobre la fertilización y nutrición de cafetales, y el empleo del

análisis de suelo, abarcando diversidad de temas, por ejemplo, épocas de aplicación de fertilizantes en cafetales renovados por zoca (Uribe & Salazar, 1984), encalamiento de cafetales (Valencia, 1988), uso de fuentes simples (Valencia & Carrillo, 1990), respuesta del café bajo sombrío a la fertilización (Mestre, 1996), interacciones entre manejo de cafetales y fertilización (Mestre & Salazar, 1991), interpretación de estos análisis (Valencia & Carrillo, 1983; Valencia & Carrillo, 1990); fraccionamiento de los fertilizantes (González-Osorio & Sadeghian, 2019); calidad de las enmiendas para corregir la acidez del suelo en zona cafetera (Díaz-Poveda & Sadeghian, 2020); formulaciones generales de fertilizantes (Sadeghian & Duque, 2017; Sadeghian & Duque, 2019); manejo nutricional en etapa de almácigo (Sadeghian & Ospina, 2021); recomendaciones de nutrición de cultivos en escenarios de fenómeno de La Niña



y El Niño (Sadeghian & Jaramillo, 2016; Sadeghian et al., 2017).

En estas investigaciones sobre fertilización y nutrición se han encontrado respuestas positivas en la producción, como resultado del suministro de nutrientes al cultivo de café. Estos estudios han sido desarrollados por la Disciplina de Suelos de Cenicafé (Sadeghian & Duque, 2021), evaluando diferentes dosis de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y azufre, para observar la respuesta en producción, principalmente las variedades Castillo® General y Castillo® Regionales.

Con base en las funciones de respuesta del cultivo a cada nutriente, se pudo establecer que dicha respuesta es creciente hasta un punto máximo, a partir del cual la producción comienza a ser decreciente. Esta es una característica de las funciones marginales decrecientes (ejemplo: funciones tipo cuadrático), utilizadas frecuentemente en investigación y que permiten el análisis económico de dichas respuestas, utilizando los principios de economía de la producción¹².

Para analizar los efectos de la fertilización en la productividad, se tomarán tres ejemplos de tres funciones de respuesta obtenidas experimentalmente.

Nitrógeno

Se toma como ejemplo la función de respuesta obtenida para la Estación Experimental El Rosario (Venecia, Antioquia). Los datos se ajustaron a una función polinomial del segundo grado (cuadrática), lo cual permite estimar la dosis óptima de fertilización.

La función se expresa de la siguiente forma (Expresión <7>):

$$y = 4.866,7 + 12,49 N - 0,0207 N^2 \quad \langle 7 \rangle$$

Para determinar el óptimo económico, se toma la función de producción y dicho óptimo puede determinarse a través del análisis marginal (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 1988). La

¹² Los análisis se realizan bajo la condición *ceteris paribus*

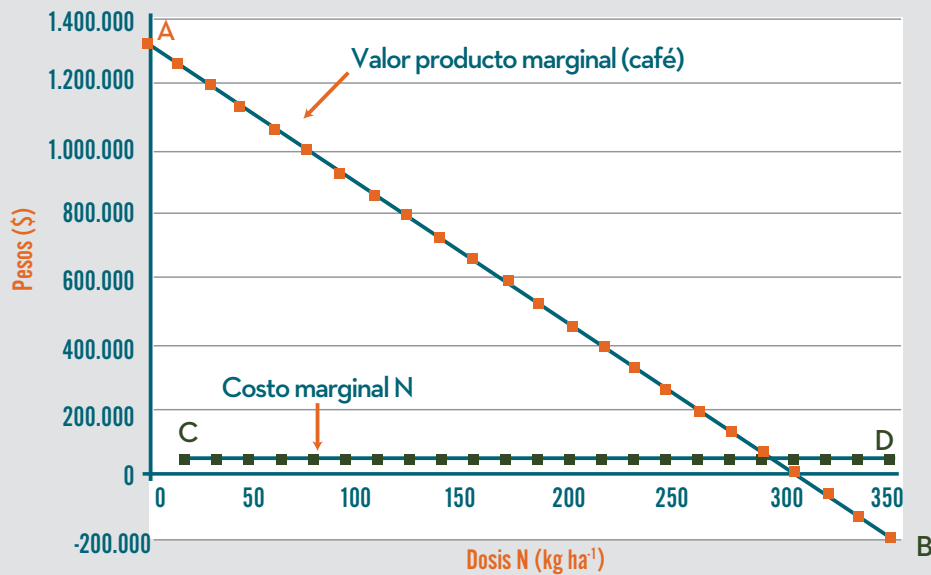


Figura 14. Análisis marginal para estimar la dosis de nitrógeno en el óptimo económico. Estación Experimental El Rosario (Venecia, Antioquia).

eficiencia económica se logra en el punto en el cual, el valor del producto marginal se iguala con el costo marginal del nitrógeno (Mechri et al., 2017). El propósito de este análisis es revelar hasta qué momento los beneficios netos son positivos (Lopera & Lopera, 1986).

La Figura 14 describe la dosis óptima de nitrógeno a aplicar, la cual se observa cuando el valor del producto marginal es igual al costo marginal, es decir, cuando las líneas se cruzan.

Debido a que la función de producción es marginal decreciente, el valor del producto marginal se hará menor a medida que mayores cantidades de nitrógeno sean utilizadas. La recta **AB** corresponde al valor del producto marginal (arrobos de café marginales multiplicadas por su precio), y

es claro que a medida que la producción llega al óptimo biológico, dicho valor es igual a cero, lo cual se logra a los 301,7 kg ha⁻¹ de N. De otro lado, la recta **CD** representa el costo de cada 15 kg de N¹³, valor que permanece constante a lo largo del eje horizontal. Luego, en el punto de cruce de ambas rectas, el costo marginal de las siguientes 15 unidades de nitrógeno es igual al valor del café producido, debido al efecto de esa aplicación adicional, entonces se logra el óptimo económico y corresponde a 292,7 kg ha⁻¹. De esta manera, continuar fertilizando, en dosis mayores, sería económicamente irracional. Por lo tanto, en la toma de decisiones es económicamente racional fertilizar hasta el momento en que hay respuesta positiva en producción, pues los óptimos biológico y económico son prácticamente coincidentes.

¹³ Se estimó el costo de 1,0 kg de N en \$3.135 – Diciembre de 2020

Con base en esta función es posible además observar las ventajas económicas de fertilizar los cafetales. Al comparar el ingreso neto obtenido con el café producido en el óptimo biológico, con el ingreso neto obtenido al **no** fertilizar, se puede estimar la curva de ingreso neto derivado de la fertilización¹⁴. Es evidente el incremento en los ingresos netos como consecuencia de la mayor producción de café, a raíz de proceder con la labor de fertilizar. El ingreso neto es más que proporcional al incremento en el costo del fertilizante.

La Figura 15 describe los ingresos netos que se dejarían de percibir si no se fertilizara o hacerlo a niveles subóptimos, que son los puntos intermedios en la curva, para la misma función de producción.

Analizando la Figura 15 es evidente que no fertilizar o hacerlo a niveles subóptimos implica dejar de percibir unos ingresos netos por hectárea significativos, circunstancia que demuestra los beneficios económicos de una fertilización adecuada en los cultivos de café. Estas ventajas pueden observarse mediante el análisis marginal, tal como se describe en la Figura 15.

Potasio

Para analizar la respuesta del cultivo de café a este nutriente, se toma como ejemplo la función de respuesta obtenida en el departamento del Quindío, en la cual se observa que los datos se ajustaron a una función polinomial del segundo grado (cuadrática), lo cual permite estimar la dosis óptima de fertilización.

¹⁴ Diferencia entre el ingreso derivado de la mayor producción de café y costo del nitrógeno aplicado.

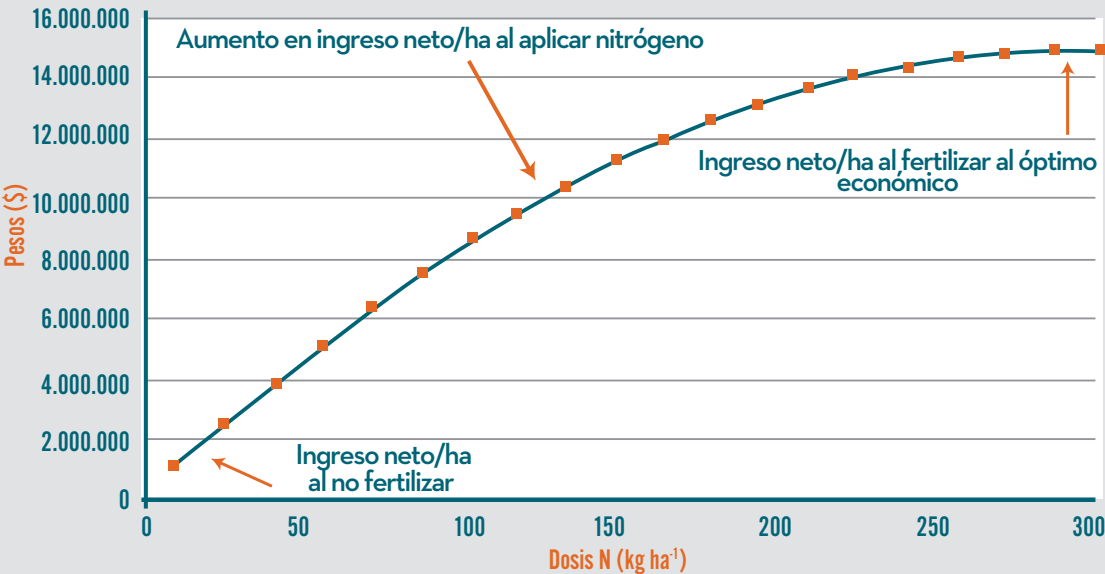


Figura 15. Ingreso neto dejado de percibir por hectárea, debido a la no fertilización o por hacerlo a niveles sub-óptimos.



La función se expresa de la siguiente forma (Expresión <8>):

$$y = 4.786,1 + 8,5335 K_2O - 0,0207 K_2O^2 \quad <8>$$

Para determinar el óptimo económico, se procede de forma similar al caso del nitrógeno, estableciendo que la eficiencia económica se logra en el punto en el cual el valor del producto marginal se iguala con el costo marginal del potasio. En este sentido, la Figura 16 describe la dosis óptima de potasio a aplicar, la cual se establece cuando el valor del producto marginal es igual al costo marginal, es decir, cuando las líneas se cruzan.

Teniendo en cuenta que la función de producción es marginal decreciente, el valor del producto marginal se hará

menor a medida que mayores cantidades de potasio son utilizadas. La recta **AB** corresponde al valor del producto marginal (arrobas de café marginales multiplicadas por su precio), y es claro que a medida que la producción llega al óptimo biológico, dicho valor es igual a cero, lo cual se logra aproximadamente a los 272,6 kg ha-año⁻¹ de K. De otro lado, la recta **CD**, representa el costo de cada 15 kg de K¹⁵, valor que permanece constante a lo largo del eje horizontal. Luego, en el punto de cruce de ambas rectas, el costo marginal de las siguientes 15 unidades de potasio es igual al valor del café producido debido al efecto de esa aplicación adicional, entonces se logra el óptimo económico y corresponde a 264,5 kg ha⁻¹. De acuerdo con este análisis, continuar fertilizando, en dosis mayores de este nutriente, sería económicamente irracional. Por lo tanto, es económicamente racional fertilizar hasta el momento en que hay respuesta

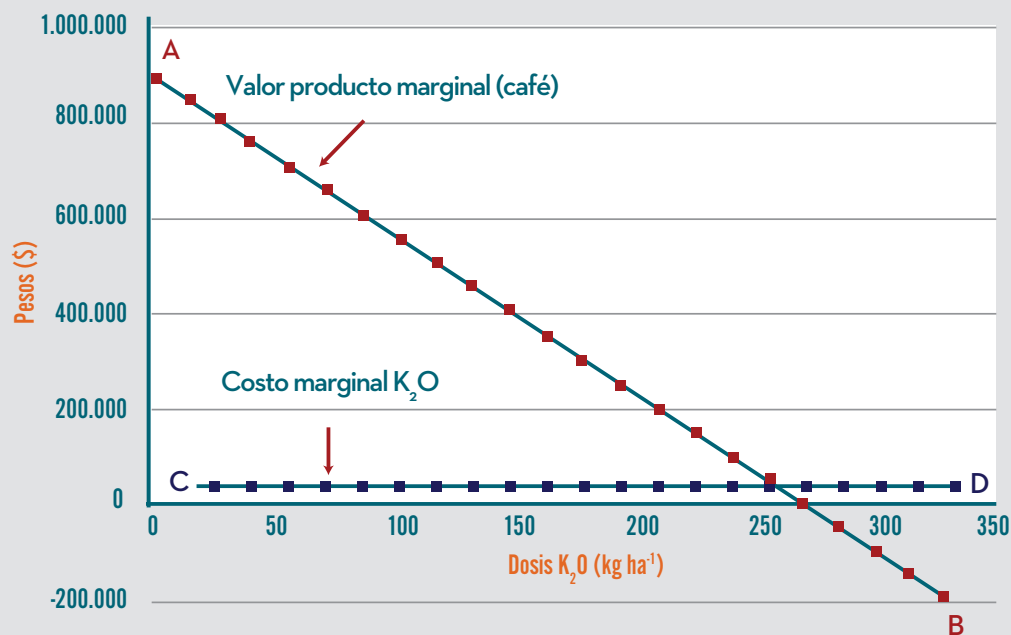


Figura 16. Análisis marginal para estimar la dosis de potasio, en el óptimo económico. Departamento del Quindío.

¹⁵ Se estimó el costo de 1,0 kg de potasio en \$2.335 – Diciembre de 2020

positiva en producción, pues los óptimos biológico y económico son prácticamente coincidentes.

Con base en esta función de producción, es posible además observar las ventajas económicas de fertilizar los cafetales con este nutriente. En este sentido, se puede comparar el ingreso neto obtenido con el café producido en el óptimo biológico, con el ingreso neto obtenido al **no** fertilizar, se puede estimar la curva de ingreso neto derivado de la fertilización¹⁶. Es claro el aumento en los ingresos netos como consecuencia de la mayor producción de café al fertilizar con este nutriente. El ingreso neto es más que proporcional al incremento en el costo del fertilizante.

La Figura 17 describe los ingresos netos que se dejarían de percibir si no se fertilizara

o hacerlo a niveles subóptimos, que son los puntos intermedios en la curva, para la misma función de producción.

Analizando la Figura 17 es evidente que dejar de fertilizar o hacerlo a niveles subóptimos conduciría a dejar de percibir unos ingresos netos por hectárea significativos, circunstancia que demuestra los beneficios económicos de una fertilización adecuada en los cultivos de café.

Magnesio

Para analizar la respuesta del cultivo de café al magnesio, se toma como ejemplo la función de respuesta obtenida en la Estación Experimental San Antonio, en Santander, en la cual se observó que los datos se ajustaron a una función polinomial

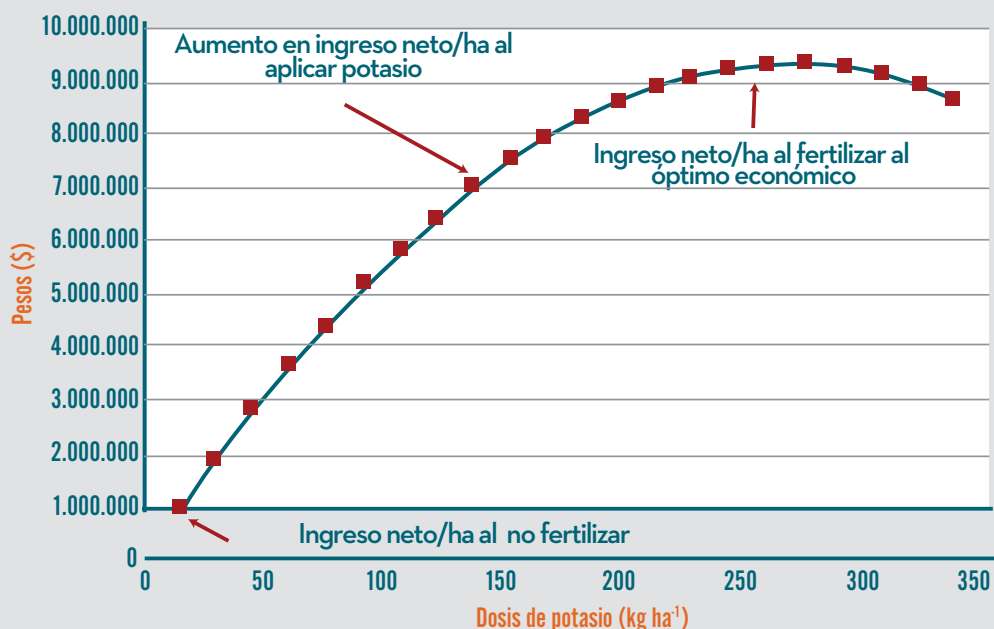


Figura 17. Ingreso neto dejado de percibir por hectárea, debido a la no fertilización con potasio, o por hacerlo a niveles sub-óptimos.

¹⁶ Diferencia entre el ingreso derivado de la mayor producción de café y costo del potasio aplicado.

del segundo grado (cuadrática), lo cual permite entre estimar la dosis óptima de fertilización.

La función se expresa de la siguiente forma (Expresión <9>):

$$y = 1.573,4 + 14.443 \text{ MgO} - 0,138 \text{ MgO}^2 \quad <9>$$

Para determinar el óptimo económico, se procede de forma similar al caso del nitrógeno, estableciendo que la eficiencia económica se logra en el punto en el cual el valor del producto marginal se iguala con el costo marginal del magnesio. En este sentido, la Figura 18 describe la dosis óptima de magnesio a aplicar, la cual se establece cuando el valor del producto marginal es igual al costo marginal, es decir, cuando las líneas se cruzan.

Al igual que en los dos casos anteriores, la función de producción es marginal decreciente, por lo tanto, el valor del producto marginal se hará menor a medida que mayores cantidades de magnesio son utilizadas. La recta **AB** corresponde al valor del producto marginal (arrobas de café marginales multiplicadas por su precio), y es claro que a medida que la producción llega al óptimo biológico, dicho valor es igual a cero, lo cual se logra aproximadamente a los 52,1 kg ha-año⁻¹ de Mg. De otro lado, la recta **CD**, representa el costo de cada 15 kg de Mg¹⁷, valor que permanece constante a lo largo del eje horizontal. Luego, en el punto de cruce de ambas rectas, el costo marginal de las siguientes 15 unidades de magnesio es

igual al valor del café producido debido al efecto de esa aplicación adicional, entonces se logra el óptimo económico y corresponde a 51,6 kg ha⁻¹. Dosis de magnesio superiores a las mencionadas, llevarían a un escenario económicamente irracional. Por lo tanto, en la toma de decisiones es económicamente racional fertilizar hasta el momento en que hay respuesta positiva en producción, pues los óptimos biológico y económico son prácticamente coincidentes.

Con base en la misma función, se pueden visualizar las ventajas económicas de fertilizar los cafetales con este nutriente. De esta manera, se puede comparar el ingreso neto obtenido con el café producido en el óptimo biológico, con el ingreso neto obtenido al **no** fertilizar con magnesio, mediante la curva de ingreso neto derivado de la fertilización¹⁸. Es claro el aumento en los ingresos netos como consecuencia de la mayor producción de café a raíz de la labor de fertilizar con este nutriente. El ingreso neto, es más que proporcional al incremento en el costo del fertilizante. La Figura 19 describe los ingresos netos que se dejarían de percibir, si no se aplicara magnesio o se hiciera a niveles subóptimos, que son los puntos intermedios en la curva, para la misma función de producción.

Analizando la Figura 19 es evidente que dejar de fertilizar o hacerlo a niveles subóptimos conduciría a dejar de percibir unos ingresos netos por hectárea significativos, circunstancia que demuestra los beneficios económicos de una fertilización adecuada en los cultivos de café.

¹⁷ Se estimó el costo de 1,0 kg de magnesio en \$ 4.224 – Diciembre de 2020.

¹⁸ Diferencia entre el ingreso derivado de la mayor producción de café y costo del magnesio aplicado.

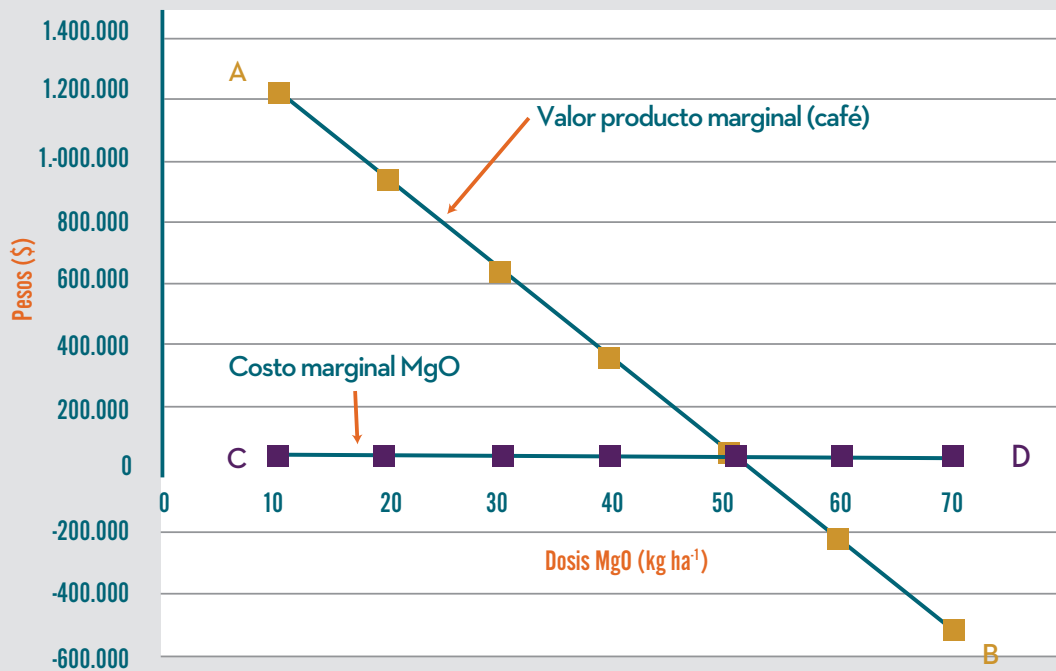


Figura 18. Análisis marginal para estimar la dosis de magnesio, en el óptimo económico. Estación San Antonio, Santander.

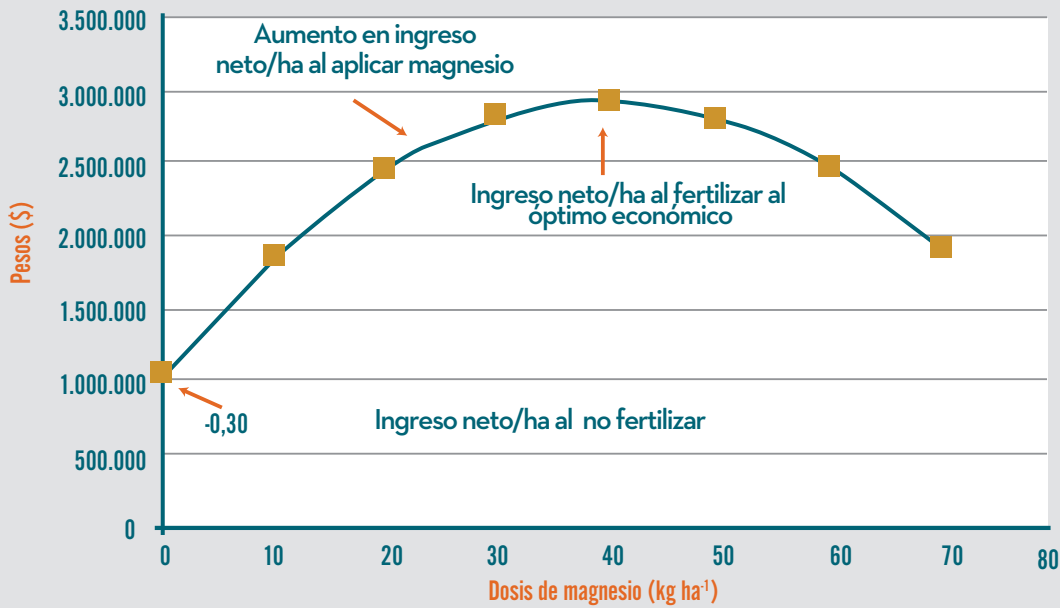


Figura 19. Ingreso neto dejado de percibir por hectárea, debido a la no fertilización con magnesio, o por hacerlo a niveles sub-óptimos.

De otro lado, para tomar las decisiones más acertadas en fertilización de cafetales, la mejor herramienta es el análisis de suelos, pues los resultados permiten conocer la cantidad de fertilizante a aplicar a un cultivo de café, de acuerdo con los requerimientos de este y las reservas del suelo. El análisis de suelos también permite conocer las cantidades de enmienda a aplicar si fuese necesario (Valencia, 1992). Sadeghian et al. (2003) analizaron las implicaciones económicas del análisis de suelos; en este sentido, si el costo del análisis básico de fertilidad para una muestra de suelo es de \$65.000¹⁹, y es válido por un período de dos años, se pueden vislumbrar varios escenarios. En primer lugar, si la muestra corresponde a un lote de una hectárea, entonces el costo anual será de \$32.500 ha año⁻¹. En segundo lugar, debido a que

el área de un lote en café es muy variable, encontrándose desde lotes muy pequeños (menores de 1,0 ha), hasta lotes grandes (mayores de 5,0 ha), el costo del análisis por hectárea y por año estará relacionado con el área en café del lote muestreado, tal como se observa en la Figura 20.

De acuerdo con la Figura 20, el costo real de un análisis de suelos tiende a hacerse menor a medida que el área en café del lote aumenta. Así, mientras para un lote de 0,5 ha el costo será de \$65.000 por año, para otro lote de 6,0 ha dicho costo sería de sólo \$5.417. Estas cifras indican claramente que el costo de conocer la fertilidad del suelo es realmente bajo, en comparación con los beneficios que de él se pueden obtener.

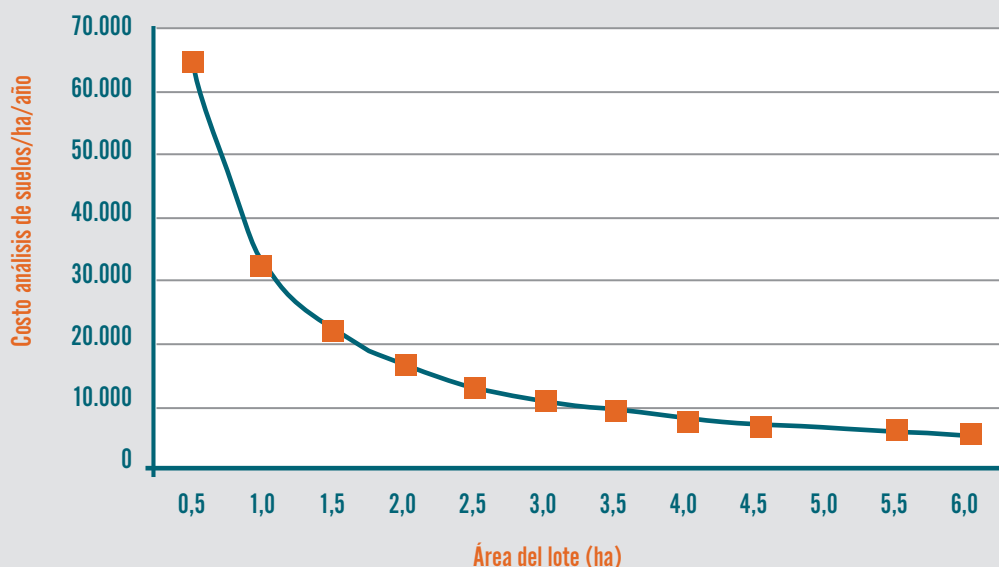


Figura 20. Costo del análisis de suelos al año, según el área del lote.

¹⁹ Incluyendo el IVA. Zona Central Cafetera. 2021.

Aplicar fertilizantes al voleo

Fertilizar cafetales mayores de dos años al voleo, sin tapar el fertilizante y en las épocas correctas, permite reducciones en el costo de la mano de obra hasta del 68% en esta actividad, sin afectar la productividad. Desde 1989, a través de experimentos realizados en la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná), se demostró que no hubo diferencias en la producción de café por efecto de aplicar el fertilizante al voleo y sin taparlo, en comparación con métodos de aplicación tradicionales como en corona, media luna y bandas (Mestre & Salazar, 1989a). Adicionalmente este tratamiento requirió menor cantidad de mano de obra, haciéndolo el más recomendable. La Tabla 12 describe, a manera de ejemplo, el mejoramiento en la productividad de la mano de obra, representado en un mayor número de árboles fertilizados por jornal y, por lo tanto, en una mayor cantidad de producto aplicado, para el mismo jornal.

Duque (2004), basado en datos tomados en fincas comerciales, fertilizadas mediante los métodos tradicionales, registró un

promedio de dos bultos aplicados por jornal, mediante métodos como corona, media luna, bandas, entre otros, y seis bultos por jornal con la práctica realizada al voleo y sin tapar.



Tabla 12. Mejoramiento de la productividad de la mano de obra, aplicando fertilizante al voleo²⁰

| Método Aplicación | No. árboles/jornal | No. kg/jornal | No. sacos/jornal |
|--------------------------------|--------------------|---------------|------------------|
| Convencional (en corona, etc.) | 1.500 aprox. | 100 | 2 |
| Voleo | 3.500 aprox. | 300 | 6 |

²⁰ Se asume una dosis de 70 g de fertilizante por árbol por aplicación.

En 2020, en un estudio de caso²¹ realizado por la Gerencia Técnica con 25 fincas de ocho departamentos participantes en el monitoreo de costos Plan 2000 fincas, durante 2019, identificadas con fertilización realizada por métodos convencionales y comparadas frente a 15 fincas de siete departamentos que realizan fertilización al voleo en cafetales en producción, se obtuvo una reducción en el empleo de la mano de obra del 49% en esta actividad realizada al voleo frente a los métodos convencionales. También se realizó la comparación frente a dos fincas empresariales del departamento de Caldas con registros de varios años, donde esta labor se realiza por contrato, encontrando una reducción del 54% en la mano de obra frente al dato de las 25 fincas del Plan 2000 que realizan fertilización por métodos tradicionales (Tabla 13).

Las ventajas económicas de este método de aplicación se pueden analizar a través del otro ejemplo, en cual se utilizan 1.304 kg ha-año⁻¹ de fertilizante (26 sacos de 50 kg), de acuerdo con las formulaciones

generales de fertilizantes de Cenicafé (2018) y que se presentan en la Tabla 14.

Unificando la cantidad de fertilizante a aplicar (1.304 kg) y el costo del jornal a pesos colombianos de 2020, en \$42.000, y realizando el cálculo con los rendimientos obtenidos en el estudio de caso, con el cambio en la forma de aplicación del fertilizante se genera en este ejemplo un ahorro de \$286.829 ha-año⁻¹, que equivale a una reducción del 68% en los costos de aplicación del fertilizante.

Es evidente que, si el área productiva se incrementa, los ahorros son superiores, observándose que, mientras para una finca de 2,0 ha el ahorro anual significaría \$573.658 pesos por finca, para el caso de 20 ha en producción, dicho ahorro sería equivalente a cerca de \$5.736.580 al año, debido a la aplicación de fertilizantes al voleo.

Es importante mencionar que en lotes comerciales de café del departamento

²¹ Por tratarse de un estudio de caso **no** permite inferencia estadística. Se presenta sólo como referencia de campo en costos de la aplicación de fertilizantes al voleo y es, por lo tanto, solo una guía.

Tabla 13. Estudio de caso sobre la aplicación convencional versus aplicación al voleo, comparando fincas del Plan 2000 vs. fincas empresariales de Caldas.

| Método de aplicación | Número de árboles / jornal | Gramos por árbol | Número de kg / jornal | Número de sacos / jornal | ITEC (jornales / ha / vez) | Reducción en mano de obra |
|---------------------------|----------------------------|------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Convencional (Corona etc) | 1.671 | 78 | 130 | 2,6 | 3,82 | - |
| Voleo fincas Plan 2000 | 3.377 | 76 | 255 | 5,1 | 1,92 | 49% |
| Voleo fincas empr. Caldas | 4.809 | 85 | 410 | 8,2 | 1,75 | 54% |

de Caldas²², con edades superiores a dos años y analizando varias aplicaciones de fertilizante, se encontró que en el 50% de los casos hubo una productividad de la mano de obra superior al hallazgo experimental (4.300 árboles/jornal), mientras que en 12% de ellos la productividad fue similar. Esta circunstancia indica claramente los beneficios que pueden obtenerse a escala comercial empleando esta práctica.

Por lo tanto, en las actuales circunstancias de la caficultura, es importante adoptar todas aquellas prácticas que, como la aplicación de fertilizante al voleo, contribuyen directamente a reducir el costo unitario de producción y que, por lo tanto, mejorarán el margen de utilidad unitario. La Figura 21 muestra, para diferentes productividades de café, la reducción potencial en el costo unitario

²² Fincas empresariales, atendidas por el Servicio de Extensión del Comité de Caldas.

Tabla 14. Análisis económico de dos métodos de aplicación de 26 bultos/ha en fincas empresariales de Caldas.

| Variable | Jornales | |
|---|----------|----------|
| | Corona | Al voleo |
| Jornales para aplicar 26 bultos de 50kg | 10,0 | 3,2 |
| Costo de la aplicación/ha/año [COP] | 420.000 | 133.171 |
| Diferencia (a-b) [COP] | 286.829 | |
| Reducción en costos de la labor | 68% | |

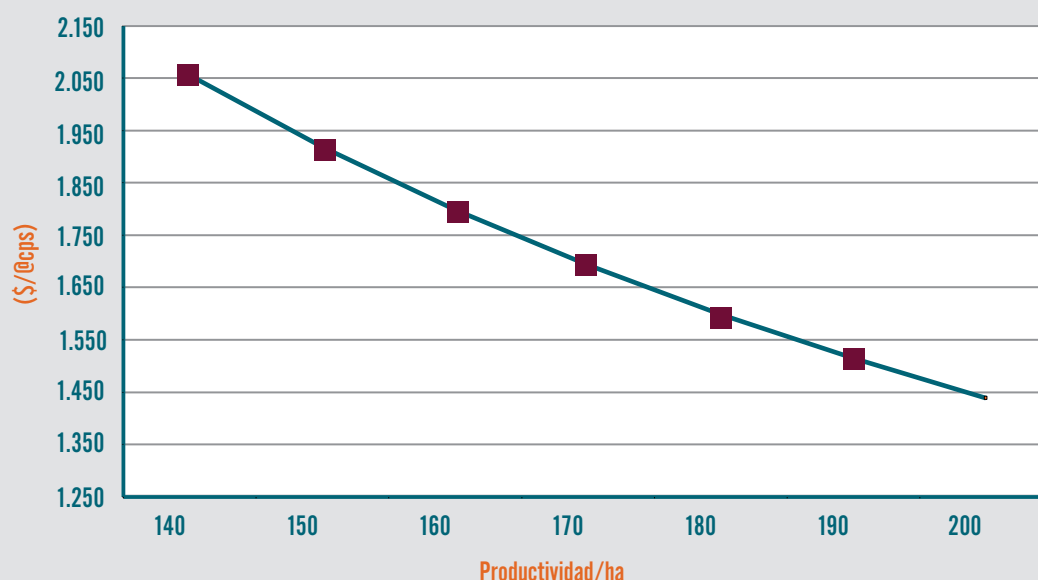


Figura 21. Reducción en el costo unitario de producción de café pergamino seco, debido a la fertilización al voleo, según productividad por hectárea.

como resultado de adoptar la fertilización al voleo, de acuerdo con la Tabla 14.

Debido a que la reducción en costos es por hectárea, a menor productividad el ahorro por unidad será mayor, mientras que a altas productividades la disminución del costo unitario será menor por unidad (Figura 21), pero en cualquier caso la reducción en costos será equivalente a \$286.829 ha-año⁻¹.

De acuerdo con la Figura 21, la adopción de esta práctica significaría reducciones entre \$2.055 por arroba, para la menor productividad, hasta \$1.439 en la mayor. Este ahorro en costos unitarios contribuiría al mejoramiento del margen unitario.

Adoptar el manejo integrado de la broca

La broca del café es una plaga muy compleja debido a que puede causar daños diversos, tipificándose básicamente tres de ellos: caída de frutos pequeños, disminución en peso y pérdida en calidad (Duque O., 2000). Con relación al primer tipo de daño se ha observado que cerezas menores de 90 días de formación pueden desprenderse fácilmente si son atacadas por la broca, generando pérdidas que aún no han sido cuantificadas. Las disminuciones en peso se deben al consumo de las almendras, creación de túneles, etc, que la broca lleva a cabo en el fruto atacado y como consecuencia de esto se produce pérdida en peso, desmejorándose al final la conversión de café cereza a pergamino seco.

Sin embargo, la pérdida más notoria está representada por la baja calidad, pues

afecta directamente el precio de compra del café y es, por lo tanto, percibida por el productor cafetero al ver reducidos sus ingresos al momento de vender su café, cuando sufre ataques severos de la plaga. La Figura 22 ilustra la disminución potencial en el precio de compra del café ocasionada por diferentes porcentajes de broca en el café pergamino seco, para el precio interno vigente al momento de los análisis (Tabla 15).

El análisis descrito se basa en dos supuestos: el primero, en que el porcentaje de almendra es del 80% y el de pasilla tradicional se mantiene constante en 3,0%. De esta forma sólo las variaciones en los porcentajes de broca generan la disminución en el precio de compra del café. Para realizar las estimaciones se empleó la fórmula del factor de rendimiento en trilla. De acuerdo con la Figura 22, el precio del café se reduce linealmente desde un precio bonificado cuando el porcentaje de broca es cero, y desde allí comienza a disminuir hasta



Tabla 15. Modelo teórico de costos de manejo integrado de la broca (pesos/ha)²³. Finca de cinco lotes.

| Edad del lote (meses) | Control cultural | Control biológico | Control químico ²⁴ | Maquinaria y equipos ²⁵ | Calidad de cosecha | Costo total (\$ ha ⁻¹) |
|-----------------------|------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| 0 – 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 – 24 | 205.800 | 0 | 0 | 5.358 | 45.360 | 256.518 |
| 24 – 36 | 463.050 | 85.592 | 149.400 | 11.014 | 90.720 | 799.776 |
| 36 – 48 | 720.300 | 123.888 | 249.000 | 16.372 | 90.720 | 1.200.280 |
| 48 – 60 | 1.029.000 | 206.480 | 498.000 | 23.814 | 90.720 | 1.848.014 |
| Promedio | \$483.630 | | | | \$63.504 | \$820.918 |

²³ Tomando 5.000 árboles/ha.

²⁴ Aspersiones dirigidas a los focos, empleando un producto de categoría III.

²⁵ Empleando en equipo motorizado de espalda.

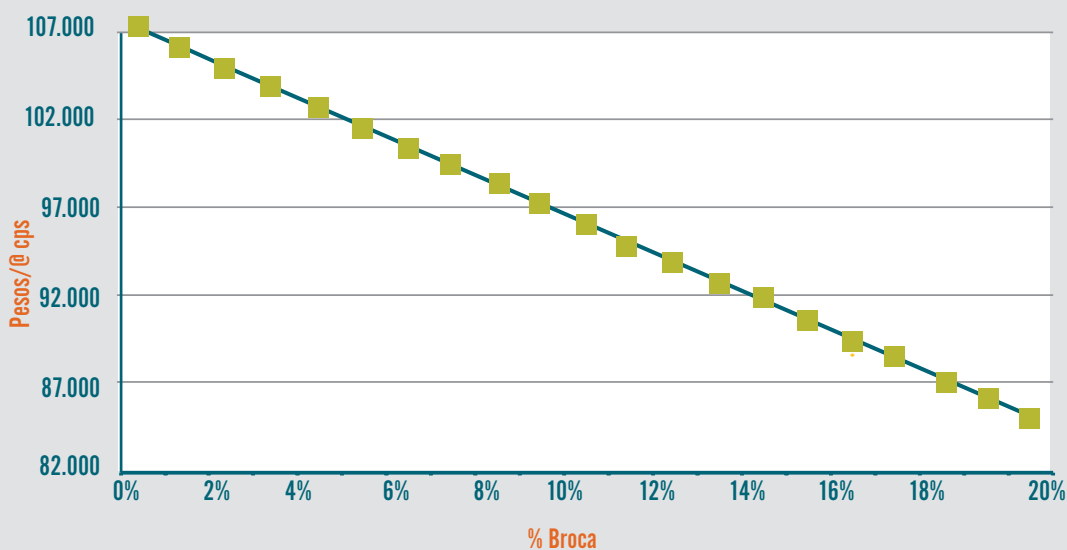


Figura 22.

Reducción potencial en el precio de compra por arroba de café pergamino seco (cps), para diferentes porcentajes de broca en el café almendra.

valores inferiores a \$86.000 por arroba cuando la broca alcanza niveles del 20% en el pergamino seco, lo cual implica pérdidas en precio cercanas a \$22.100 pesos por unidad. Esta es una reducción potencial muy significativa en los ingresos del productor que, por supuesto, variará según la productividad del cafetal, que en cualquier caso justifica plenamente un manejo adecuado de la plaga.

El mejor manejo de la broca se logra en fincas tecnificadas que dividen su área cultivada en lotes de diferentes edades, pero que se renuevan anualmente de acuerdo con la edad de los mismos y el ciclo de cultivo establecido. En fincas envejecidas y lotes deteriorados el manejo de la broca se dificulta y es, por lo tanto, más costoso. Para enfrentar esta plaga, Cenicafé ha propuesto la estrategia



llamada Manejo Integrado de la Broca, MIB (Bustillo, 2007). Bajo este concepto, la determinación del porcentaje de infestación y la posición de la broca en el fruto son elementos clave para tomar decisiones de control, lograr un uso racional de los recursos y tener un mejor control sobre los costos del manejo del insecto. Adicionalmente, se han propuesto una serie de recomendaciones para los caficultores en el manejo de la broca del café, con énfasis en el control cultural (Re-Re) como la estrategia más importante (Bustillo, 2007; Benavides Machado et al., 2021).

Con relación a los costos del manejo de la broca, se conoce que estos varían entre fincas, pues en un estudio sobre adopción del manejo integrado de la broca llevado a cabo en Cenicafé (Duque & Chaves, 2000), se encontró que en los nueve departamentos y 38 municipios estudiados había gran diversidad de prácticas empleadas en el manejo de la broca, lo

que hacía difícil establecer o definir un modelo de costos de manejo de la plaga que representara las fincas cafeteras. Por esta razón, Cenicafé desarrolló un modelo teórico, para analizar estos costos bajo dos supuestos: que el costo del manejo de la broca varía de acuerdo con la edad del cafetal y que idealmente la finca debe estar dividida en lotes de edades secuenciales (el modelo asume cinco lotes), entre 1 y 5 años. La Tabla 15 describe el modelo actualizado para el año 2020, el cual supone además un manejo intensivo de la plaga, que implicaría la ejecución de todas las labores. Es claro que en la realidad es frecuente que el manejo sea menos intenso y que los costos puedan resultar menores a los aquí presentados. Por eso, este modelo es sólo un punto de referencia que puede ser útil como base de comparación.

Con relación al modelo anterior, este incluye dos aspectos importantes tales como el uso de un equipo motorizado de espalda para llevar a cabo las aspersiones, y se

introduce el costo de evaluar la calidad de la cosecha. En el primer aspecto es evidente que el costo de las aspersiones con este tipo de equipo es inferior al realizado, por ejemplo, con equipos de presión constante con los cuáles el número de jornales por hectárea asperjada es mayor. En cuanto a la evaluación de la calidad de la cosecha, podría eventualmente cargarse como costo de la labor de recolección; sin embargo, se consideró que la dinámica poblacional de la broca depende de la calidad de la cosecha y, que nuevos y severos ataques estarán relacionados con malas recolecciones, cuando se dejan frutos sobremaduros, secos o frutos que caen al suelo, razón por la cual se incluyen dichas evaluaciones como un componente de los costos de manejo de la broca.

En la Tabla 15 deben tenerse en cuenta tres consideraciones. Primero, que los costos presentados suponen una ejecución intensiva de labores contra la broca, lo cual sólo se justifica en casos de ataques muy severos de la plaga. Segundo, que el costo del MIB durante los primeros dos años de edad de la plantación es bajo y que, a medida que el lote envejece, los costos se incrementan de manera importante, llegando hasta \$1.848.014 por hectárea, para un cafetal de cinco años. Y, finalmente que, si la finca está dividida en cinco lotes de diferentes edades, el costo promedio de manejo de broca por hectárea se reduce a \$820.918, cifra que resulta ser más manejable que la del lote de cinco años, analizado individualmente. De allí que, el manejo de la broca en lotes viejos por ser más costoso y técnicamente más difícil, justifique establecer un plan de manejo de las plantaciones que evite la presencia de lotes envejecidos que son, además, poco productivos, manteniendo una adecuada edad promedio, de acuerdo con las condiciones locales.

Adicionalmente, aquellos costos presentados correspondientes al control cultural (Re Re, muestreos del nivel de infestación y evaluación de la calidad de la cosecha), deben considerarse como costos fijos del control de la broca y, por lo tanto, deben ejecutarse, independientemente del nivel de infestación (estos equivalen a \$547.134 por hectárea en promedio). Los otros costos (biológico y químico, entre otros) deben entenderse como costos variables del manejo de la plaga y su ejecución dependerá de los resultados obtenidos en las mediciones del nivel de infestación y del conocimiento de la posición de la broca en el fruto. De esta manera, la decisión de una aspersión de insecticida, por ejemplo, que implica incurrir en costos mayores, estará sujeta al conjunto de condiciones establecidas que realmente la justifiquen.

Con esta toma de decisiones habrá un mejor uso de los recursos y, consecuentemente, un mayor control sobre los costos del manejo de esta plaga. Así, la racionalidad en el uso de los recursos empleados en el manejo integrado de la broca estará ligada a la necesidad real y objetiva de su uso, por lo tanto, aplicaciones tipo “calendario” o con fechas predeterminadas deben eliminarse de cualquier plan de manejo, pues sólo conducen a incurrir en costos, que en muchos casos pueden ser innecesarios.

Así, los costos fijos se convierten en la base del manejo de broca y, además, como se determinó en el estudio de adopción del MIB, el control cultural terminó siendo el más adoptado al momento de la encuesta, por considerarse el más efectivo de los tipos de control analizados (Duque & Chaves, 2000). En este mismo sentido, en un estudio en el departamento de Risaralda, Guarín (2004) encontró que

el 91,5% de los caficultores basaban el control de la broca en el control cultural; López et al. (2019) validando el MIB en el departamento del Huila establecieron que el método de control cultural presentó el menor porcentaje de infestación de broca.

La Figura 23 describe la estructura de costos para el promedio por hectárea al año. Se observa que el componente con mayor participación es el control cultural, seguido del control químico y el biológico. Por ser el control cultural el de mayor participación y el de mayor contribución al control, en él deben hacerse todos los esfuerzos necesarios para lograr su máxima eficiencia.

De otro lado, y como se mencionó, los efectos de la broca están relacionados con la productividad del cafetal, de tal manera que a mayor productividad las pérdidas potenciales podrían ser mayores en el evento de que ocurran ataques severos del insecto.

La Figura 24 reseña cómo para fincas con productividades promedio de 80 @ ha⁻¹, para niveles del 15% de broca en el café pergamino seco, las pérdidas pueden ser superiores a \$1.235.571 por hectárea; para el mismo nivel de broca, pero con una productividad de 200 @ ha⁻¹, la pérdida podría llegar a \$3.088.927 por hectárea por cosecha. Para productividades intermedias, las pérdidas potenciales pueden apreciarse en la Figura 24, así como las pérdidas debidas a porcentajes inferiores de broca en el café pergamino.

Lo importante es visualizar las pérdidas potenciales que la plaga puede causar, lo cual conducirá a planear un buen manejo de este problema sanitario. Debido a que el control cultural (Re Re + Evaluaciones) se considera un costo fijo en la estrategia del manejo integrado de la broca, se convierte en la base o los cimientos del control a partir del cual se estructura el manejo de esta plaga. Si, de acuerdo con el modelo propuesto, este costo se estima en \$547.134 por hectárea al año, en

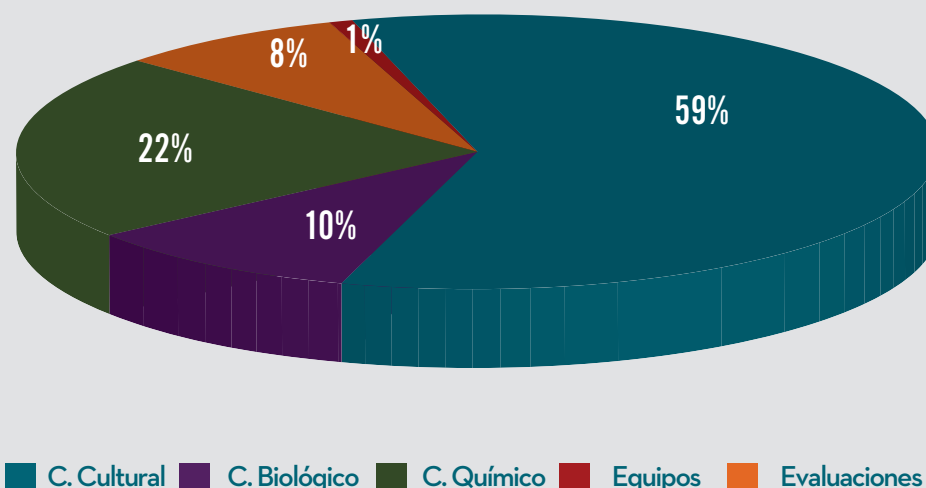


Figura 23. Estructura de costos del manejo integrado de la broca, por componente.

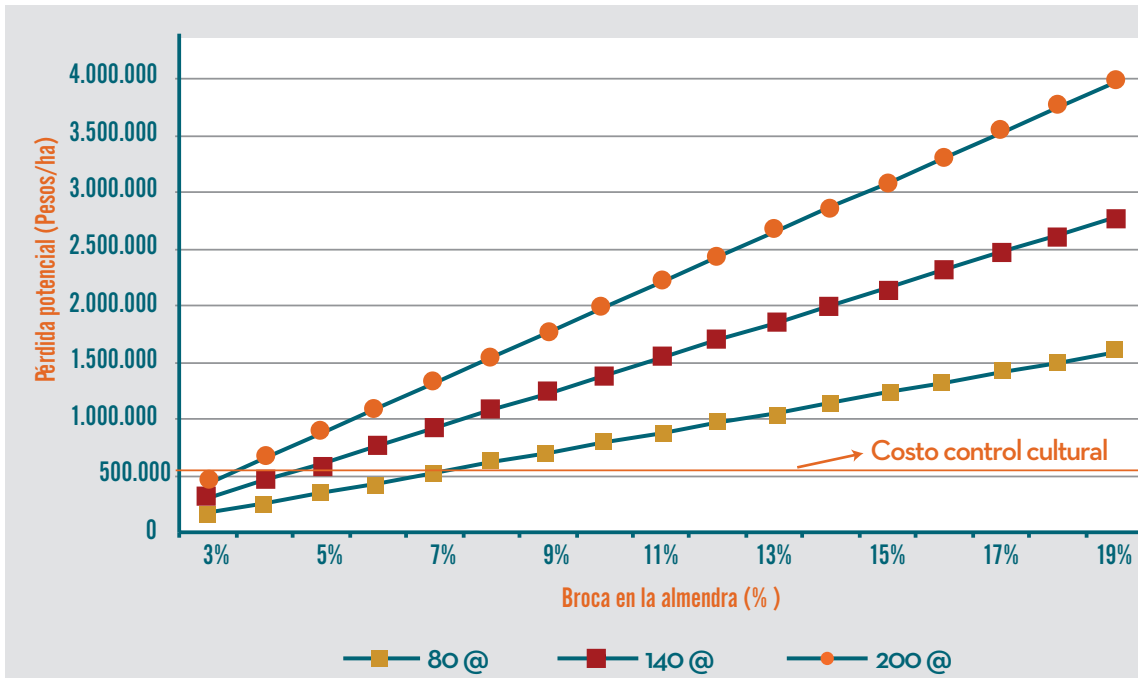


Figura 24. Pérdidas potenciales por efecto de la broca en calidad, de acuerdo con la productividad por hectárea.

promedio (si la finca se maneja por lotes de diferentes edades), se pueden evitar pérdidas significativas. Adicionalmente, la Figura 24, ilustra acerca de las pérdidas potenciales para las tres productividades comparadas con el costo del control cultural, haciéndose evidente que, para la magnitud de las pérdidas esperadas, el costo del control cultural es relativamente bajo. Lo anterior hace de este tipo de control un componente con una relación beneficio/costo potencial, mucho mayor que la unidad. Luego, es recomendable técnica y económicamente tomar la decisión para llevar a cabo este tipo de manejo.

La Figura 25 simula la relación (para dos productividades) entre las pérdidas por broca evitadas (beneficio) y los costos del control cultural de la misma (costo),

obteniéndose una línea que describe la relación Beneficio/Costo potencial, observándose que es económicamente favorable incurrir en esta medida de control.

Se observa que a partir del 6,5% de broca en el café almendra, la relación beneficio/costo del control cultural sería superior a la unidad, para una productividad de 160 @ ha⁻¹. En el caso de una menor productividad (120 @ ha⁻¹) dicha relación es igual a la unidad, cuando el porcentaje de broca alcanza el 7,0%. Sin embargo, a pesar de que a niveles de infestación bajos en el café almendra, la relación es inferior a la unidad, no hacer controles en el campo podría permitir incrementos poblacionales de la plaga, que rápidamente llegarían a causar pérdidas económicas serias. Por esta razón, el control cultural debe

asumirse como un costo fijo del manejo de la plaga y como base de la estrategia MIB.

De otro lado, a través de estos análisis del MIB, ha sido clara y se ha resaltado la importancia de la evaluación del nivel de infestación como herramienta que permite tomar las mejores decisiones de control, y al mismo tiempo racionalizar los costos del manejo de la plaga (Benavides Machado et al., 2021). De acuerdo con estimaciones hechas en investigaciones sobre MIB, en fincas de caficultores y en pruebas de verificación, se ha encontrado que el costo correspondiente a efectuar los muestreos y evaluar la posición de la broca en el fruto puede equivaler a \$210.000 ha año⁻¹ (incluyendo prestaciones sociales), y de otro lado, que el costo de una aspersión generalizada de insecticida por hectárea puede alcanzar alrededor de \$307.430 o más, dependiendo del volumen de mezcla utilizado.

La evaluación del nivel de infestación tiene tres objetivos: establecer el porcentaje de broca en un lote de café, conocer la posición de la broca en el fruto y determinar los focos o puntos calientes en los cuales la concentración de la plaga es mayor. El conocimiento de los puntos calientes permite desarrollar estrategias de control químico (Arcila, 2016), localizadas o dirigidas específicamente a estos puntos, sin necesidad de extenderlas a todo el lote, con la consabida reducción en los costos del manejo.

La Figura 26 simula el ahorro en costos por hectárea de la aplicación de insecticidas empleados en el MIB, dependiendo del tamaño del foco y compara dichos ahorros con el costo de la evaluación de nivel de infestación por hectárea al año.

Si la evaluación del nivel de infestación determina que es necesario hacer tratamiento a todo el lote, es decir,

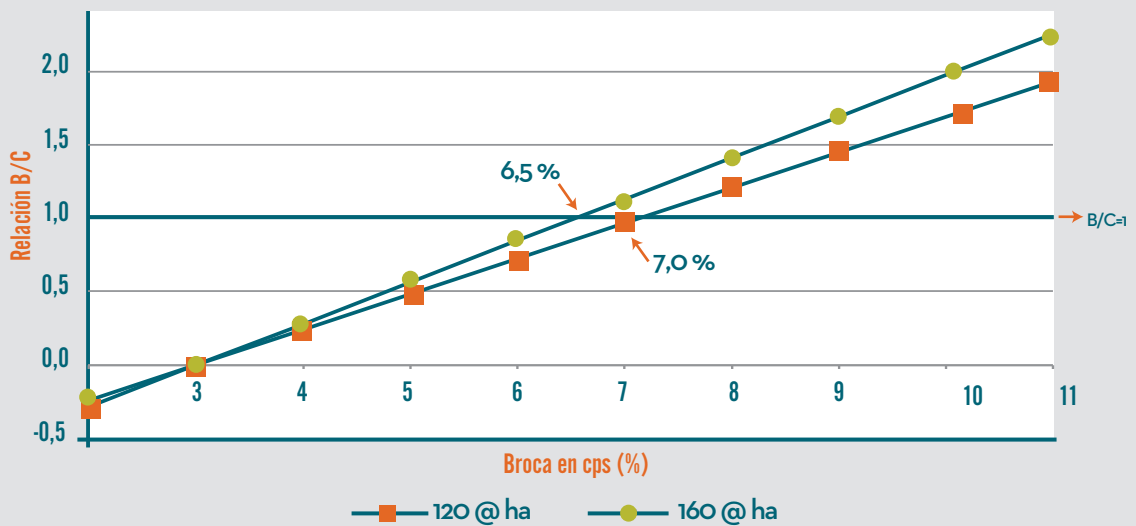


Figura 25. Relación Beneficio/Costo potencial del componente control cultural, del MIB.

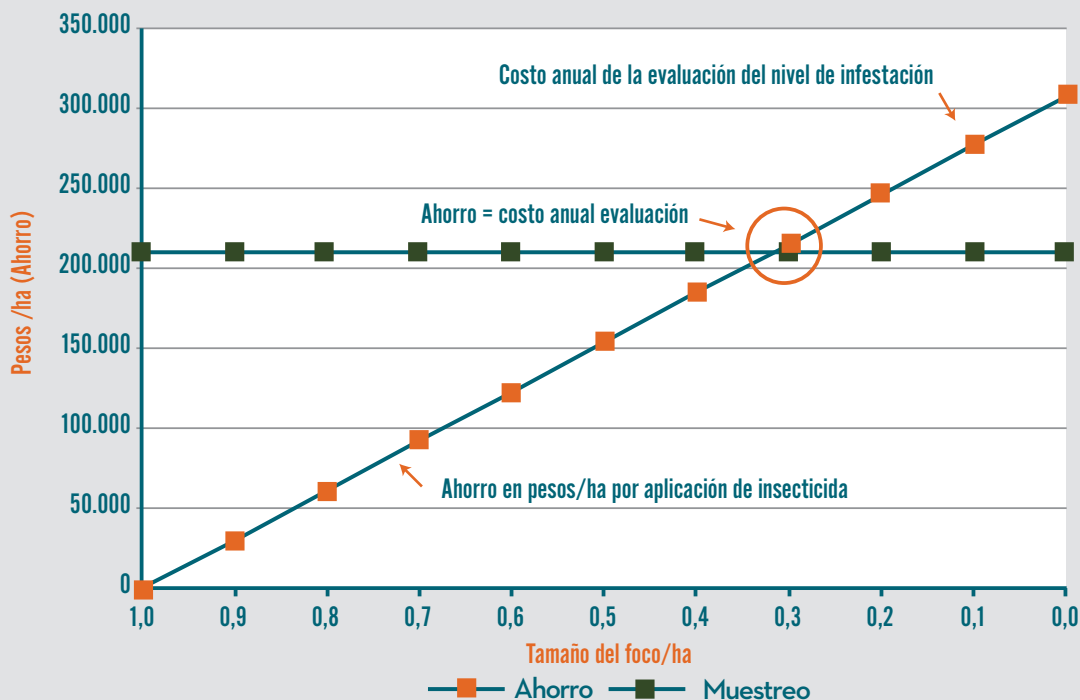


Figura 26. Ahorros derivados de la evaluación del nivel de infestación, al realizar aplicaciones focalizadas de insecticidas.

una aplicación generalizada, no habría ahorro directo en costos por efecto de la práctica y se habría tomado la decisión acertadamente. Sin embargo, si la medición del nivel de infestación permite detectar puntos calientes, deberían entonces asperjarse áreas más pequeñas que la hectárea, dando lugar a un ahorro directo en los recursos necesarios para la aspersión. Por ejemplo, si el foco es de 0,5 ha, el ahorro sería equivalente a \$153.715 por hectárea por aplicación; si el foco detectado fuera menor, por ejemplo 0,3 ha, el ahorro derivado del muestreo equivaldría a \$215.201 por hectárea por aplicación de insecticida.

Ahora bien, si el foco es de menor extensión, por ejemplo 0,2 ha (2.000 m²), el ahorro

derivado de esa decisión sería del orden de \$245.944 por hectárea por vez. Este valor es casi equivalente al costo anual de la evaluación del nivel de infestación por hectárea al año, tal como se observa en la Figura 26, en el punto donde ambas líneas se interceptan, demostrándose así que con los ahorros en una aplicación se cubren los costos del muestreo anual. Así, como en las otras prácticas analizadas, también son evidentes las ventajas económicas del MIB y dentro de éste, la evaluación del nivel de infestación.

Renovar por zoca

El zoqueo de cafetales es una práctica de renovación que estabiliza y mejora

la producción de la finca. Sin embargo, al ejecutar esta labor deben tenerse en cuenta dos consideraciones básicas: primero, el zoqueo debe ser programado y esto implica definir claramente los ciclos de cultivo, y segundo, es menos costoso que la renovación por siembra, obteniéndose producciones similares por unidad de área.

Alrededor de esta práctica, como forma de renovación de cafetales, Cenicafé ha producido información abundante. Por ejemplo, en relación con el zoqueo y su efecto en la producción en las variedades Colombia y Caturra, Salazar & Mestre (1991) y Mestre & Salazar (1995), encontraron que no hubo diferencias en producción entre lotes provenientes de siembra nueva o zoca.

También se ha generado información general acerca de cómo realizar la labor de zoqueo, épocas correctas, altura del corte, manejo sanitario, entre otros aspectos (Rendón, 2016; Rendón, 2019).

En la Tabla 16 se comparan los costos de instalar 10.000 plantas/ha o zoquear un lote con la misma densidad de siembra. Los costos son diferentes en varios aspectos, por ejemplo, mientras

en la siembra es necesario trazar, ahoyar, acarrear los colinos y sembrar la totalidad de los sitios, en la zoca estas labores no son necesarias. La renovación por zoca tiene ventajas de carácter económico, pues es menos costosa que la renovación por siembra, tal como se observa en la Tabla 16, y en el tiempo, confiere menos años improductivos y menos agotamiento de la planta que sistemas de podas como la calavera o pulmón (Rendón, 2016).

Otra diferencia importante es que, en la renovación por siembra los colinos se



Tabla 16. Costos de renovación de una hectárea por siembra nueva y por zoca²⁶

| Variables | Siembra | Zoca |
|---------------------------------------|-------------------|------------------|
| Mano obra instalación (hasta siembra) | 4.617.092 | 2.391.595 |
| Limpias – jornales | 1.008.000 | 672.000 |
| Plateos – jornales | 2.100.000 | 1.470.000 |
| Selector – jornales | 882.000 | 588.000 |
| Siembra de colinos | 2.399.618 | 0 |
| Total | 11.006.710 | 5.121.595 |
| Diferencia (\$ ha) | | 5.885.115 |
| Reducción en costos | | 53,5% |

²⁶ Basado en ITEC's nacionales. No se incluye el costo de las resiembras, por ser similares en ambos casos.

convierten en un insumo costoso, mientras que en la zoca no hay necesidad de producir colinos en la finca, sólo aquellos necesarios para la resiembra, pero esta labor es común en ambos tipos de renovación. De otro lado, en la renovación por zoca se recomienda picar las ramas de los árboles y esparcirlos por el lote; estas ramillas picadas actúan como barrera impidiendo por un tiempo el crecimiento de las arvenses y reduciendo el número de limpiezas, plateos y uso del selector (Rendón, 2019). En conclusión, la renovación por zoca cuesta aproximadamente 50% menos que la renovación por siembra.

Adicionalmente, la renovación por zoca también puede ser utilizada para mejorar la productividad de cafetales sembrados en baja densidad, pero sin costos adicionales. Mestre & Salazar (1995) llevaron a cabo un experimento para demostrar que al dejar mayor número de tallos era posible obtener aumentos en la producción, sin costos adicionales, pues el costo adicional de dejar un chupón es igual a cero. La Tabla 17 compara los resultados en producción de zocas con uno y dos chupones, en tres localidades de la región central cafetera.

Para el caso de Naranjal, los resultados son el promedio de cinco cosechas, mientras que en Supía y Gigante son el promedio de siete cosechas. Los datos obtenidos muestran que al dejar dos chupones se incrementa la densidad de tallos por hectárea, lo cual permite obtener

aumentos importantes en la producción de café por hectárea. Al comparar el valor de la producción, derivado del incremento en el número de chupones, es evidente la ventaja económica de aumentar la densidad de tallos por hectárea, cuando las condiciones lo permitan. Como el margen bruto por hectárea se construye, al menos inicialmente, a partir de la productividad del factor tierra, la Figura 27 muestra la contribución a los ingresos brutos por hectárea debidos al incremento en el número de chupones por sitio.

En el caso de Naranjal, la diferencia promedio por cosecha es equivalente a \$3.514.150 por hectárea, a pesos del año 2020; para el caso de Supía sería de \$5.148.492, mientras que en Gigante la diferencia corresponde a \$6.108.327.

La Figura 28 muestra los resultados obtenidos en otro experimento, donde se comparó el efecto en la productividad, hasta las tres primeras cosechas, como consecuencia del número de chupones dejados por zoca (Mestre & Arboleda, 1999). Los resultados obtenidos permitieron deducir que, para la densidad de 2.500 plantas/ha la producción aumentó con el número de chupones. Para el caso de 5.000 plantas, se observó incremento en la producción cuando se pasó de uno a dos chupones por planta, pero cuando se dejaron tres chupones no hubo ningún efecto. En la densidad de 7.500 árboles/ha no se presentaron aumentos en producción

Tabla 17. Comparación de producción de zocas con uno y dos chupones (Mestre et al., 1995).

| Localidad | Zoca con un chupón (@ ha ⁻¹ de cps por cosecha) | Zoca dos chupones (@ ha ⁻¹ de cps por cosecha) |
|----------------------|---|--|
| Naranjal (Chinchiná) | 248,89 | 282,39 |
| Supía (Caldas) | 465,57 | 514,65 |
| Gigante (Huila) | 258,07 | 316,30 |

por efecto del aumento en el número de chupones. Finalmente, para el caso de 10.000 plantas/ha, se encontró que la producción disminuyó cuando se dejaron tres chupones, y entre uno y dos chupones no hubo diferencias estadísticas.

A partir de estos resultados, se recomienda que al renovar por zoca en lotes con densidades hasta de 2.500 árboles/ha se pueden dejar tres chupones por planta; en densidades de 5.000 árboles, se deben dejar dos chupones, y si es mayor de 5.000 árboles se debe dejar un solo chupón. De esta manera, por ejemplo, si un caficultor tiene un lote con una densidad de 6.000 árboles/ha y va a zoquear, con el propósito de incrementar la densidad de siembra, podría dejar 3.000 árboles con un chupón y alternar con otros 3.000 con

dos chupones, obteniendo al final 9.000 tallos/ha. Situaciones análogas pueden presentarse para otras densidades; sin embargo, debe tenerse claro que lo ideal, en caficultura al sol y bajo sistemas agroforestales bien regulados, es mantener densidades altas y así aprovechar sus ventajas económicas, sin llegar a incrementos de tallos productivos mayores a los 10.000 tallos/ha para no acortar la vida útil de las plantas, sin algún beneficio económico adicional (Rendón, 2019).

Finalmente, los efectos del aumento del número de chupones sobre el incremento en la productividad son evidentes, sólo hace falta que el agricultor decida dejar el número de chupones adecuado al realizar las renovaciones por zoca, teniendo en

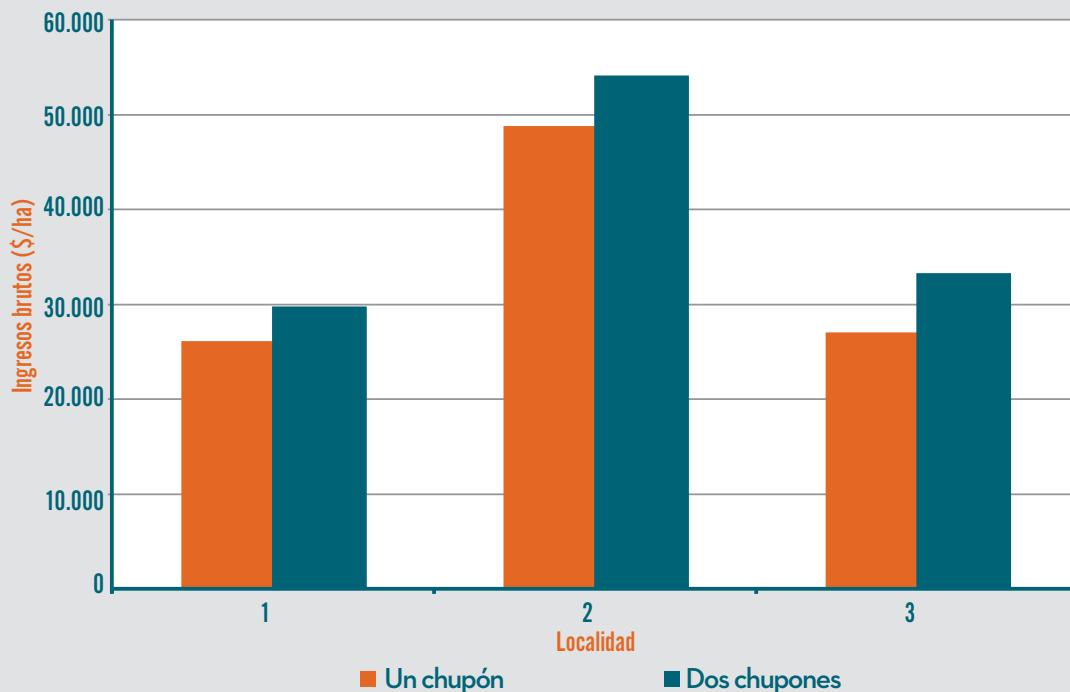


Figura 27. Ingresos brutos para zocas con uno y dos chupones.

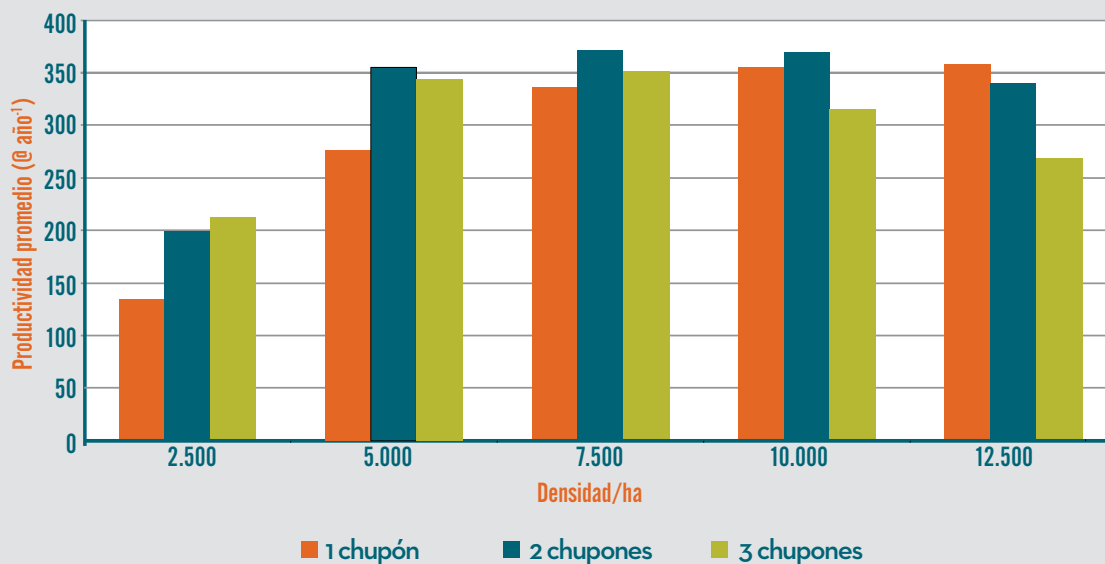


Figura 28.

Productividad del café en función del número de chupones por zoca.

cuenta que es una decisión que no implica incrementos en los costos de producción, pero que sí incidirá positivamente en el desempeño económico de la finca, mejorando sustancialmente la productividad.

Conservar la población inicial de árboles

El zoqueo del café es una práctica recomendada para la renovación de cafetales en búsqueda de una productividad alta y estable a través del tiempo. Desde un punto de vista práctico, una plantación de café sembrada con variedades de porte bajo o intermedio (Cenicafé 1, Castillo®), debe zoquearse luego de 5 o 6 años de haberse sembrado, según la densidad de siembra. La práctica del zoqueo implica desramar el árbol

para luego efectuar un corte del tallo principal a una altura aproximada de 30 cm del suelo. A partir de ese momento la regeneración del árbol puede afectarse, y aunque un porcentaje muy alto de los sitios produce nuevamente chupones (brotes ortotrópicos), una minoría no lo hace, lo que va a reducir eventualmente a la población inicial.

Prevenir la llaga macana

Debido a la realización del corte del zoqueo, se presenta el riesgo de exponer la herida a la infección por el hongo *Ceratocystis fimbriata*, que causa la enfermedad conocida como llaga macana (Castro & Montoya, 1997). El resultado final del ataque de este hongo es la muerte de la planta, que en el caso de las zocas se manifiesta por la ausencia de brotes o chupones, o si aparecen presentan poco desarrollo, generándose posteriormente clorosis y muerte (Castro, 1999). El efecto

final es la reducción de la población original de plantas sembradas en el lote, que tiene como consecuencia mermas en la producción, debido a la pérdida de sitios productivos y, en muchos casos, al acortamiento de la vida productiva del árbol (Castro et al., 2003).

Para establecer la importancia económica de la enfermedad, se adelantó un estudio en los departamentos de Caldas y Risaralda, que incluyó 138 fincas cafeteras que tenían presencia de la enfermedad (Castro et al., 2003). Con base en esta investigación se estableció el daño económico (Duque et al., 2003) causado por la enfermedad.

Las pérdidas de población son variables, dependiendo de los lotes cultivados,

encontrándose disminuciones desde menos de 600 árboles/ha hasta más de 3.600, lo cual indica una gran variabilidad en la muerte de árboles, entre fincas. Es importante resaltar que, del total de los lotes, el 71% provenía de primera o segunda zoca, mientras el restante 29% correspondió a plantilla. La Figura 29 describe el porcentaje de lotes afectados con diferente número de árboles muertos por hectárea.

De acuerdo con los resultados del estudio, el promedio de árboles muertos por la llaga macana fue de 950, oscilando en un intervalo entre 757 y 1.098 árboles/ha. Como resultado de esta reducción en población, hay una disminución en la productividad del lote, que si fuera

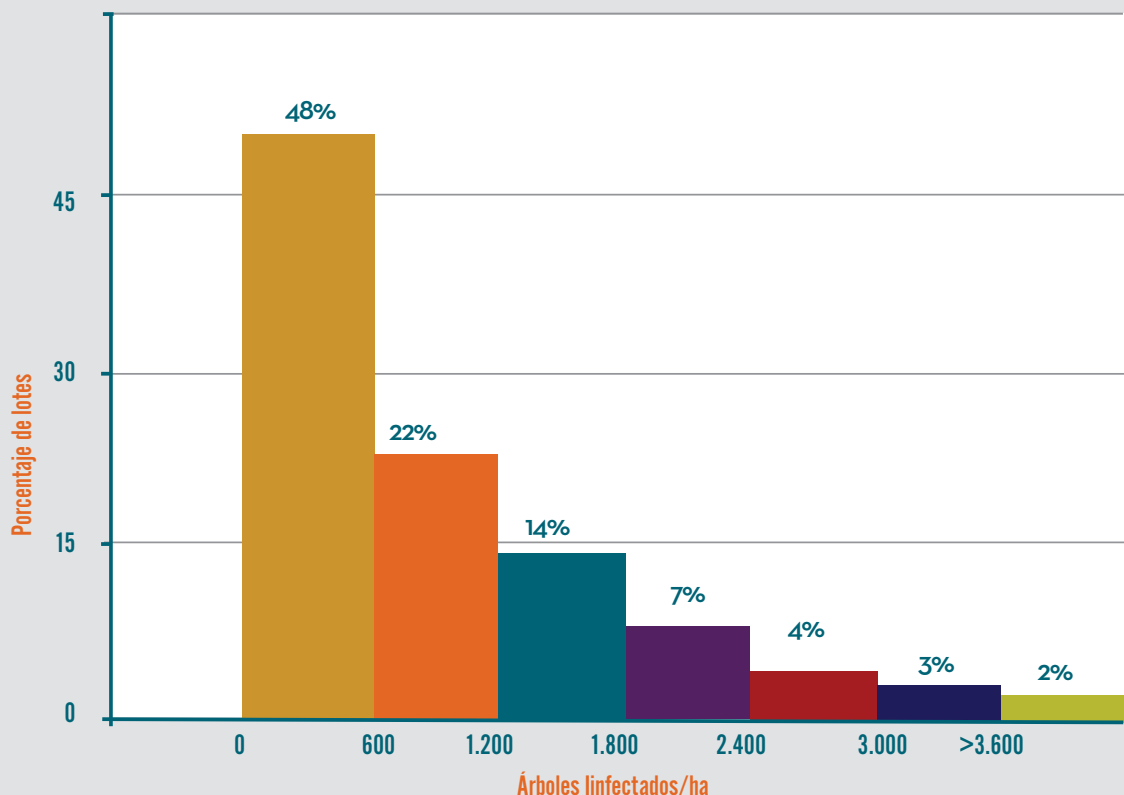


Figura 29. Porcentaje de lotes, de acuerdo con el número de árboles infectados por llaga macana por hectárea.

proporcional al número de árboles y para un promedio de 178 @ ha-año⁻¹ de cps²⁷, equivaldría a 31,47 @ ha-año⁻¹. A precios de 2020, esta pérdida tendría un valor de \$3.301.203 por hectárea (como ingreso bruto por hectárea), el cual es muy significativo y justifica, por lo tanto, emprender medidas de control de la enfermedad.

Con relación a la reducción en la vida productiva del árbol y aunque se presentó una gran heterogeneidad en las edades de los lotes y en los ciclos de renovación, se estimó que el ciclo promedio, de acuerdo con la caficultura estudiada, es de 8 años. Para este ciclo, se encontró que, en promedio, debido a la presencia

de la enfermedad, se redujo la vida productiva por árbol en 4,6 años, que para la productividad promedio asumida, implicaría dejar de producir 155 @ en el ciclo, afectando la productividad del lote y el ingreso bruto del mismo. Una de las consecuencias es la disminución del margen bruto por hectárea, que es la base para la generación del ingreso neto por hectárea, afectando directamente la competitividad del caficultor.

Por estas razones, Cenicafé ha desarrollado métodos para prevenir las infecciones causadas por este hongo. El método convencional recomendado implica la aplicación de un fungicida para proteger el sitio de corte inmediatamente

²⁷ Productividad promedio para caficultura tecnificada registrada por caficultores del Plan 2000 fincas en el Programa de Gestión Empresarial – Gerencia Técnica, 2020.

Tabla 18. Supuestos básicos para el empleo del método convencional de control de llaga macana (Gómez et al., 2004).

| Variable | Indicador |
|----------------------|--------------------------------------|
| Fungicida | 4 cc L ⁻¹ agua (solución) |
| Volumen de aspersión | 4,52 cc/zoca (volumen de solución) |
| Mano de obra | 4.250 zocas/jornal ²⁸ |
| Equipo Aspersión | Tipo presión constante |

²⁸ Valor promedio para la labor “Desinfección de zocas”. App de Indicadores de rendimiento de mano de obra en el cultivo del café, Cenicafé, 2021.

Tabla 19. Costos del control de la llaga macana por hectárea. Método convencional, para diferentes densidades de siembra.

| Densidad (árboles/ha) | Fungicida (\$) | Equipos (\$) | Mano de obra (\$) | Costo total/ha (\$) |
|-----------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|
| 4.000 | 17.284,5 | 1.401 | 39.529 | 58.215 |
| 5.000 | 21.605,6 | 1.751 | 49.412 | 72.768 |
| 6.000 | 25.926,7 | 2.101 | 59.294 | 87.322 |
| 7.000 | 30.247,8 | 2.451 | 69.176 | 101.876 |
| 8.000 | 34.569,0 | 2.802 | 79.059 | 116.429 |
| 9.000 | 38.890,1 | 3.152 | 88.941 | 130.983 |
| 10.000 | 43.211,2 | 3.502 | 98.824 | 145.537 |

después del mismo, así como luego de las deschuponadas. Para el caso de este método, la Tabla 18 describe los supuestos básicos para la aplicación del fungicida.

Con base en los supuestos básicos anteriores, el costo del control preventivo convencional de la llaga macana corresponderá al descrito en la Tabla 19.

Puede concluirse que, aunque el costo del control de la enfermedad variará dependiendo de la densidad de siembra, en cualquiera de ellas, desde la menor (\$58.215/ha), hasta la mayor (\$145.537/ha), el costo del manejo es inferior a la pérdida potencial que se originaría por las reducciones en población. Esta circunstancia permite concluir que es económicamente aconsejable prevenir el ataque de la llaga macana pues, para cualquier densidad, el costo de proteger un árbol equivale a \$14,5/árbol, el cual es bajo en comparación con el ingreso potencial generado por el mismo.

Adicionalmente, Cenicafé ha desarrollado un método alternativo para el manejo de esta enfermedad mediante el uso del aplicador de contacto, que por sus características es bastante promisorio. El método se fundamenta en la aplicación

del fungicida en una mayor concentración, empleando menos cantidad de mezcla por zoca (0,17 cc/zoca) y obteniendo un control satisfactorio de la enfermedad aún bajo condiciones de lluvia luego de la aplicación (Gómez & Castro, 2004). La Tabla 20 muestra los costos utilizando el método opcional para proteger los árboles que han sido zoqueados, donde se observa que con el método del aplicador de contacto los costos del manejo se reducen significativamente, principalmente en lo relacionado con la cantidad de fungicida, que es sustancialmente inferior, pues el ahorro en producto es mayor al 90% en comparación con el método convencional. En este caso, el costo promedio de la protección equivale a \$10,14/árbol, el cual corresponde a 69% del costo del tratamiento convencional.

Aunque no debe olvidarse que existen otras llagas del cafeto (*Rosellinia bunodes* y *R. pepo*), que también ameritan atención y manejo, en el caso de la llaga macana, es claro que los caficultores deben estar atentos a su manejo y prevención, lo cual redundará fundamentalmente en conservar la población inicial de árboles por hectárea y, por lo tanto, conservar las productividades de los diferentes lotes de la finca.

Tabla 20. Costos del control de la llaga macana por hectárea, usando el método del aplicador de contacto, para diferentes densidades de siembra.

| Densidad (árboles/ha) | Fungicida (\$) | Equipos (\$) | Mano de obra (\$) | Costo total/ha (\$) |
|-----------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|
| 4.000 | 650 | 384 | 39.529 | 40.564 |
| 5.000 | 813 | 480 | 49.412 | 50.705 |
| 6.000 | 975 | 576 | 59.294 | 60.846 |
| 7.000 | 1.138 | 672 | 69.176 | 70.987 |
| 8.000 | 1.300 | 768 | 79.059 | 81.127 |
| 9.000 | 1.463 | 865 | 88.941 | 91.268 |
| 10.000 | 1.625 | 961 | 98.824 | 101.409 |

Realizar las resiembras

La población de árboles de café en un sistema de producción puede verse menguada a través del tiempo por causas diversas como plagas, enfermedades y daños mecánicos. La pérdida de individuos afecta directamente la densidad de siembra original del lote, constituyéndose en uno de los principales factores que afecta la productividad de la finca cafetera. La ocurrencia de sitios perdidos no tiene un patrón definido en los lotes de café, sin embargo, el efecto en la reducción de la producción es proporcional al número de plantas que mueren (Moreno, 2010).

En la Figura 30 se puede apreciar la reducción en la productividad en función de los sitios faltantes en un lote de café. Es evidente que en la medida que aumentan las pérdidas en población, también se presentan las pérdidas en productividad;

es importante considerar que aún con porcentajes bajos (3%) de sitios faltantes, la disminución en productividad es superior a $5,0 @ \text{ha-año}^{-1}$ de cps, asumiendo el precio promedio de venta para 2020 de \$104.900 por arroba de cps, supondría una pérdida de \$560.166 de ingreso bruto por hectárea al año, considerando la información del Plan 2.000 fincas, en 2020, con una densidad de siembra de 5.374 árboles/ha y una productividad de $178 @ \text{ha-año}^{-1}$ de cps.

Debido al impacto que tiene la pérdida de población en la productividad es necesario reponer los árboles faltantes con la realización de resiembras. El porcentaje de sitios perdidos no depende de la edad del lote, es necesario entonces cuantificar los sitios faltantes al momento de realizar las renovaciones bien sea por zoca o por siembra y en lo sucesivo al menos en los dos años posteriores a la intervención del lote.

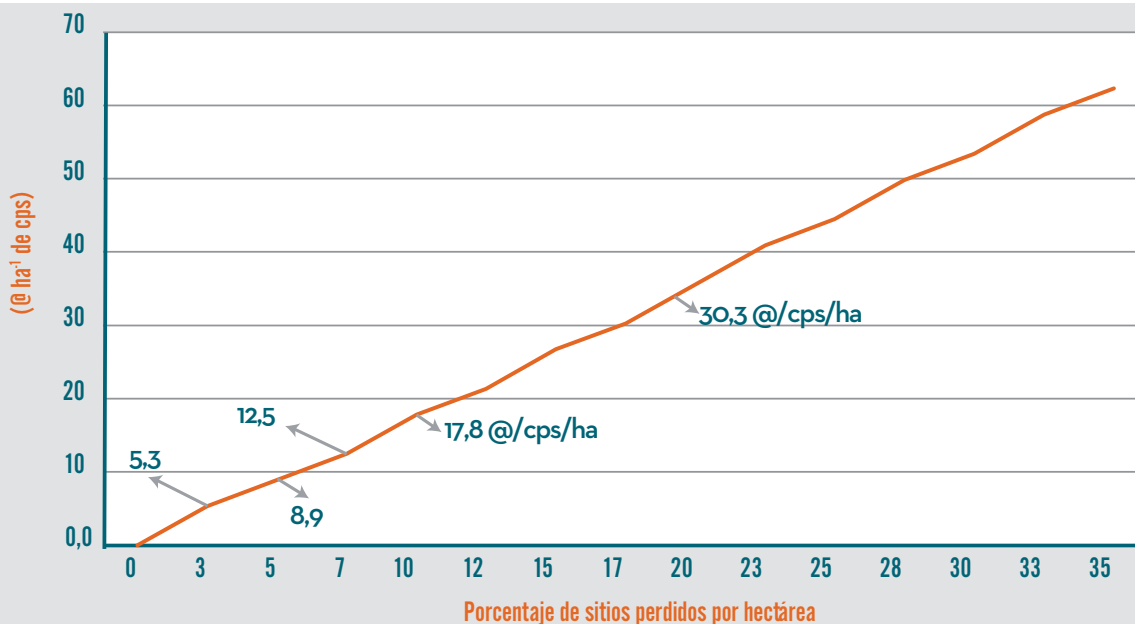


Figura 30.

Pérdidas en productividad (@ ha-año⁻¹ de cps) como consecuencia de los sitios faltantes en lotes de café.



Asímismo, en la planificación de actividades de la finca es importante considerar la realización de las renovaciones en la época indicada para la zona (Jaramillo, 2016) y de esa forma disminuir la pérdida de sitios; adquirir la semilla certificada de variedades resistentes, construir con la debida anticipación el germinador y

el respectivo almacigo para contar con material vegetal de origen conocido para las resiembras necesarias después de las renovaciones realizadas por zoca o por siembra (Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé], 2018).

Realizar las resiembras oportunamente es una labor que garantiza la densidad de siembra del cultivo, y al recuperar los sitios que perdieron árboles se mitigan las pérdidas en productividad y se retribuye la inversión (Rendón & Duque, 2017; Unigarro et al., 2021). En la Tabla 21 se presenta el ejercicio de valoración de la labor de resiembra de acuerdo a los sitios faltantes por hectárea, en un lote con densidad de siembra de 5.374 árboles/ ha.

Como se puede apreciar en la Tabla 21, el costo de la labor de resembrar los sitios faltantes y asumir la etapa de levante de esos árboles es inferior a las pérdidas en productividad por hectárea en un año; dicho de otra manera, realizar las resiembras aún con bajos porcentajes de sitios perdidos en un lote, representa beneficios económicos para el caficultor; la inversión de recursos para reponer los

Tabla 21. Costos de la labor de resiembra en función del porcentaje de sitios perdidos.

| Sitios perdidos (%) | Pérdida | | No. de resiembras | Costo labor \$ | Margen neto labor |
|---------------------|--|-----------|-------------------|------------------------|-------------------|
| | Porcentaje de sitios perdidos por hectárea | \$ | | Colino/ labor/ levante | |
| 3 | 5,34 | 560.166 | 161 | 206.362 | 353.804 |
| 5 | 8,90 | 933.610 | 269 | 343.936 | 589.674 |
| 7 | 12,46 | 1.307.054 | 376 | 481.510 | 825.544 |
| 10 | 17,80 | 1.867.220 | 537 | 687.510 | 1.179.348 |
| 12 | 21,36 | 2.240.664 | 645 | 825.446 | 1.415.218 |
| 15 | 26,70 | 2.800.830 | 806 | 1.031.808 | 1.769.022 |
| 17 | 30,26 | 3.174.274 | 914 | 1.169.382 | 2.004.892 |
| 18 | 31,45 | 3.299.392 | 950 | 1.216.000 | 2.083.392 |
| 20 | 35,60 | 3.734.440 | 1.075 | 1.375.744 | 2.358.696 |

árboles faltantes es menor que los ingresos dejados de percibir por la reducción en productividad, el margen neto de la labor es positivo, con rentabilidades superiores al 100% y una relación beneficio costo de tres para el caso analizado, reafirmando que los beneficios son mayores que los costos, por lo tanto, siempre debe considerarse realizar la resiembra de sitios perdidos.

Calibrar equipos de aspersión de agroquímicos

Las llegadas a Colombia de la roya del cafeto en 1983, y de la broca del café en 1988, provocaron la aplicación recurrente de fungicidas e insecticidas en la caficultura colombiana, que carecía de una tradición de manejo de enfermedades y plagas mediante control químico. El desarrollo en Cenicafé de las recomendaciones de manejo integrado de enfermedades y plagas ha permitido la incorporación racional del uso de productos químicos de síntesis, basada en el estudio de epidemias, de acuerdo con las variaciones climáticas y de las condiciones fenológicas del cultivo, presentes de cada lote.

La tecnología de aplicación de agroquímicos corresponde al uso adecuado de un producto químico o biológico que dé como resultado una eficacia del 75% o más en el control del problema fitosanitario. Esta tecnología está basada en los principios de oportunidad de la aplicación, uso de productos, dosis correctas y calidad de la aplicación. Sin embargo, deficiencias en el uso de esta tecnología, por efecto de aplicaciones en momentos inadecuados en la epidemia o bajo condiciones climáticas adversas,

productos inefectivos, mala calidad del agua o falta de calibración de los equipos, causarán la pérdida de eficacia de la práctica y aumentarán los costos de producción (Arcila et al., 2013; Benavides Machado., 2013).

La calibración de un equipo de aspersión es el proceso por el que se determinan los factores básicos para el éxito biológico de una aplicación, midiendo la descarga por unidad de tiempo, y con ello el tiempo necesario para hacer un cubrimiento adecuado en cada árbol. Una calibración incorrecta invariablemente trae problemas de sobredosificación o subdosificación, incrementando los volúmenes utilizados, consumiendo más producto activo que el requerido, aumentando la mano de obra necesaria y causando problemas adicionales al fomentar la aparición de resistencia en la plaga, favorecer la aparición de residuos en el café verde y poner en riesgo la salud



de los trabajadores rurales y el equilibrio medioambiental (Tabares et al., 2008).

Dentro de la diversidad de equipos de aspersión existentes, las boquillas son consideradas las partes más importantes, ya que actúan como instrumentos de precisión para aplicar diferentes volúmenes, según las necesidades de cada condición. Las boquillas desintegran el líquido en gotas, regulan el flujo y distribuyen el líquido en patrones definidos. El uso de boquillas con desgaste inaceptable o de una boquilla inadecuada (diferente a las boquillas de baja descarga) genera sobrecostos, que se magnifican si se usa una presión diferente a la recomendada, lo cual provoca que el volumen aplicado aumente.

La Tabla 22 muestra un ejemplo del efecto económico de la sobredosificación de un insecticida por efecto del desgaste de la

boquilla, en términos de producto utilizado y de mano de obra requerida, valores que varían en la medida que cambian otras variables del cultivo, como es el caso de la densidad (Tabla 23), la edad y el porte del árbol.

Una aplicación deficiente de productos agroquímicos puede traer consecuencias aún más severas cuando no se logra el control adecuado de la enfermedad o plaga, debido no solamente a las reducciones en producción por la afectación fitosanitaria, sino por la necesidad de repetir la aplicación, multiplicando los costos en este rubro, por la imposibilidad de volver a asperjar, como consecuencia de la pérdida de la ventana de oportunidad por el desarrollo de la epidemia, o por el posible incumplimiento del período de carencia del producto, todos efectos remediabiles con una correcta calibración de los equipos de aplicación.

Tabla 22. Sobrecosto por hectárea para una densidad de 7.500 árboles, con boquillas de diferente porcentaje de desgaste o con la boquilla graduable original del equipo.

| Item | Costo/ha con boquilla óptima | Desgaste | | | | Boquilla graduable |
|--------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| | | 5% | 10% | 15% | 20% | |
| Insecticida | \$ 105.000 | \$ 7.350 | \$ 14.700 | \$ 22.050 | \$ 29.400 | \$ 102.900 |
| Mano de obra | \$ 188.000 | \$ 9.400 | \$ 18.800 | \$ 28.200 | \$ 37.600 | \$ 131.600 |
| Costo total | \$ 293.000 | \$ 16.750 | \$ 33.500 | \$ 50.250 | \$ 67.000 | \$ 234.500 |

Tabla 23. Sobrecosto por hectárea al utilizar una boquilla con desgaste del 15%, para diferentes densidades de siembra.

| Item | Densidad (árboles/hectárea) | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|------------|------------|-----------|
| | 5.000 | 6.500 | 7.500 | 10.000 |
| Costo total con boquilla óptima | \$ 194.000 | \$ 255.000 | \$ 293.000 | \$390.000 |
| Sobrecosto en insecticida | \$ 14.700 | \$ 19.110 | \$ 22.050 | \$ 29.400 |
| Sobrecosto en mano de obra | \$ 18.600 | \$ 24.600 | \$ 28.200 | \$ 37.500 |
| Sobrecosto total | \$ 33.300 | \$ 43.710 | \$ 50.250 | \$ 66.900 |

Cosechar sólo frutos maduros

Las recolecciones de café bien hechas ofrecen ventajas tales como aumentar los ingresos debido a la venta de mayor cantidad de café, reducir las poblaciones de broca y, por lo tanto, evitar futuras reinfestaciones y, finalmente, evitar también pérdidas de café de hasta el 10%, debidas a frutos no recolectados o que se caen al suelo.

Mejorar la composición de la masa cosechada

En muestras de café cereza provenientes de fincas de caficultores y analizadas en Cenicafé, se encontró la siguiente composición promedio: 85% frutos

maduros, 7% frutos pintones, 5% frutos sobremaduros, 3% frutos verdes (Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé], 1998). Estas cifras demuestran que la composición de la masa de café cereza es variable y que la proporción de frutos diferentes a los maduros es del 15%, lo cual se considera indeseable desde muchos puntos de vista. La recomendación de cosechar frutos maduros se deriva de las ventajas que ofrece este tipo de frutos.

La Figura 31 evidencia que los frutos de 32 semanas de edad muestran el mayor desarrollo y peso seco, por lo tanto, la conversión en el beneficio de frutos de café a café pergamino seco, será mejor que cuando se recolectan frutos de otros grados de madurez. Igualmente, se aprecia en la Figura 31 que los frutos pintones o verdes, con edades inferiores a 30 semanas o frutos sobremaduros y casi

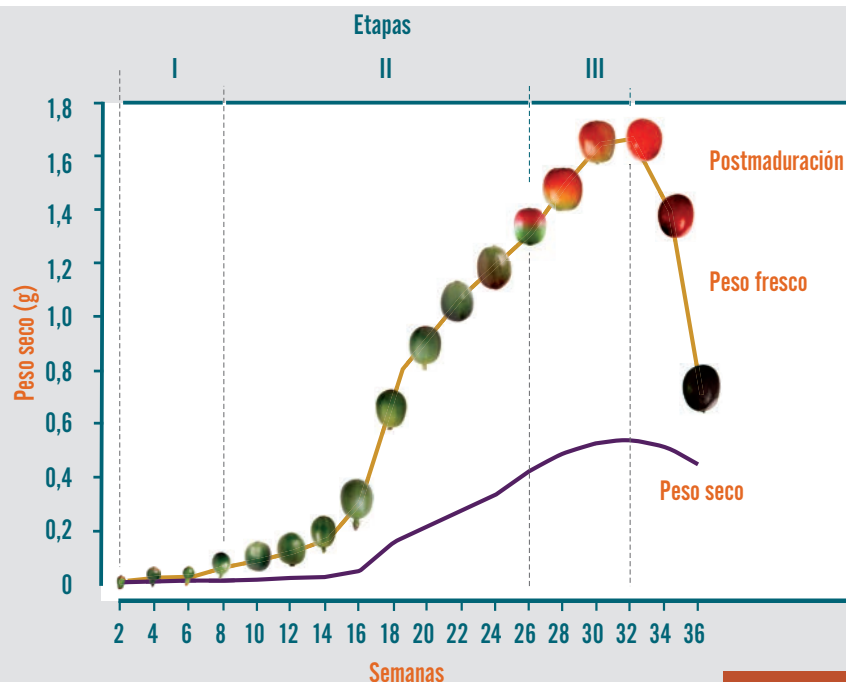


Figura 31.
Desarrollo del fruto de café en relación con su peso.

secos, de 34 o 36 semanas, poseen un peso seco inferior al adecuado para su recolección, y el efecto de cosecharlos se reflejará en peores conversiones, lo que implica mayores cantidades de frutos de café para obtener una cantidad específica de café pergamino, por ejemplo, una arroba, y esto afecta directamente la productividad (menor cps por hectárea) y el costo unitario de producción (incremento en COP/@).

Adicionalmente, con relación a los frutos cosechados verdes, Puerta (2000) encontró que para contenidos de café verde superiores al 2,5% en peso en la cosecha, se deteriora la calidad y el rendimiento del café, rechazándose cerca del 30% de las tazas de café.

En cuanto a las conversiones, normalmente se asume que para obtener una arroba de café pergamino seco se requieren 62,5 kg de frutos de café, considerándose como una conversión estándar. La Figura 32, a manera de ejemplo, reseña el efecto de pérdidas en conversión para tres productividades por hectárea 120, 160 y 200 arrobas de café pergamino seco, partiendo del número estándar de kilogramos de frutos de café, por arroba de cps.

En la Figura 32, el eje horizontal muestra las conversiones de frutos de café a pergamino seco, partiendo de 62,5 kg para luego aumentar, hasta llegar a 72 kg, la cual es evidentemente una pésima conversión. El eje vertical representa la

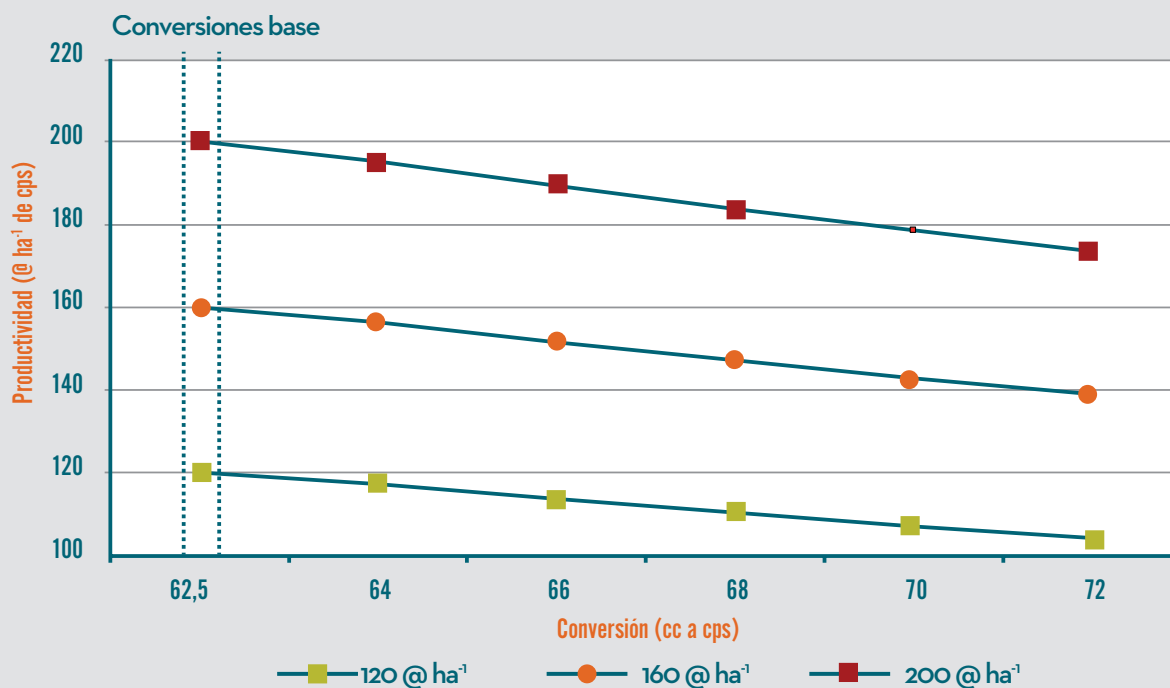


Figura 32. Disminución de la productividad, debido a cambios en la conversión de café cereza a pergamino seco.

productividad por hectárea. A medida que la cifra de conversión aumenta, serán necesarios más kilogramos de frutos para alcanzar una arroba de cps, o visto de otra manera, con los mismos kilogramos de frutos de café se obtendrán menos arrobas de café pergamino seco. En la Figura 32 se presentan tres productividades de café, observándose que cuando es de 200 @ ha⁻¹ de café cereza en promedio, una conversión de 72, conducirá a lograr 174 @, lo cual implica una reducción en el ingreso bruto equivalente a \$2.727.400 pesos. En el caso de una productividad de 120 @, al deteriorarse la conversión a 72, equivaldría a obtener 104 @ ha⁻¹, lo que implica una reducción del ingreso bruto por hectárea del orden de \$1.678.400. Si la conversión promedio de la finca fuese mejor, por ejemplo 60 o 58, y por mala recolección se llegará a niveles de 72, las pérdidas serían consecuentemente mayores.

Recientemente Cenicafé ha desarrollado herramientas para el monitoreo de una correcta recolección permitiendo medir su calidad en tolva. Para determinar la cantidad de frutos verdes en tolva o en la masa de frutos de los recolectores, y asegurarse que no superan el 2,5%, se diseñó el Mediverdes[®], que es un recipiente de 600 mL, con una escala de porcentaje donde no puede haber más de seis frutos verdes por muestra para una cosecha manual. Para el cálculo del aseguramiento de la mayor conversión y realizar la recolección en el punto ideal de maduración, se diseñó una escala comparativa, numerando los diferentes estados del fruto de las variedades desarrolladas por Cenicafé con base en los colores, según el desarrollo del fruto.

Esta escala de colores va del 1 al 8; donde 1 es el fruto verde; 2 y 3 son los estados intermedios o “pintones”; 4, 5, 6 y 7 son los estados de madurez ideales y 8 es el fruto seco. Según esta herramienta, denominada Cromacafé[®], una correcta recolección manual se obtiene con un mínimo de 80% de los frutos en los estados 4, 5, 6 o 7 (Peñuela et al., 2022).

Realizando un cálculo sobre una recolección incorrecta, con el 70% de frutos en los estados ideales (4, 5, 6 y 7 del Cromacafé[®]) y con el restante 30% de sus frutos que no alcanzaron el estado ideal, o son frutos secos²⁹, se producen aumentos en la relación de conversión de fruto a pergamino del orden del 2,9% al 3,5% y se alcanzan cifras entre 64,3 y 64,7, lo que incrementa el costo unitario de producción entre un 5,2% y un 5,5%, en detrimento de la rentabilidad.

Estos ejemplos aclaran la importancia de llevar a cabo una **“buena”** recolección, que garantice una composición adecuada de frutos, para lograr las mejores conversiones posibles y la mejor calidad en taza. De esta forma, la cosecha de frutos maduros asegura la alta calidad del café de Colombia, su recolección frecuente, dentro de un esquema de retención de pases, reduce las poblaciones de broca y además por su grado de desarrollo “paga” recolectarlo.

Pérdidas por frutos dejados en el suelo o en el árbol

También deben analizarse las pérdidas derivadas de malas recolecciones que, como se mencionó, pueden llegar hasta

²⁹ Los frutos en estados 1, 2, 3 y 8 del Cromacafé[®], según recolecciones realizadas en lotes comerciales productores de semilla de las variedades desarrolladas por Cenicafé, alcanzan en promedio entre el 66% y el 72% del peso de un fruto maduro, en los estados 4, 5, 6 y 7 (Peñuela et al., 2022).

el 10% de la cosecha. Para mejorar la comprensión de este problema, en la Figura 33 se simulan las pérdidas en producción, derivadas de las malas prácticas de recolección y para dos diferentes productividades de café por hectárea.

porcentaje equivale a 20@ ha⁻¹, que tienen un valor aproximado de \$2.098.000. Las pérdidas serán mayores de acuerdo con la productividad. Al expresar en pesos por hectárea estas pérdidas potenciales, los resultados muestran que existen pérdidas económicas potencialmente altas.

De la Figura 33 se concluye que para productividades de 120 @ ha-año⁻¹ de cps, un 10% de pérdida por mala recolección implica dejar de recolectar 12 @ ha⁻¹, que equivaldrían a \$1.258.800. En el caso de 200 @ ha-año⁻¹, el mismo

Aunque se sabe que reducir las pérdidas en recolección a cero es prácticamente imposible en café y otros cultivos, la Tabla 24 muestra cómo pérdidas en recolección, en cualquier porcentaje, significan reducción en el ingreso bruto por hectárea y, por lo

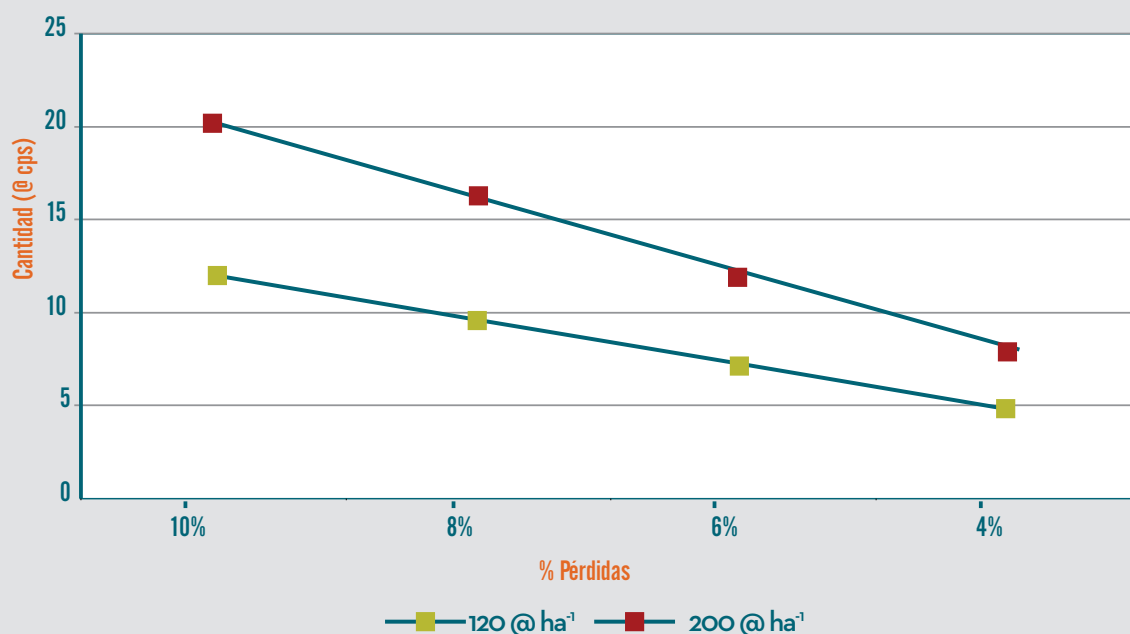


Figura 33. Pérdidas potenciales por deficiente recolección, de acuerdo a la productividad del cultivo.

Tabla 24. Pérdidas económicas potenciales por deficiencias en la recolección a diferentes niveles de productividad (\$ @ ha/cosecha).

| Pérdida (%) | 120 @ ha ⁻¹ | 140 @ ha ⁻¹ | 200 @ ha ⁻¹ |
|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 10 | 1.258.800 | 1.468.600 | 2.098.000 |
| 8 | 1.007.040 | 1.174.880 | 1.678.400 |
| 6 | 755.280 | 881.160 | 1.258.800 |
| 4 | 503.520 | 587.440 | 839.200 |

tanto, disminución del margen bruto. Debe destacarse que cualquier acción que el caficultor emprenda con el propósito de cosechar solamente frutos maduros y reducir las pérdidas en cosecha, se verá representada en un mayor ingreso bruto por hectárea. Es importante considerar que el caficultor ya había pagado el costo de producir tanto el café verde recolectado, que se convertirá en pasilla luego del beneficio, como los frutos que se dejaron de recolectar y cayeron al suelo. Dejar esos frutos en el suelo implicará una pérdida directa de ingreso.

Las herramientas que Cenicafé ha desarrollado para lograr una recolección con la mayor proporción de frutos maduros posibles y así asegurar la mejor conversión de frutos a café pergamino seco, se basan en el monitoreo de la calidad de la recolección y permiten al caficultor tomar decisiones administrativas para estimular a sus recolectores a recoger frutos de café en punto óptimo de madurez y peso, y a la vez ejecutar acciones de selección de frutos en el beneficiadero. En este sentido se debe resaltar lo siguiente:

- ♦ La primera herramienta para una óptima recolección es la planificación de la cosecha basada en el registro de floraciones, según lo propuesto por Rendón y Montoya (2015) y según las semanas que trascurren entre la floración y la cosecha, de acuerdo con la zona donde esté ubicado el caficultor.
- ♦ Con esta planificación de la cosecha, el caficultor debe procurar la recolección de por lo menos el 80% de los frutos en los colores 4, 5, 6 y 7 de acuerdo con la carta de color Cromacafé®, y un máximo de seis frutos verdes (para recolección manual) en la medida volumétrica de 600 mL del Mediverdes®, los cuales

constituyen un 2,23% sobre el número total de frutos, asegurando la calidad de la bebida y las mayores conversiones posibles de fruto a pergamino seco (Peñuela et al., 2022).

- ♦ Con el fin de optimizar su mano de obra en la recolección, el caficultor puede acceder a prácticas como la retención de pases y cosecha manual asistida con lonas y/o lonas y derribadora, que le permitan mayores rendimientos de la mano de obra sin efectos negativos en la conversión ni en la calidad en taza, disminuyendo los porcentajes de café dejado en el árbol o en el suelo.
- ♦ Cenicafé ha desarrollado una aplicación para dispositivos móviles al servicio de los caficultores colombianos para monitorear cada una de las tandas de café que llegan al beneficiadero, permitiendo registrar la calidad de la recolección, la cantidad de frutos verdes en tolva y los tiempos en cada etapa. Esta es una herramienta de control de la calidad, seguimiento y toma de decisiones.

Incorporar las prácticas de la cosecha asistida

La desigualdad en la maduración de los frutos por efecto de las condiciones particulares de distribución de lluvia que ocurren en Colombia, ha determinado que la cosecha de café se haga de manera selectiva mediante recolección manual. Esta actividad de recolección representa cerca del 40% de los costos de producción, correspondiente a contratación de mano de obra, que se reparte en dos modalidades: contratación por día o por jornal, pagando

por tiempo trabajado, generalmente al inicio y al final de la cosecha cuando hay poca disponibilidad de frutos maduros en los árboles; y contratación al destajo, pagando por el peso de los frutos recolectados, cuando la carga en los árboles es mayor.

Con los propósitos de reducir los costos de la recolección de café y de optimizar la oferta de mano de obra, la FNC ha promovido la adopción del concepto de cosecha asistida, basado en tres prácticas que se aplican de manera aditiva: retención de pases (Sanz, Oliveros, et al., 2018), recolección con lonas (Sanz, Duque, et al., 2018) y uso de la derribadora DSC18 (Sanz & Duque, 2020).

En la retención de pases, Sanz, Oliveros, et al. (2018), demostraron que en las variedades resistentes a la roya del cafeto desarrolladas por Cenicafé, es posible esperar hasta un máximo de 35 días entre pases de cosecha, con el fin de garantizar mayor disponibilidad de frutos maduros para la recolección, siempre y cuando la infestación por broca no sea mayor o igual a 2,0%, pues se pueden alcanzar valores muy altos de infestación luego de 30 días.

En 16 fincas distribuidas en ocho municipios a lo largo del departamento de Tolima, Sanz & Hincapié (2020) observaron que de una masa cosechable que varió de 14,04% a 20,23%, entre los días 17 y 18 después del pase más reciente en cosecha principal, se aumentó a una masa cosechable de 53,99% a 59,00% entre los días 34 y 35. De esta manera se reducen de dos a una las entradas a los lotes retenidos, y en este pase se puede aumentar la cantidad de frutos recolectados por persona.

Con el uso de lonas para recoger el café desprendido se mejora la eficiencia de los micromovimientos que debe

realizar el recolector, ya que se eliminan tanto la sujeción temporal de los frutos desprendidos en las manos, mientras se descargan en el coco recolector, como el transporte de los frutos al coco y el regreso de las manos a la rama.

En pruebas de campo realizadas en Tolima, Sanz & Hincapié (2020) indicaron que el aumento en la masa de café cosechable producto de la retención de pases, más la reducción de movimientos para desprender los frutos del árbol al usar las lonas, han resultado en aumentos de rendimientos entre 9,21 a 15,87 kg h⁻¹ por operario usando el coco recolector, a valores entre 17,54 y 27,71 kg h⁻¹ por operario con la adopción de lonas, incrementando así la eficiencia de la recolección entre 55,7% y 147,5%. Adicionalmente, las pérdidas al suelo usando el coco recolector fueron cerca de tres veces las obtenidas con el sistema manual con lonas, contribuyendo de esta manera al manejo integrado de la broca.

De acuerdo con la curva de isoingreso que relaciona el cambio del porcentaje del costo unitario con respecto al rendimiento de recolección, descrita por Sanz et al., (2021), se pueden generar márgenes de costos por kilogramo de fruto de café recolectado, que a su vez pueden influenciar los precios en la contratación al destajo cuando se usan lonas para la recolección (Tabla 25).

El desarrollo de la Derribadora Selectiva de Café Brudden DSC 18 (Sanz & Duque, 2020) incorporó el uso de tecnología de mecanización en la cosecha, mejorando las condiciones de trabajo de los recolectores y aumentando su eficiencia promedio cuando se combina con la retención de pases y el despliegue de lonas en el suelo. En la Tabla 26 se pueden apreciar los márgenes de costo de

Tabla 25. Márgenes de costo de recolección por kilogramo de frutos de café según la curva de isoingreso, cuando aumenta el rendimiento usando las lonas, con referencia al costo por kilogramo de \$540, recolectado de manera tradicional.

| Aumento en kilogramos para un recolector promedio de 80 kg día ⁻¹ | Aumento en rendimiento (%) | Reducción del costo unitario (%) | Margen de costo de recolección (\$) |
|--|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 16 | 20 | 17 | 92 |
| 32 | 40 | 30 | 162 |
| 48 | 60 | 38 | 205 |
| 64 | 80 | 45 | 243 |
| 80 | 100 | 50 | 270 |

recolección por kg de frutos de café con el uso de la derribadora selectiva DSC-18. En una evaluación de desempeño, llevada a cabo en las Estaciones Experimentales de Cenicafé, en lotes con diferentes pendientes de terreno, edades de los árboles y densidad de siembra, Sanz & Duque (2020) encontraron que el uso de la derribadora DSC18 en condiciones de una carga superior a 1,0 kg/árbol y maduración mayor al 50%, la media del rendimiento fue de 28,53 kg h⁻¹, que corresponde al 180% del obtenido por un recolector promedio. En esas evaluaciones, el contenido de frutos verdes en la masa cosechada fue de 6,07%, comparado con la presencia de frutos verdes en la rama, que estuvo entre 15% y 30%, validando la selectividad de la máquina.

La cosecha asistida no requiere de modificaciones en los sistemas de producción, manejando densidades y edades según las recomendaciones técnicas de la FNC, por lo que no se necesitan inversiones nuevas en lotes que hayan sido bien trazados y que tengan variedades mejoradas desarrolladas por Cenicafé. Por su parte, un par de lonas tiene un costo a la fecha de \$375.000, superior al valor de un par de cocos nuevos (\$40.000), inversión que se compensa para el recolector con un mayor rendimiento de la labor, una mejor ergonomía durante la jornada de trabajo y una duración más prolongada de las lonas (más de cinco años), y que el productor puede amortiguar debido a una menor cantidad de mano de obra requerida en

Tabla 26. Márgenes de costo de recolección por kilogramo de frutos de café según la curva de isoingreso, cuando aumenta el rendimiento usando la derribadora DSC18, con referencia al costo por kilogramo de \$540, recolectado de manera tradicional.

| Aumento en kilogramos para un recolector promedio de 80 kg d ⁻¹ | Aumento en rendimiento (%) | Reducción del costo unitario (%) | Margen de costo de recolección por kilogramo (\$) |
|--|----------------------------|----------------------------------|---|
| 40 | 50 | 0 | 0 |
| 80 | 100 | 24 | 130 |
| 120 | 150 | 40 | 216 |
| 160 | 200 | 44 | 238 |



picos de cosecha, y a una recuperación casi total del café que caía al suelo, que trae como consecuencia una disminución de la infestación de broca.

Además de ser una ventaja económica para recolectores y productores, la cosecha asistida amplía la oferta de mano de obra, mejora las condiciones de la labor de recolección, y de acuerdo con los resultados de Sanz & Hincapié (2020), no afecta la calidad sensorial del café.

Cuando se aplica la cosecha asistida de café en una finca, la reducción promedio en los costos unitarios va a depender de las masas de café recolectadas, usando cada uno de los componentes de manera separada, o en combinación. De esta manera, tomando como ejemplo un lote de la zona central cafetera, con la aplicación de la retención de pases entre 30 y 31

días, se puede reducir el número de veces que se entra al lote durante el año, aunque la mayoría de las veces estas entradas corresponderán a pases de cosecha tradicionales con coco, contratando estos pases por jornal. Durante los dos pases más importantes de la cosecha de mitaca, se derribaría manualmente el café a lonas extendidas en el suelo, y durante la cosecha principal, habrá uno o dos pases donde adicionalmente a las lonas se podría hacer uso de la derribadora DSC18. Por lo tanto, la proporción de frutos recolectados con costos de cosecha tradicional con coco correspondería a 18,14%, con costos de cosecha manual con lonas sumaría un total de 39,30%, y con los costos de uso de la máquina derribadora representaría el 42,46%.

Una consecuencia adicional de la adopción de la cosecha asistida de café es la reducción en la necesidad de infraestructura para alojamiento y alimentación de trabajadores, disminuyendo aún más el costo unitario expresado en pesos por kilogramo. Así mismo, cabe esperar que con el aumento del rendimiento debido a una implementación creciente de la cosecha asistida, se incremente el ingreso y el bienestar físico de los recolectores, haciendo también más llamativa la labor como opción de ingresos en la zona rural, pero de manera simultánea se produzca un movimiento gradual hacia márgenes más amplios de negociación de contratos de recolección, que permitan disminuir el costo unitario para los productores o reducir las necesidades de mano de obra, en términos de número de recolectores.

La cosecha asistida es una opción para aumentar la rentabilidad de la caficultura en el componente más importante de los costos de producción, la recolección de frutos de café. La eficiencia de la mano

de obra se incrementa promoviendo un menor número de entradas a los lotes mediante la retención de pases, lo que aumenta la carga de frutos cosechables que puede ser recolectada por unidad de tiempo y por persona, complementada con el uso de lonas para recoger el café y de máquinas como la Derribadora DSC18, sin perder selectividad en los frutos recogidos y produciendo un grano de alta calidad, bajo las condiciones de clima, geografía y oferta laboral de Colombia.

Adoptar el beneficio ecológico

La adopción del beneficio ecológico permite al caficultor producir café con los estándares de calidad del café de Colombia, reduciendo las pérdidas en el proceso, gestionando los subproductos resultantes, minimizando el consumo de agua y, por lo tanto, disminuyendo los vertimientos a las fuentes de agua y al suelo (Roa et al., 1999; Rodríguez et al., 2021).

Mientras en el beneficio tradicional se requieren hasta 40 L de agua por kilogramo de café pergamino seco, con el beneficio ecológico se reduce el consumo ostensiblemente, hay menor requerimiento de mano de obra, se acortan los tiempos en el proceso y se obtienen mejoras en la conversión de café cereza a pergamino seco.

Las tecnologías generadas por Cenicafé permiten que el beneficio ecológico se pueda adoptar en todas las escalas de operación de la caficultura colombiana, así:

1. **Fincas con producción inferior a 1.000 kg café cereza en el día pico:** clasificación

hidráulica de la masa cosechada mediante el uso de la doble caneca (Oliveros et al., 2020), tolva seca o con recirculación de agua, fermentación natural y/o remoción del mucílago con el uso de enzimas, controlando el proceso con el fermaestro (Peñuela et al., 2013); lavado y clasificado del grano en tanques de fermentación, utilizando la técnica de los cuatro enjuagues (Zambrano, 1993).

2. **Predios con flujos superiores a 1.000 kg de café cereza en el día pico:** clasificación hidráulica con el uso del separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín (Oliveros et al., 2007), tolva húmeda y tanque sifón con recirculación; desmucilagadores (tecnología Becolsub) para remover el mucílago y/o enzima pectinolítica y lavadores mecánicos (tecnología Ecomill®), con bajo consumo de agua (inferior a 0,5 L kg⁻¹ de cps), minimizando los vertimientos (Oliveros, Sanz, et al., 2013).



En el caso del ahorro en consumo de agua (García, 2000), mediante cuatro estudios de caso llevados a cabo en fincas de caficultores del municipio de Manizales, que utilizaban diferentes tamaños de Becolsub, encontró que en promedio se ahorraron \$807,5³⁰ por arroba beneficiada en la tecnología Becolsub, de acuerdo al costo promedio por litro de agua empleado en el beneficio en estas fincas. Así mismo, los efectos de esta reducción en costos serán mayores si la cantidad de café beneficiado es también mayor. La Figura 34 muestra la simulación en ahorros expresados en pesos por finca y por año, debidos a la reducción en el consumo de agua en el beneficio, de acuerdo con la producción total de la finca, asumiendo que no se presenten economías de escala. Puede apreciarse que el ahorro en costos en el beneficio de café podría variar entre cerca de \$409.142 para 500 @ año⁻¹ por

fincas hasta \$8.182.842 en el caso de producir 10.000 @ año⁻¹ de cps por finca.

Pero también el Becolsub permite ahorros en mano de obra. En el mismo estudio de García, (2000) se encontró que con el uso del Becolsub se generaba una reducción en costos equivalente a \$419 por arroba beneficiada. La Figura 35 muestra esta simulación, observándose que el ahorro en costos en la mano de obra empleada en el beneficio de café podría variar entre cerca de \$212.425 para 500 @ año⁻¹ por finca, hasta \$4.248.491 en el caso de producir 10.000 @ año⁻¹ de cps.

Otra ventaja económica del beneficio ecológico, es que mediante el uso de esta tecnología se logra un consumo de agua menor a 1,0 L kg⁻¹ cps, con manejo de subproductos (pulpa, mucílago,

³⁰ Actualizados a pesos de 2020.

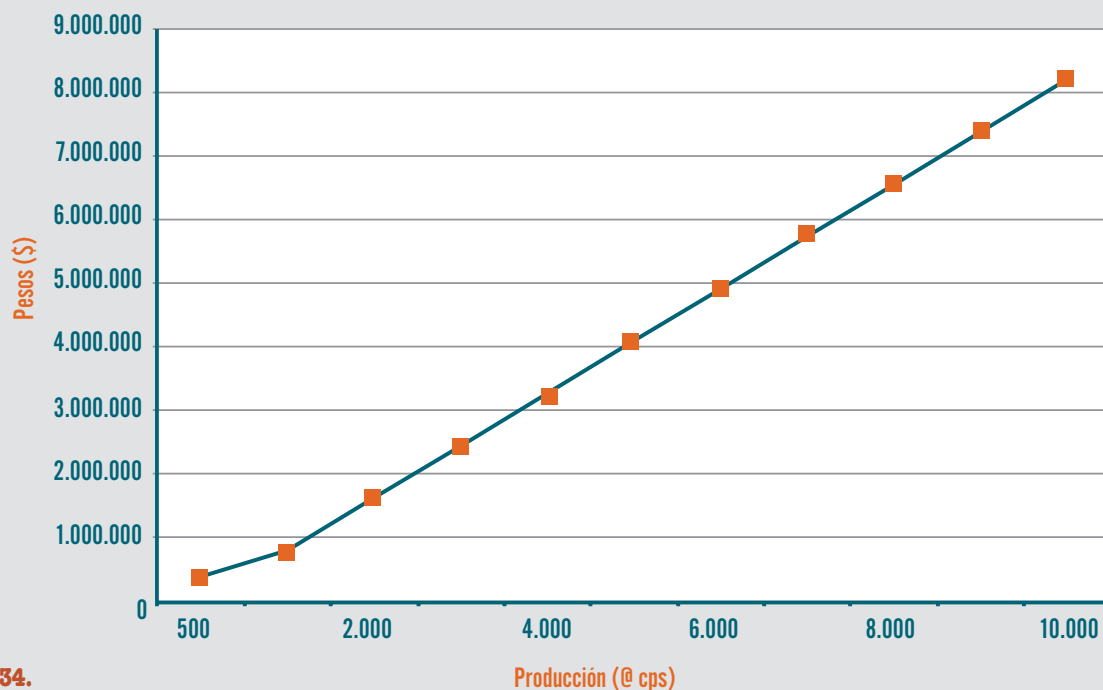


Figura 34. Ahorros en costos en el agua del beneficio, debidos al uso de la tecnología Becolsub.

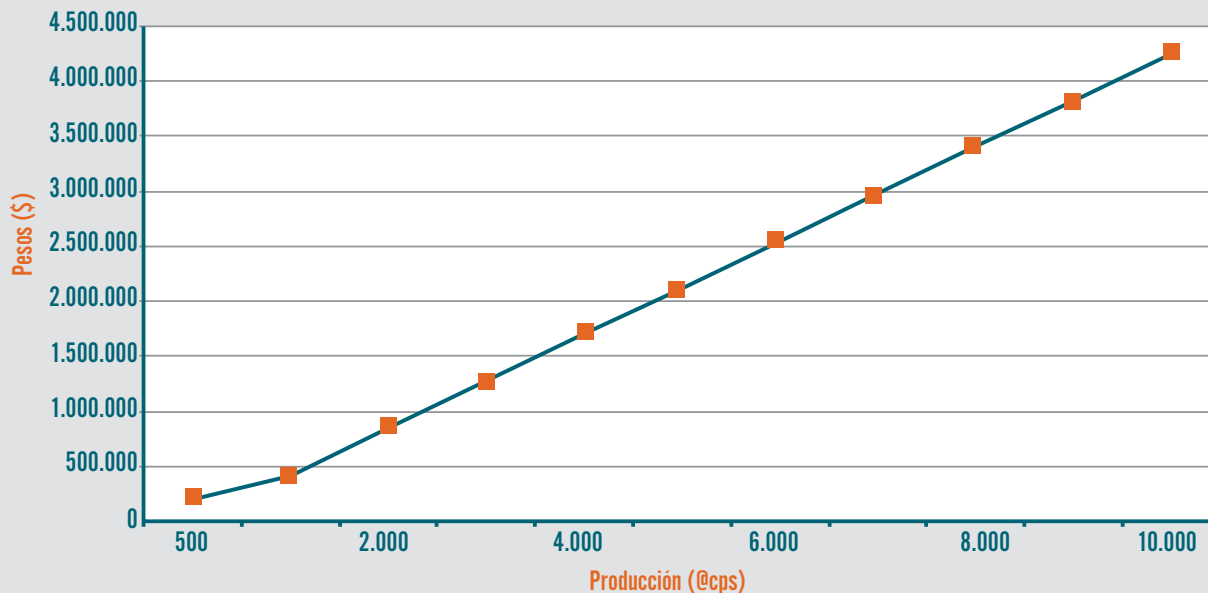


Figura 35. Reducción en costos de mano de obra, debidos al uso de la tecnología Becolsub.

aguas residuales) y reúso de las aguas residuales sin generación de vertimientos, obviando el requisito de ley de solicitar el permiso de vertimientos y el pago de la tasa retributiva.

En el mismo estudio de caso se estableció que por el ahorro adicional en los costos al evitar pagos de caracterizaciones de aguas y suelos, de visitas técnicas y de las tasas retributivas, se podrían asumir las inversiones que implica la transición hacia la implementación del beneficio ecológico sin generación de vertimientos.

Por las razones aquí expuestas, sin analizar las mejoras en conversión o los ingresos adicionales de los subproductos del beneficio, las ventajas económicas de la tecnología son amplias.

Calibrar los equipos de beneficio del café

Clasificación hidráulica de los frutos de café

La clasificación de los frutos de café es una etapa muy importante para iniciar el proceso de beneficio con la mejor materia prima posible y evitar daños a las máquinas que hacen parte del proceso. Por esta razón, es importante utilizar un dispositivo que, además de utilizar poca agua, sea eficaz y eficiente para la separación de frutos con problemas fitosanitarios (flotes), y las impurezas livianas y pesadas (Sanz et al., 2014; Oliveros et al., 2020). Con este procedimiento se mejora la conversión de café pergamino seco a almendra sana, es

decir, se evitan pérdidas ocasionadas por altos porcentajes de almendra defectuosa en el cálculo del factor de rendimiento. Adicionalmente, al remover objetos duros y densos se disminuye el daño a equipos como las despulpadoras.

Para ilustrar la magnitud del daño que puede causar un objeto duro (piedra) en una despulpadora, se plantea como ejemplo un desperfecto en los dientes de la camisa en un tramo de 1,0 cm², en una despulpadora con capacidad para 600 kg h⁻¹. El cilindro de la máquina gira a 180 rpm, esto quiere decir que el tramo mencionado pasa 180 veces en un minuto por el pechero, implicando la afectación de 180 frutos en un minuto. Si esta máquina trabaja cuatro horas en el día de mayor flujo, tiene el potencial de dañar 43.200 frutos, que sería el 3,6% de la masa total que pasa por la despulpadora ese día, en otras palabras, alrededor de 90,72 kg de café cereza, que equivaldrían a 18,44 kg de café pergamino seco con un valor de \$152.264³¹.



Despulpadora

Al ser una máquina que causa esfuerzos mecánicos sobre los frutos de café, existe la probabilidad de causar daños a los granos de café. La norma NTC20290 permite hasta 0,5% de granos trillados y 0,5% de granos mordidos durante esta labor. Cualquier aumento en estos valores puede generar pérdidas económicas significativas al caficultor. Por eso es importante tener este equipo en todos sus componentes en perfectas condiciones de funcionamiento y de limpieza.

Si la máquina despulpadora no está debidamente calibrada, un pechero más cercano al cilindro de lo adecuado, tiene la posibilidad de causar un daño superior al tolerado en esta etapa.

Durante el año 1998, se realizó una campaña sobre beneficio de café en el departamento de Caldas (Comité Departamental de Cafeteros de Caldas, Cooperativas de Caficultores de Caldas, 1998), con el propósito de ofrecer acompañamiento técnico en aspectos relacionados con el beneficio, calidad, contaminación y pérdidas en poscosecha. En relación con las pérdidas, se cuantificaron las relacionadas con daños o desajustes en las despulpadoras de café, enseñando a los caficultores la forma de estimarlas, así como también los procedimientos para reducirlas.

Las pérdidas se estimaron sobre una muestra de 2,0 kg de café cereza beneficiado, en un total de 2.405 fincas. La Tabla 27 describe las pérdidas promedio por kilogramos de café cereza, debidas únicamente a desajustes en los equipos de despulpado.

³¹ Precio de venta promedio año 2020, \$104.900/@ de cps.

De acuerdo con los factores de conversión del café (Uribe, 1977; Montilla et al., 2008), en términos de kilogramos de café pergamino seco, estas pérdidas equivaldrían al 2,25%, del total de la producción. Así, la pérdida debe expresarse en términos de ingreso dejado de percibir, pues este es un café que no llegaría al punto de venta y entonces su equivalencia corresponde a las arrobas que no son vendidas, debido a que se pierden en el proceso de beneficio. Por ejemplo, si un caficultor, estima recolectar 100 @ ha-año⁻¹ de cps, esto implicaría recolectar 6.250 kg

de café cereza; sin embargo, debido a problemas de calibración en los equipos de beneficio, se generan unas pérdidas del orden del 2,25%, que corresponden a perder 2,25 @ de cps, que tienen un valor de \$236.025 pesos por hectárea. Resulta evidente que, a mayor productividad del cafetal, las pérdidas potenciales pueden ser mayores.

La Figura 36 simula seis productividades, entre escenarios de pérdidas en beneficio, 2,25%, 3,00% y 4,00%. Por ejemplo, para

Tabla 27. Pérdidas promedio en el proceso de despulpado.

| Tipo de pérdida | Número de granos/kg de café cereza |
|-------------------------------|------------------------------------|
| Granos mezclados con la pulpa | 12,5 |
| Granos trillados o mordidos | 5,5 |
| Total de granos perdidos | 18 |

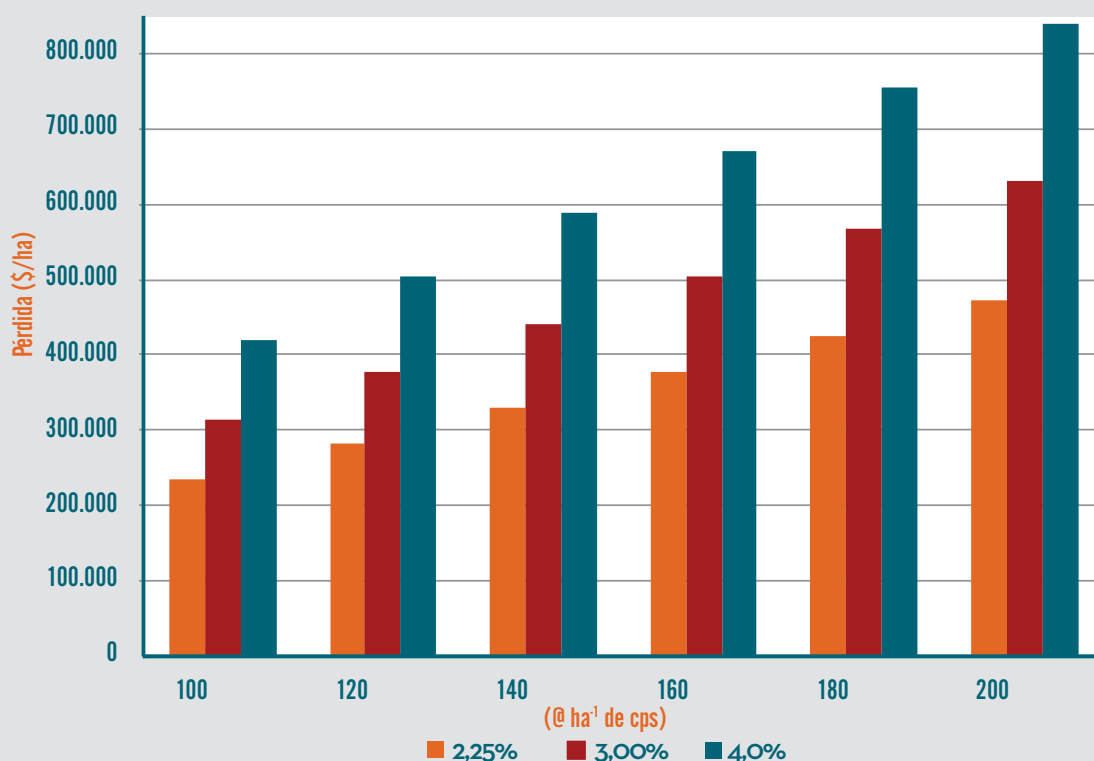


Figura 36.

Estimación de pérdidas, de acuerdo con la productividad por hectárea, originadas en el proceso de despulpado del café.



una productividad de 200 @ ha-año⁻¹, y el 4,00% de pérdida por equipos de despulpado descalibrados, podrían dejar de percibirse aproximadamente \$839.200 por hectárea al año. Entre ambos extremos se visualiza una serie amplia de situaciones que en todos los casos implican pérdidas significativas. Por lo tanto, es importante minimizar las pérdidas en el beneficio, mediante un adecuado mantenimiento y calibración de los equipos, decisión que al final incrementará el ingreso bruto por hectárea y, por ende, el margen bruto, favoreciendo el desempeño económico de la finca cafetera.

Zaranda

La clasificación por tamaño del café despulpado es otra etapa crítica del beneficio de café, pues es allí donde se separan los frutos que no son despulpados (verdes y secos) por falta de mucílago, que a su vez son los que causan mala calidad en la taza. Sin embargo, al ser una clasificación por tamaño, hay granos

buenos que van a acompañar a los rechazados y hay frutos sin despulpar que van a quedar en la masa de café de procesamiento principal. Para evitar pérdidas económicas en esta etapa es necesario evaluar el desempeño de la zaranda (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2020).

Remoción de mucílago

Es conveniente revisar con regularidad la calibración de los equipos lavadores (Becolsub y/o Ecomill), para garantizar que las cantidades de café y agua que llegan al equipo son las adecuadas y de esta manera evitar pérdidas por daño mecánico al presentarse mayor fricción de los granos o manchas en el café por remoción incompleta del mucílago en el lavado (Pabón et al., 2009; Oliveros, Sanz, et al., 2013). Es igualmente importante una minuciosa revisión para descartar aristas o bordes cortantes en las partes fijas y en las partes móviles, que generen daño mecánico a los granos de café.

Secar adecuadamente el café

El secado, además de ser el último proceso para la obtención de producto comercializable, es una de las etapas de mayor cuidado dentro del manejo del café, dada su relación con la causa de defectos de la calidad física, con consecuencias en la calidad en taza, principalmente cuando el proceso no se realiza bajo las condiciones operacionales recomendadas (Parra et al., 2017). Por otro lado, el secado es una de las etapas que mayor influencia tiene sobre la calidad, por eso fue considerado como una práctica clave y no negociable para obtener café de buena calidad durante el beneficio (Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé], 2018).

Debido a la importancia del secado, estudios realizados en Cenicafé han generado amplios conocimientos sobre este tema, desde secado solar (rotatorio, parabólico, túnel, carros secadores convencionales), herramientas para mover el café durante el proceso de secado, secado mecánico de café, (Roa M. et al., 2000), y uso de la energía solar en el secado del café (Roa et al., 2000; Oliveros, Peñuela, et al., 2009; Oliveros, Peñuela, et al., 2013).

Implicaciones económicas de vender café pergamino mojado

A pesar de la difusión en torno a la importancia del secado del café, durante los últimos años el comercio de café pergamino húmedo se ha incrementado significativamente. Bajo esta modalidad de venta de café se corren riesgos importantes al retrasarse el inicio del

secado, originándose problemas como los mencionados anteriormente, que deterioran la calidad del grano y, por lo tanto, la calidad de la bebida. La razón fundamental es que normalmente los compradores acopian el café húmedo y esperan hasta completar la capacidad de los silos secadores para iniciar el proceso de secamiento. Esta demora en el inicio del secado conduce al deterioro del café.

Análisis económicos sobre el secado del café han demostrado las ventajas económicas de realizar este proceso a nivel de finca (Duque et al., 2001), encontrándose las pérdidas derivadas de vender café pergamino húmedo. Por ejemplo, en el Plan 2.000 fincas del programa de Gestión Empresarial para 2020 se estableció que, en fincas del país, los costos del secado variaron entre \$1.403 y \$4.777 por arroba, incluyendo el costo del combustible (cisco, gas, carbón coke), energía eléctrica y mano de obra; se puede asumir que, en promedio el costo del secado mecánico, para ese año, estaría alrededor de \$3.250/@ de cps.

Para estudiar los efectos que tendría la venta de café pergamino mojado, se tomó el caso de una finca de la vereda Altagracia del municipio de Pereira, en la cual se analizaron siete pases de la cosecha principal del año 2001, comparando que ocurriría si este café se vendiera mojado o si preferiblemente se vendiera seco, tomando muestras de café de cada pase y estableciendo cuál sería la conversión, el precio pagado por arroba y el costo deducido para el secado.

En la actualización de los precios de compra de café mojado y la respectiva deducción por secado, se consultaron diferentes puntos de compra de los

municipios cafeteros de Risaralda y Caldas³³, encontrándose que el café mojado se compraba con una reducción de \$6.749 por arroba sobre el precio vigente en el mercado, por concepto del secado y asumiendo una conversión de 2 a 1 de café pergamino húmedo a seco. Como se muestra en la Tabla 28, esta conversión va en detrimento del productor, pues estaría recibiendo un ingreso correspondiente a 531,6 arrobas; sin embargo, en el caso de esta finca el caficultor decidió secar todo su café y luego venderlo, los resultados de esta operación son los indicados en la Tabla 29.

La Tabla 29 muestra diferencias importantes con los resultados de la

venta de café mojado. Por ejemplo, las conversiones son mejores, es decir, se requieren menores cantidades de café cereza por arroba de pergamino seco (conversión 59,5), que cuando se vende húmedo, lo cual significa mayor ingreso para el productor. Esto implicó necesitar 1,5 kg menos de café cereza para obtener una arroba de pergamino seco. Por esta razón al vender el café seco se obtuvieron 544,6 @ de cps, es decir, 13 @ cps más que si se hubiese vendido húmedo. En este ejercicio no se asumen posibles bonificaciones, que podrían ocurrir, sobre el precio oficial de compra por mejor calidad, de acuerdo con el factor de rendimiento, lo que no sucedería cuando se vende húmedo.

Tabla 28. Resultados esperados de la venta de café húmedo.

| Pase | Café cereza por pase (kg) | Café mojado (kg) | Café mojado (@) | Precio (\$/@ ³²) | Ingreso bruto (\$/pase mojado) |
|--------------|---------------------------|------------------|-----------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2.678 | 1.098 | 43,9 | 98.151 | 4.310.713 |
| 2 | 2.827 | 1.159 | 46,4 | 98.151 | 4.550.555 |
| 3 | 2.376 | 974 | 39,0 | 98.151 | 3.824.591 |
| 4 | 4.107 | 1.684 | 67,4 | 98.151 | 6.610.941 |
| 5 | 13.136 | 5.386 | 215,4 | 98.151 | 21.144.709 |
| 6 | 7.033 | 2.884 | 115,3 | 98.151 | 11.320.854 |
| 7 | 260 | 107 | 4,3 | 98.151 | 418.516 |
| Total | 32.417 | | 531,6 | | 52.180.880 |

Tabla 29. Resultados obtenidos de la venta de café seco³⁴.

| Pase | Café cereza (kg) | Café pergamino seco (kg) | cps vendido seco (@) | Precio (\$/@) | Ingreso Bruto (\$) |
|--------------|------------------|--------------------------|----------------------|---------------|----------------------|
| 1 | 2.678 | 562 | 45,0 | 104.900 | 4.719.493 |
| 2 | 2.827 | 594 | 47,5 | 104.900 | 4.982.079 |
| 3 | 2.376 | 499 | 39,9 | 104.900 | 4.187.272 |
| 4 | 4.107 | 862 | 69,0 | 104.900 | 7.237.848 |
| 5 | 13.136 | 2.759 | 220,7 | 104.900 | 23.149.836 |
| 6 | 7.033 | 1.477 | 118,2 | 104.900 | 12.394.397 |
| 7 | 260 | 55 | 4,4 | 104.900 | 458.203 |
| Total | 32.417 | | 544,6 | | 57.129.127,44 |

³² Precio interno promedio año 2020, @/mojado.

³³ Consulta a agosto 27/2020.

³⁴ Resultados reales de la operación de venta.

De esta manera, las ventajas de vender café seco son evidentes. En primer lugar, las mejores conversiones conducen a vender más café (más arrobas), y en segundo lugar se pueden lograr mejores precios de venta, por la calidad del café. Al comparar los dos sistemas de comercialización de café se observa una diferencia en ingreso bruto de \$4.948.248 a favor del café comercializado seco, diferencia que, al dividirla por 544,6 @ ventas secas, implicaría un ingreso bruto marginal de \$9.086 por unidad.

Con esta información, se pueden calcular los beneficios económicos derivados del secado, para lo cual se requieren dos datos básicos: en primer lugar, el costo unitario del secado y, en segundo lugar, el ingreso bruto adicional por cada arroba de café vendida seca, cifra ya conocida (\$9.086). De esta forma puede estimarse la utilidad unitaria del secamiento del café, mediante la Expresión <10>:

$$U_{@cps} = I_{@cps} - C_{@cps} \quad <10>$$

Donde:

$U_{/@cps}$ = Utilidad por arroba de cps vendida seca

$I_{/@cps}$ = Ingreso por arroba de cps vendida seca

$C_{/@cps}$ = Costo unitario del secado por arroba cps

Asumiendo que el costo promedio del secado por arroba corresponde a \$ 3.250, para diferentes tipos de combustible, entonces la utilidad neta por arroba sería:

$$U_{@cps} = \$9.086 - \$3.250 = \$5.836$$

Con esta información, puede estimarse la rentabilidad marginal del secado, teniendo en cuenta sólo los costos variables del proceso tal como se mencionó anteriormente, al asumirse que los equipos

de secado están ya depreciados. Para estimar la rentabilidad de secado, puede emplearse la expresión propuesta por Lopera & Lopera (1986) y modificada para este análisis (Expresión <11>):

$$R_s = \frac{I_{(N@cps)}}{C_{(@cps)}} * 100 \quad <11>$$

Donde:

R_s = Rentabilidad del secado del café.

$I_{mg/@cps}$ = Ingreso neto por arroba de café, vendida seca.

$C_{mg/@cps}$ = Costo variable del secado, por arroba cps.

Reemplazando por los valores promedio se tendría:

$$R = \frac{\$5.836}{\$3.250} * 100 = 180\%$$

Se observa entonces que el secado del café es una actividad muy rentable, y se justifica económicamente llevarla a cabo en la finca y no vender café mojado, a pesar de las razones que manifiestan los caficultores que así lo hacen. Bajo esta modalidad de comercialización, el productor está dejando de recibir un ingreso adicional que es muy importante para determinar la rentabilidad final del negocio.

El secado debe ser bien realizado

El secado es una actividad económicamente viable, que ofrece ventajas para el productor, sin embargo, este proceso debe realizarse en forma adecuada. Diagnósticos realizados por la Disciplina de Poscosecha de Cenicafe en Investigación Participativa con caficultores

en la validación de los métodos de medición de la humedad en secado solar y en silos (Gravimet), con la participación de 373 caficultores de los departamentos de Antioquia, Caldas, Huila, Quindío y Risaralda, determinaron que el 30% de los participantes sobresecaban su café al determinar el contenido de humedad de su café por métodos empíricos (Oliveros, Sanz, et al., 2009; Oliveros, Peñuela, et al., 2013).

Análisis sobre el contenido de humedad en 5.195 muestras de café pergamino seco recibidas en el panel de catación de Cenicafé, entre los años 2017 y 2021, establecieron tres categorías de contenido de humedad como se observa en la Figura 37.

De estas muestras, aquellas con humedad superior al 12% fueron rechazadas por

estar excedidas en humedad y, por lo tanto, fuera de normas. El 78,4% estuvo dentro de normas y no presentó ningún problema al momento del recibo en el punto de compra. Sin embargo, el 12,66% de las muestras estudiadas presentó contenidos de humedad inferiores al 10%, indicando un secado excesivo; para este grupo de muestras el análisis estadístico mostró los siguientes resultados (Tabla 30).

Al tomar la humedad media del grupo (7,55%), es claro que está por debajo del límite permisible, lo cual implica recibir \$3.915 (0,47 kg de cps) menos por arroba de café pergamino seco debido al secado excesivo, el cual es un margen importante. Con base en este análisis, se estimaron pérdidas potenciales derivadas del sobresecado, para valores de contenido de humedad desde 9,8% hasta 7,0%.

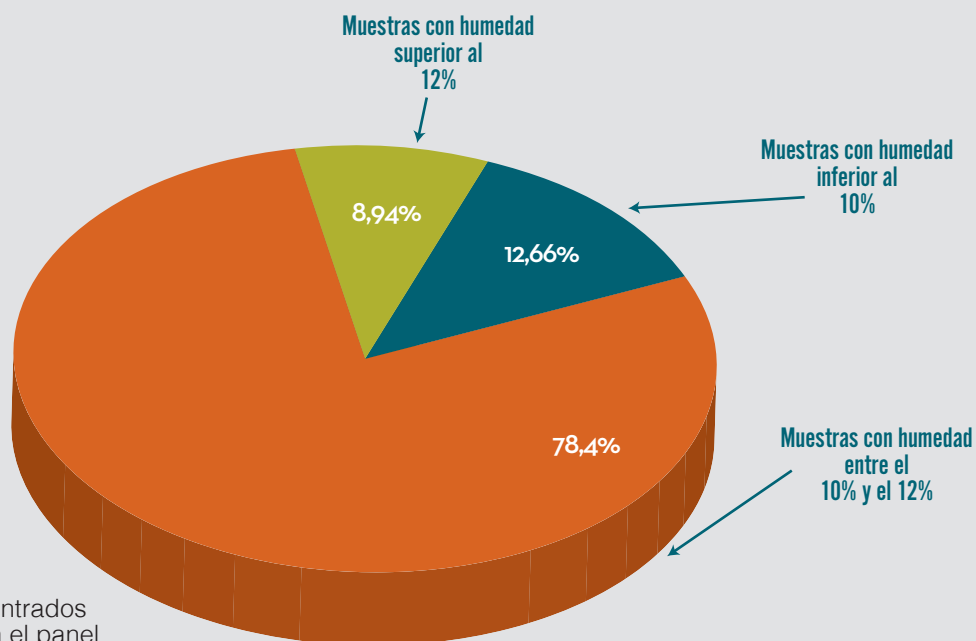


Figura 37. Contenidos de humedad encontrados en las muestras estudiadas en el panel de catación de Cenicafé (2017-2021).

Tabla 30. Características de humedad para el grupo de muestras con contenido inferior al 10%.

| Contenido | Humedad (%) |
|-----------|-------------|
| Mínima | 6,00 |
| Media | 7,55 |
| Máxima | 9,90 |

La Figura 38 describe las pérdidas por arroba para diferentes niveles de sobresecado. Se observa que al reducirse el contenido de humedad del café pergamino, desde el límite superior de recibo (12%) hasta el 7%; el valor de la pérdida por arroba varía desde \$1.364 para un 9,8% de humedad, hasta \$4.511 cuando el secado del grano llega al 7,0%. Se concluye así que, aunque lo ideal es vender el café seco, es fundamental realizar la labor de secado adecuadamente, monitoreándola con el Gravimet y evitar llegar a límites en los cuales el caficultor entre en un escenario de pérdida por sobresecado del café.

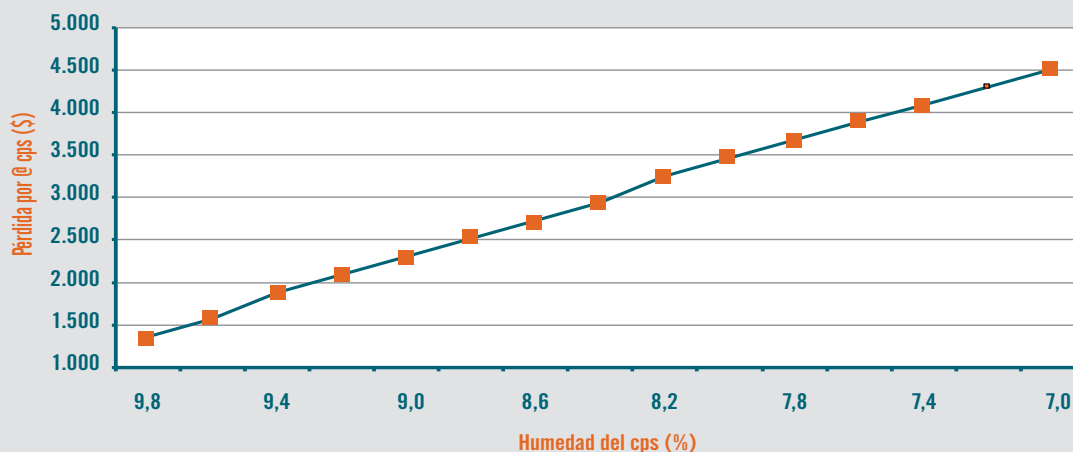


Figura 38. Valor de la pérdida por arroba, debido al exceso en el secamiento del grano.

Seleccionar el combustible más conveniente

La Figura 39 muestra la estructura de costos del secado de café destacándose el costo del combustible como el rubro con mayor participación en dicha estructura.

Con el propósito de reducir los costos del beneficio, el primer aspecto que debe analizarse es el costo del combustible, pues reducciones en este rubro tendrán el mayor impacto esperado, en comparación con los otros dos componentes de la estructura de costos. La combinación de la energía solar y el secado mecánico, logra

reducir el tiempo de secado entre 22% y 66%, reduciendo el consumo de energía eléctrica y combustible hasta en un 50% Oliveros, Sanz, et al. (2009).

Para determinar el costo del combustible empleado, la aplicación “Indicadores de rendimiento de mano de obra en el cultivo de café” (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2019) contiene los indicadores de mano de obra en el beneficio de café a diferentes escalas de operación y las necesidades de combustibles para el secado mecánico del café, que se resumen en la Tabla 31.

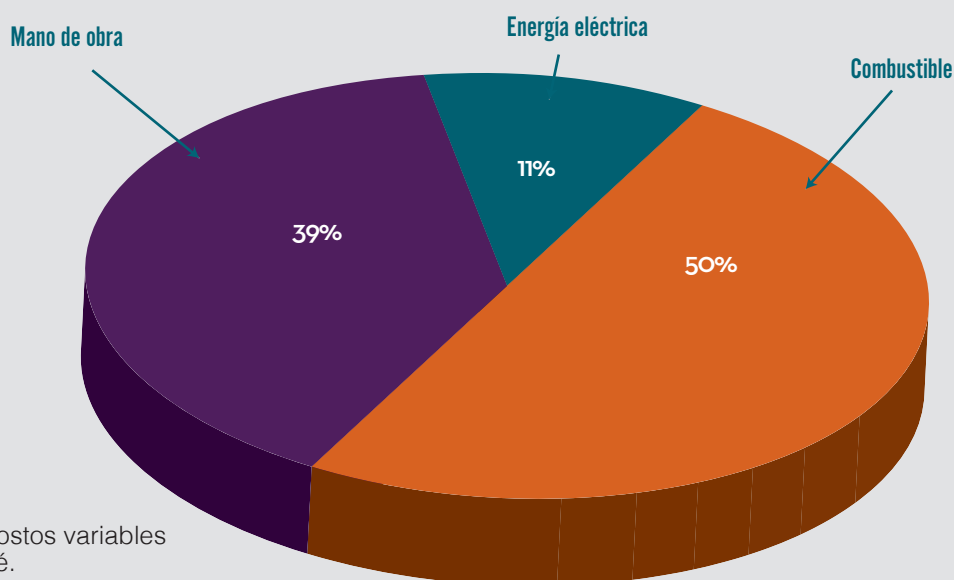


Figura 39. Estructura de los costos variables del secado del café.

Tabla 31. Costos del secado del café, de acuerdo con el tipo de combustible³⁵.

| Combustible | Consumo de combustible por arroba | | | Costo del combustible (\$/@) | | |
|-------------|-----------------------------------|-------|--------|------------------------------|-------|--------|
| | Mínimo | Medio | Máximo | Mínimo | Medio | Máximo |
| Coque (kg) | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 800 | 1.000 | 1.200 |
| Cisco (kg) | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 600 | 750 | 900 |
| Gas (Lb) | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1.950 | 2.080 | 2.210 |

³⁵ App Indicadores de rendimiento de mano de obra en el cultivo del café. 2021.

Es importante considerar el costo de los equipos de secado y explorar el empleo del secado combinado que permite hacer uso de equipos de menor capacidad estática y dinámica, considerando la contribución del secado solar. De esta forma es posible disminuir el costo del silo (inversión y operación) y utilizarlo de manera más eficiente y económica durante el año, realizando en la medida de las posibilidades el presecado del café con energía solar Oliveros, Sanz, et al. (2009).

Producir alimentos en los cafetales

La rentabilidad es un factor determinante para el caficultor al momento de tomar la decisión de establecer o no cultivos intercalados en las calles del cafetal, ya que su principal interés es tener un flujo

positivo de ingresos adicionales, sin que se afecte la productividad del café. Otros factores que influyen en la adopción de la práctica de intercalamiento están relacionados con la disponibilidad de capital, los rendimientos alcanzables, los costos de producción, la facilidad de comercialización, el precio de venta y los riesgos asociados al aprovechamiento de nuevos cultivos.

Después de realizar una siembra nueva o una renovación por siembra o por zoca, los cultivos intercalados representan una buena opción para reducir los costos de establecimiento del cafetal, pues al tener un ciclo corto (maíz 145 días de siembra hasta cosecha y frijol 70 días de siembra hasta cosecha), ofrecen un rápido retorno económico de la inversión y aumentan la eficiencia de la mano de obra al compartir labores que benefician a ambos cultivos.



En lo que se refiere a la intensidad de la producción de los cultivos intercalados, las investigaciones de Cenicafé han demostrado que es factible sembrar hasta dos ciclos de maíz y hasta tres de frijol durante la etapa de levante sin que se afecte la producción de café (Mestre & Salazar, 1989b; Moreno, 2005). Esta alternativa fortalece la economía de las familias cafeteras siempre y cuando se obtengan producciones competitivas que garanticen la obtención de ingresos adicionales a través del tiempo.

En la Figura 40 es posible observar el comportamiento de los costos de producción y los ingresos con diferentes niveles de productividad y un precio de venta intermedio.

Es importante resaltar que los principios de la estrategia “Más Agronomía, Más Productividad, Mas Calidad” aplicados en los sistemas de producción de café, son

válidos en los cultivos intercalados de maíz y de frijol, donde las labores agronómicas deben realizarse oportunamente para garantizar la expresión de todo su potencial productivo (Jaramillo & Salazar, 2021).

El comportamiento de los costos de producción para los diferentes niveles de productividad es similar para frijol y para maíz (Tabla 32), con diferencias representadas en los costos variables de recolección y beneficio, en los que se incurre con las mayores productividades; las labores agronómicas y el valor de los insumos son similares, de esa manera el costo unitario observa una relación inversa con la productividad: a mayor productividad menor es el costo del kilogramo de maíz y/o frijol producido. La línea de ingresos presenta una mayor pendiente con el mismo precio de venta para todos los niveles de productividad, el margen de contribución por kilogramo es menor en los niveles más bajos de productividad, situación

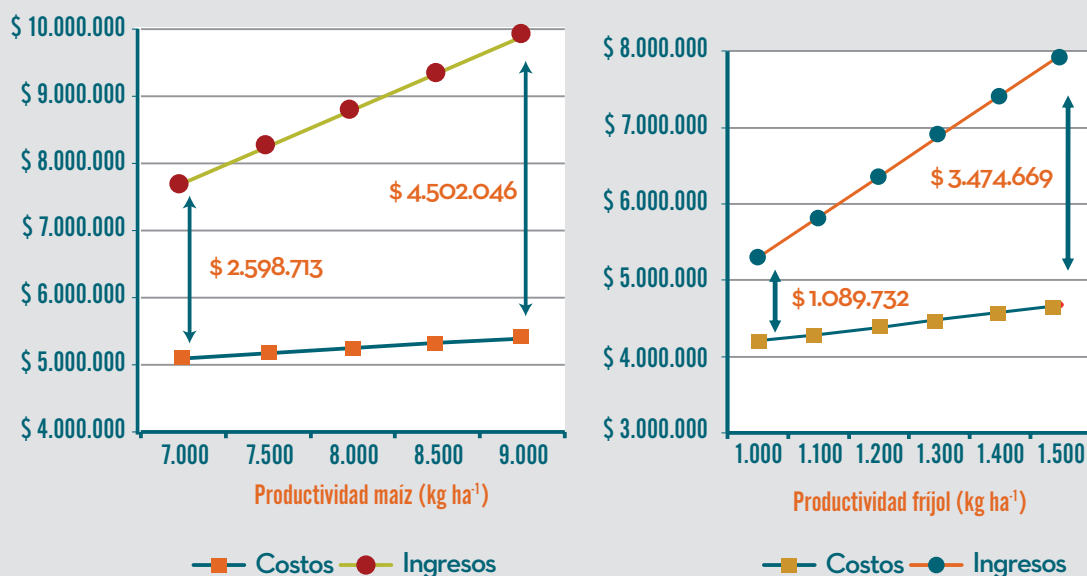


Figura 40.

Comportamiento de los costos de producción y los ingresos en función de diferentes niveles de productividad de maíz (izq.) y frijol (der.)

Tabla 32. Análisis económico de la producción maíz y frijol en la Estación Experimental La Catalina.

| Variable | Frijol intercalado (ha) | Maíz intercalado (ha) |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Mano de obra | \$ 2.730.000 | \$ 3.279.667 |
| Insumos | \$ 1.487.268 | \$ 1.969.954 |
| Total costos (a) | \$ 4.217.268 | \$ 5.249.621 |
| Producción (kg ha ⁻¹) | 1.200 | 8.000 |
| Precio venta (\$ kg) | \$ 5.300 | \$ 1.100 |
| Ingreso bruto (b) | \$ 6.360.000 | \$ 8.800.000 |
| Utilidad/lote (b - a) | \$ 2.142.732 | \$ 3.550.379 |
| Rentabilidad (%) | 51% | 68% |

que explica la diferencia en la utilidad por hectárea entre los diferentes rendimientos.

Usar herramientas de registro y análisis de costos

Para el caficultor que pretende tener una finca organizada y realizar una adecuada gestión empresarial, es necesario contar con herramientas que le permitan tomar decisiones oportunas, basadas en datos reales y, por lo tanto, resulta fundamental el registro de actividades, costos y su análisis económico posterior.

Para esta labor administrativa, la FNC y Cenicafé han desarrollado diversos mecanismos basados en estructuras de costos unificadas que permiten realizar seguimientos y referenciacines con otros caficultores y frente a promedios regionales o nacionales. Estas herramientas, que incluyen software, cuadernos de registro, libretas, afiches, aplicaciones para dispositivos móviles, entre otros, son de gran utilidad y aplicabilidad siempre y cuando la calidad de la información recolectada sea óptima.

Dentro de un ciclo PHVA (Planear – Hacer – Verificar – Actuar) para una adecuada administración, los registros son indispensables, puesto que permiten obtener medidas de indicadores que, como un tablero de control de un vehículo, emiten alertas para la toma de decisiones oportunas o para una mejora continua hacia el futuro.

En la **planeación** del ejercicio económico los registros permiten realizar presupuestos, cronogramas y, en general, proyecciones ajustadas a la realidad y a las particularidades de cada finca, así como proponer metas y acciones en los indicadores que se identifiquen con oportunidades de mejora. En el **hacer**, los registros permiten realizar un seguimiento a lo planificado y ajustar lo necesario para alcanzar las metas y acciones propuestas. En la etapa de control (**verificar**) es necesario consolidar los registros, hallar indicadores, compararse consigo mismo y con otros referentes. Finalmente, en el **actuar** se toman decisiones como: adoptar las prácticas investigadas por Cenicafé, que se detallan en este libro, para la optimización de costos, así como las prácticas de la estrategia “Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad”.



Consideración final



En los últimos 60 años, la caficultura colombiana ha presentado importantes cambios en la estructura de los sistemas de producción de café. En otros términos, se ha logrado una notable modernización de la caficultura, que se puede visualizar a través de dos aspectos muy claros.

De un lado, los cambios agronómicos, pues Colombia hizo una transición de una **caficultura tradicional**, sustentada en variedades de porte alto y susceptibles a la roya del cafeto, sembradas bajo sombrío abundante, con bajas densidades de población y creciendo, fundamentalmente, en un entorno libre de los problemas sanitarios más importantes del cultivo, la roya y la broca, a una **caficultura tecnificada**, con variedades de porte bajo y resistentes a la roya, creciendo a plena exposición solar o con un sombrío regulado, con altas densidades de siembra, alto uso de fertilizantes, pero con la presión constante de la roya y la broca, problemas sanitarios que llegaron al país en 1983 y 1988, respectivamente. En esa transición, uno de los resultados más relevantes ha sido el incremento en la productividad del cultivo, expresada en sacos de café verde por hectárea al año, soportada actualmente en una caficultura con sistemas de producción, jóvenes, resistentes a la roya y resilientes a la variabilidad climática, es decir, más sólidos.

De otro lado, también ha habido cambios importantes desde la perspectiva ambiental y, especialmente, en un recurso natural no renovable, como es el agua. En el pasado, el consumo de agua en la fase de poscosecha del café era muy alto (cercano a 40 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco), con el conocido impacto ambiental negativo;

en la actualidad, con las tecnologías disponibles se ha abierto una ventana de ahorro significativo en el agua empleada en la poscosecha, pues el consumo ha disminuido, potencialmente, en más del 90%, lo cual conduce a un aporte crucial en la sostenibilidad de la caficultura nacional.

Esta transformación paulatina en los sistemas de producción, ha sido el resultado de múltiples investigaciones científicas adelantadas por Cenicafé, del cambio técnico logrado por efecto de la transferencia realizada por el Servicio de Extensión, y de la articulación institucional de la Federación Nacional de Cafeteros, que representó un salto en la producción

nacional (Figura 41), pasando de 7,5 millones de sacos anuales en promedio de 1956 a 1976, a un promedio de 11,6 millones de sacos en el período de 1978 a 2014, aunque con amplias variaciones de un año al otro (FNC, 2021)³⁶.

Para 2021, Colombia completará un período de 7 años continuos con producciones que variaron dentro de un 5%, de un promedio de 14,02 millones de sacos, algo excepcional, al estar en la parte alta del rango histórico de la producción nacional de café, situación que ha coincidido con reducciones notables en el área en café, llegando a menos de 850 mil hectáreas, pero también por la ocurrencia de diversas

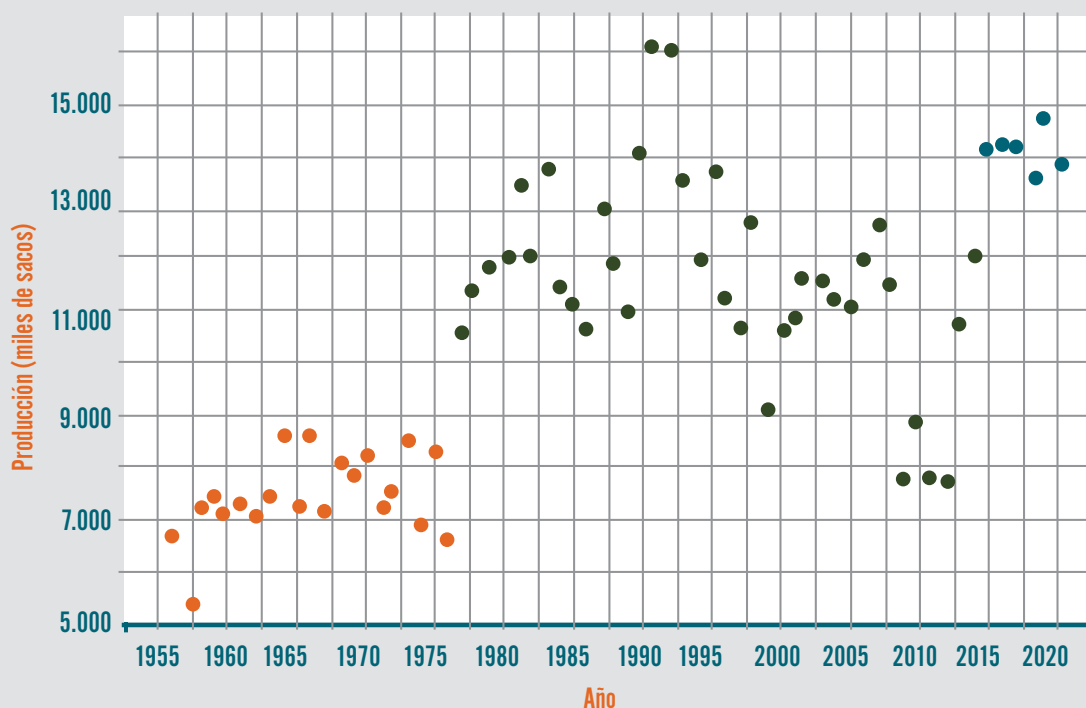


Figura 41.

Producción colombiana de café entre 1956 y 2020. Hasta mediados de la década de 1970 (rojo), con prevalencia de caficultura tradicional, para cambiar hacia la caficultura tecnificada por el efecto del cambio técnico (verde), aunque con grandes variaciones interanuales, hasta el período 2015 – 2020, con producción estable (azul).

³⁶ <https://federaciondefeteros.org/wp/estadisticas-cafeteras/>

expresiones del fenómeno de ENSO (El Niño Oscilación del Sur), períodos Neutros alternados por eventos El Niño y La Niña. Es claro que este incremento en la producción nacional ha sido el resultado del aumento de la productividad en la finca, a través de unos mejores sistemas de producción de café.

El aumento en la productividad en la finca es la vía más directa para aumentar los ingresos brutos de la finca y reducir el costo unitario de producción y, por lo tanto, el camino para aumentar el margen neto que determina la rentabilidad; es evidente que incrementar las densidades, reducir las edades promedio de las plantaciones mediante renovaciones, y sembrar variedades resistentes a la roya, son acciones fundamentales para obtener más sacos de café verde por hectárea. Estas acciones, acompañadas del uso de colinos de origen conocido, las siembras o renovaciones en las épocas correctas, la corrección de la acidez del suelo, la nutrición apropiada y el manejo de la luminosidad, conforman los componentes fundamentales de la estrategia “Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad”, de la Gerencia Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros, y junto con el manejo integrado de plagas, enfermedades y arvenses, comprenden las prácticas recomendadas para el correcto manejo agronómico de la finca.

Sin embargo, además de conocer las tecnologías apropiadas, la productividad implica la toma de decisiones correctas y oportunas por parte del caficultor para realizar inversiones en insumos y en labores, de manera que impacten la respuesta biológica del cultivo, mejoren la valoración del café pergamino seco que se comercializa, y afecten de la menor manera al medioambiente. Es por esto que, es importante tener conocimiento

de la eficiencia económica de los costos asociados a las prácticas agronómicas.

Este documento ha analizado las ventajas económicas y agronómicas de un conjunto de tecnologías que se focalizan en mejorar el desempeño económico de las fincas cafeteras que las establezcan. Así, al analizar la estructura de costos de producción de café (Federación Nacional de Cafeteros, 2021), se observa como para cada componente de dicha estructura existen una o varias prácticas dirigidas a optimizar desde el punto de vista agronómico los recursos empleados en cada uno de los componentes (Figura 42).

En este sentido, hay aspectos que deben ser destacados. En primer lugar, recordar que las prácticas que impactan la agronomía del cultivo incrementan su productividad y, por lo tanto, el ingreso, por el mayor volumen de café generado. Lo segundo es que la recolección y la poscosecha del café representan un porcentaje alto de los costos (46%), que de ejecutarse apropiadamente, van a redundar en una mejor calidad y un mayor valor agregado, y donde el desempeño económico tendrá una consecuencia importante en el margen neto final.

Finalmente, debe tenerse en cuenta que estas prácticas o tecnologías para la producción de café, al incorporarse a los diferentes sistemas de producción, deben adaptarse de manera estable y consistente para así mejorar el desempeño económico de las fincas cafeteras a lo largo del tiempo. De esta manera, paralelamente se elevan las condiciones de competitividad y productividad de los caficultores colombianos dentro de un contexto de sostenibilidad económica, representada por su mayor rentabilidad, y con ella soportando la sostenibilidad ambiental y social. Cuando el mercado es variable y

los precios del café son bajos, el caficultor debe acertar en las prácticas a adoptar, buscando que a través de ellas se perfilen

las mejores posibilidades económicas de la producción cafetera.

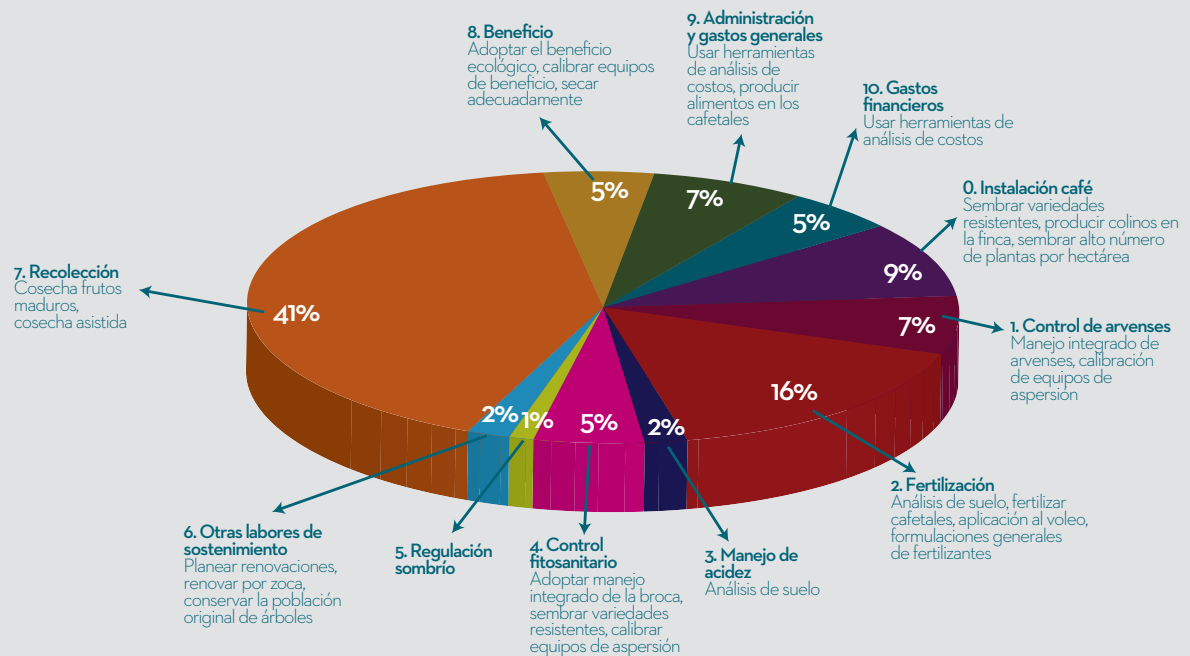


Figura 42. Estructura de costos de producción de café y prácticas que mejoran el desempeño económico de la finca cafetera.

Literatura citada

Alvarado, G., Posada, H. E., & Cortina, H. A. (2005). Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. *Avance Técnico Cenicafé*, 337, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/401>

Alvarado, G., Moreno, E., Montoya, E. C., & Alarcón, R. (2009). Calidad física y en taza de los componentes de la variedad Castillo y sus derivadas regionales. *Revista Cenicafé*, 60(3), 210–228. <http://hdl.handle.net/10778/127>

Alvarado, G., Posada, H. E., Cortina, H. A., Duque, H., Baldi3n, J. V., & Guzmán, O. (2005). La Variedad Castillo Naranjal para las regiones cafeteras de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle. *Avance Técnico Cenicafé*, 338, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/413>

Alvarado, G., & Puerta, G. I. (2002). La variedad Colombia y sus características de calidad física y en taza. *Avance Técnico Cenicafé*, 303, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/559>

Álvarez, A., & Sánchez, B. E. (2011). Costos y métodos de costeo. Aplicación y análisis para el sector agropecuario. Universidad Nacional de Colombia.

Araque Salazar, H., & Duque, H. (2019). Variables agronómicas determinantes de la productividad del cultivo de café en fincas del departamento de Caldas. *Revista Cenicafé*, 70(1), 81–92. <https://doi.org/10.38141/10778/70106>

Arcila, A. (2016). Insecticidas químicos recomendados para el control de la broca del café. *Brocarta*, 49, 1–2. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/brocartas/publicaciones_brocarta_049_insecticidas_quimicos_recomendados_para_el_contr

Arcila, A., Duarte, A. F., Villalba, D. A., & Benavides Machado, P. (2013). Nuevo producto en el Manejo Integrado de la Broca del Café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 437, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/477>

Aristizábal, C., & Duque, H. (2007). Análisis económico del efecto de la roya en la variedad caturra y progenies con resistencia incompleta. *Revista Cenicafé*, 58(3), 167–184. <http://hdl.handle.net/10778/184>

Bayer Crop Science. (2018, abril 9). 5 razones para calcular los costos de producción. Asesoramiento y experiencia sobre cultivos. <https://cropscience.bayer.co.uk/blog/articles/2018/09/why-calculate-cost-of-production/>

Becker, M. H., & Nelson, A. G. (1987). *Farm business management* (3.a ed.). Macmillan Publishing Company.

Benavides Machado., P. (2013). Aciertos y desaciertos en las prácticas de renovación de cafetales infestados por broca. *Brocarta*, 48, 1-2. <https://www.cenicafe.org/es/publications/brc048.pdf>

Benavides Machado, P., Ángel, C. A., & Rivillas, C. A. (2021). Sanidad vegetal. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3a ed., pp. 133–178). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_9

Berger, A. (2011). Calculating Unit Costs of Production and Using the Information for Enterprise Analysis and Decision Making on the Ranch. *Range Beef Cow Symposium*, 22, 1-9. <https://digitalcommons.unl.edu/rangebeefcowsymp/282/>

Bharati, T., & Gupta, K. (2018). Job Stress and Productivity: A Conceptual Framework. *International Journal of Emerging Research in Management and Technology*, 6(8), 393.

Biscay, M. (2007, julio 6). Le progrès technique [Economie-sociologie]. *SkyMinds.Net*. <https://www.skyminds.net/le-progres-technique/>

Bravo-Ureta, B. E., & Pinheiro, A. E. (1997). Technical, economic, and allocative efficiency in peasant farming: Evidence from the dominican republic. *The Developing Economies*, 35(1), 48–67. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1049.1997.tb01186.x>

Bustillo, A. E. (2007). El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé*, 24, 1–40. <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot024.pdf>

Camacho Villota, W. A., Barros, J. M., Crespo, N. M., & Mejía, J. T. (2020). Medición de la productividad en la actividad agrícola. 5, 80-90. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4725768>

Casavant, K., & Infanger, C. (1984). *Economics and Agricultural Management: An Introduction*. Reston Publishing.

Castro, B. L. (1999). Las llagas del cafeto. *Avance Técnico Cenicafé*, 268, 1–8. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/avances_tecnicos/avance_tecnico_0268

Castro, B. L., Duque, H., & Montoya, E. C. (2003). Pérdidas económicas ocasionadas por la llaga macana del cafeto. *Revista Cenicafé*, 54(01), 63–76. <http://hdl.handle.net/10778/272>

Castro, B. L., & Montoya, E. C. (1997). El zoqueo de los cafetales y su relación con la infección por Llaga macana. *Avances Técnicos Cenicafé*, 240, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0240>

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. CIMMYT. <http://hdl.handle.net/10883/1063>

Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé]. (1998). Doce maneras de mejorar los ingresos en las fincas cafeteras. *Avances Técnicos Cenicafé*, 255, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0255>

Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé]. (2001). Informe Anual Cenicafé 2001. <https://doi.org/10.38141/10783/2001>

Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé]. (2018). Guía más agronomía, más productividad, (2.a ed.). Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/GuiaMasAgronomia.pdf>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2021). Guía más agronomía, más productividad, más calidad (3a ed.). Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0014>

Colman, D., & Young, T. (1992). *Principles of agricultural economics: Markets and prices in less developed countries*. Cambridge University Press.

Cordera Campos, R. (2017). Santiago Levy, Ensayos sobre el desarrollo económico y social de México, México, Fondo de Cultura Económica. *El Trimestre Económico*, 73(289), 197–206. <https://doi.org/10.20430/ete.v73i289.558>

de Alcântara, J. N., Pereira, S. P., & de Alcântara, E. N. (2009). Coeficientes técnicos e análise dos custos do manejo do mato em cafeeiros. En *Consórcio Pesquisa Café e Desenvolvimento do Café (Organizador)*, VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Vitória, Espírito Santo, Brasil. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/2701>

Debertin, D. L. (2012). *Agricultural production economics* (2.a ed.). Pearson.

Díaz-Poveda, V., & Sadeghian, S. (2020). Calidad de las enmiendas para corregir la acidez del suelo en la zona cafetera de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 516, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0516>

Doll, J. P., & Orazem, F. (1992). *Production Economics: Theory with Applications* (2.a ed.). Krieger Pub Co.

Doss, C. R. (2018). Women and agricultural productivity: Reframing the Issues. *Development Policy Review*, 36(1), 35–50. <https://doi.org/10.1111/dpr.12243>

Duque, H. (2000, mayo 1). Economics of coffee berry borer /*Hypothenemus hampei*/ in Colombia. *International Coffee Berry Borer IPM Workshop*, Columbus, Ohio.

Duque, H., & Bustamante, F. J. (2002). Determinantes de la productividad del café. Cenicafé.

Duque, H. (2004). *Cómo reducir los costos de producción en la finca cafetera*. (2.a ed.). Cenicafé.

Duque, H., Castro, B. L., & Montoya, E. C. (2003). Importancia económica de la llaga macana del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé*, 314, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0314>

Duque, H., & Chaves, B. (2000). Estudio sobre adopción del manejo integrado de la broca del café. *Cenicafé*.

Duque, H., Saldarriaga, F., López, J. J., & Oliveros, C. E. (2001). Economía del secado de café; un estudio de caso. *Avances Técnicos Cenicafé*, 286, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0286>

Ellis, F. (1993). *Peasant economics: Farm households and agrarian development* (2nd ed). Cambridge University Press.

Farfán, F., & González, G. F. (2020). Densidades y ciclos de renovación del café en un sistema agroforestal en el departamento de Norte de Santander. *Revista Cenicafé*, 71(2), 66–72. <https://doi.org/10.38141/10778/71205>

Flinn, J.C, Jayasuriya, S.K., & Maranan, C. (1984). Enterprise, partial and parametric budgets. En *International Rice Research Institute* (Ed.), *Basic procedures for agroeconomic research*. (pp. 31-46). International Rice Research Institute.

Flórez, C. P., Maldonado, C. E., Cortina, H. A., Moncada, M. P., Montoya, E. C., Ibarra, L. N., Unigarro, C. A., Rendón-Sáenz, J., & Duque-Orrego, H. (2016). Cenicafé 1: Nueva variedad de porte bajo, altamente productiva, resistente a la roya y al CBD, con mayor calidad física del grano. *Avances Técnicos Cenicafé*, 469, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4178>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2019). App Indicadores de rendimiento de mano de obra en el cultivo del café (Versión 1.0.4,db-1_0_1) [Aplicación móvil]. Google play. https://play.google.com/store/apps/developer?id=FNC&hl=es_CO&gl=US

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2020). App para el monitoreo del proceso de beneficio del café CENICAFÉ Más Calidad (Versión 1.0.9) [Aplicación móvil]. Google Play. https://play.google.com/store/apps/details?id=org.cenicafe.app.calidad&hl=es_CO&gl=US

Gaitán, A. L., Villegas, C., Rivillas, C. A., Hincapié, E., & Arcila, J. (2011). Almácigos de café: Calidad fitosanitaria, manejo y siembra en el campo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 404, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/350>

García, S. M. (2000). Estudios de casos para determinar los costos del beneficio tradicional y el becolsub. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Colombia.

Gómez, A., & Rivera, H. (1993). La conservación de los suelos y la sostenibilidad de la productividad en la zona cafetera. *Avances Técnicos Cenicafé*, 190, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0190>

Gómez, A., & Rivera, H. (1994). Recomendaciones para establecer el manejo integrado de malezas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 204, 1-4. <https://doi.org/10.38141/10779/0204>

Gómez, D. S., & Castro, B. L. (2004). El aplicador de contacto: Herramienta eficaz para el manejo de la llaga macana del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé*, 319, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0319>

González-Osorio, H., & Sadeghian, S. (2019). Fraccionamiento de la fertilización en el cultivo del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 506, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0506>

Guarín, C. M. (2004). Perspectivas de producción de fincas cafeteras del departamento de Risaralda bajo el actual entorno del sector [Tesis de Maestría]. Universidad Tecnológica de Pereira.

Harrington, L. (1982). Ejercicios sobre el análisis económico de datos agronómicos. (Cuaderno de trabajo, p. 69). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. <http://hdl.handle.net/10883/824>

Hincapié, E., & Salazar, L. F. (2007). Manejo integrado de arvenses en la zona cafetera central de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 359, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/379>

Irwin, G. (1976). Committee on Agricultural Production Efficiency. *Agricultural Production Efficiency*. *American Journal of Agricultural Economics*, 58, 606–607.

Janvry, A., Graff, G., Sadoulet, E., & Zilberman, D. (2005). Technological Change in Agriculture and Poverty Reduction: The Potential Role of Biotechnology. En J. Cooper, L. M. Lipper, & D. Zilberman (Eds.), *Agricultural Biodiversity and Biotechnology in Economic Development* (pp. 361–386). Springer US. https://doi.org/10.1007/0-387-25409-9_17

Jaramillo, A. (2016). Épocas recomendadas para la siembra del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 465, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0465>

Jaramillo, S., & Salazar, H. M. (2021). Cultivos intercalados: Una alternativa para aumentar los ingresos y la sostenibilidad de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 534, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0534>

Kareem, M. A. (2014). Farming systems approach (Study Material). National Institute of Agricultural Extension Management. <https://www.manage.gov.in/studymaterial/FSA-E.pdf>

Lopera, J., & Lopera, H. (1986). Manual de análisis socioeconómico de resultados de ajuste de tecnología. (Núm. 37; Manual de Asistencia Técnica, p. 99). Instituto Colombia Agropecuario ICA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/23575>

López-Franco, F., Laiton-Jiménez, L. A., & Machado, P. B. (2019). Validación del manejo integrado de *Hypothenemus Hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae) en el Huila, Colombia. *Revista Cenicafé*, 70(2), 91–97. <https://doi.org/10.38141/10778/70208>

Mechri, A., Lys, P., & Cachia, F. (2017). Productivity and Efficiency Measurement in Agriculture (Improve Agricultural and Rural Statistics at the Statistical Division). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/ca6428en/ca6428en.pdf>

- Mestre, A. (1979). La desyerba de los cafetales produce ganancias. *Avances Técnicos Cenicafé*, 087, 1-2. <http://hdl.handle.net/10778/879>
- Mestre, A. (1992). Algunas consideraciones sobre manejo de cafetales (Informe de disciplina, p. 31). Cenicafé.
- Mestre, A. (1996). Respuesta del café bajo sombra a la fertilización. *Avances Técnicos Cenicafé*, 231, 1-4. <https://doi.org/10.38141/10779/0231>
- Mestre, A., & Arboleda, C. (1999). Aumente la densidad de población de los cafetales y la productividad, sin costos adicionales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 263, 1-4. <https://doi.org/10.38141/10779/0263>
- Mestre, A., & Ospina, H. F. (1994). Estabilización de la producción en las fincas cafeteras. *Avances Técnicos Cenicafé*, 200, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/1060>
- Mestre, A., & Ospina, H. F. (1994). Manejo de los cafetales para estabilizar la producción en las fincas cafeteras. *Avances Técnicos Cenicafé*, 201, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/1061>
- Mestre, A., & Salazar, J. N. (1989). Comparación de cinco formas de aplicación de fertilizantes en café. *Revista Cenicafé*, 40(03), 80-85. <http://hdl.handle.net/10778/690>
- Mestre, A., & Salazar, J. N. (1989). Efecto de la intercalación de maíz y frijol sobre la producción de café en las dos primeras cosechas. *Revista Cenicafé*, 40(4), 97-105.
- Mestre, A., & Salazar, J. N. (1991). Iniciación de la fertilización en zocas de café. *Revista Cenicafé*, 42(02), 53-60. <http://hdl.handle.net/10778/4196>
- Mestre, A., & Salazar, J. N. (1995). Productividad de siembras nuevas y zocas de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 215, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/1072>
- Mokate, K. M., Vallejo G., H. E., & Cuervo de F., A. (1994). *Evaluación financiera de proyectos de inversión* (1.a ed.). Ediciones Uniandes.
- Molina de Paredes, O. R. (2017). Rentabilidad de la producción agrícola desde la perspectiva de los costos reales: Municipios Pueblo Llano y Rangel del estado Mérida, Venezuela. *Visión Gerencial*, 2, 217-232. <https://www.redalyc.org/journal/4655/465552407013/465552407013.pdf>
- Montilla, J., Arcila, J., Aristizábal, M., Montoya, E. C., Puerta, G. I., Oliveros, C. E., & Cadena, G. (2008). Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. *Avances Técnicos Cenicafé*, 370, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/358>
- Moreno, A. M. (2005). Productividad de zocas de café con rotación de cultivos semestrales, con y sin manejo integrado de arvenses. *Revista Cenicafé*, 56(3), 281-289. <http://hdl.handle.net/10778/212>

Moreno, A. M. (2010). Efecto de la pérdida de plantas en la producción de café renovado mediante zoqueo. *Revista Cenicafé*, 61(01), 28-34. <http://hdl.handle.net/10778/43>

Moreno, G., & Alvarado, G. (2000). La Variedad Colombia; veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto. *Boletín Técnico Cenicafé*, 22(1), 1-32. <http://hdl.handle.net/10778/592>

Moreno, G., & Castillo, J. (1984). La variedad Colombia; una variedad de café con resistencia a la roya (*Hemileia vastatrix*/ Berk y Br.). *Boletín Técnico Cenicafé*, 09(1), 1-31. <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot009.pdf>

Nurwantara, M. P., Deoranto, P., & Effendi, M. (2018). Productivity Analysis Of Coffee Production Process With Objective Matrix (Omax) Method (The Case Study at PT. Perkebunan Kandangan, Pulosari Panggungsari, Madiun). *SEAS (Sustainable Environment Agricultural Science)*, 2(1), 18-26. <https://doi.org/10.22225/seas.2.1.538.18-26>

Oliveros, C. E., Peñuela, A. E., & Jurado, J. M. (2009). Controle la humedad del café en el secado solar utilizando el método gravimet. *Avances Técnicos Cenicafé*, 387, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/385>

Oliveros, C. E., Peñuela, A. E., & Pabón, J. P. (2013). Gravimet SM : Tecnología para medir la humedad del café en el secado en silos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 433, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/501>

Oliveros, C. E., Sanz, J. R., Ramírez, C. A., & Mejía, C. A. (2007). Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfin. *Avances Técnicos Cenicafé*, 360, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4252>

Oliveros, C. E., Sanz, J. R., Ramírez, C. A., & Peñuela, A. E. (2009). Aprovechamiento eficiente de la energía en el secado mecánico del café. *Avance Técnico Cenicafé*, 380, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/370>

Oliveros, C. E., Sanz, J. R., Ramírez, C. A., & Tibaduiza, C. A. (2013). Ecomill®. Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 432, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/500>

Oliveros, C. E., Rodríguez-Valencia, N., Ramírez, C. A., Sanz-Uribe, J. R., & Velásquez-Henao, J. (2020). Método de las dos canecas: Para separar flotes en pequeños lotes de frutos de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 519, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0519>

Pabón, J. P., Sanz, J. R., & Oliveros, C. E. (2009). Manejo del café desmucilaginado mecánicamente. *Avances Técnicos Cenicafé*, 388, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/381>

Parra, A., Roa, G., Oliveros, C. E., & Sanz, J. R. (2017). Optimización operacional de secadores mecánicos para café pergamino. *Cenicafé*. <https://www.cenicafe.org/es/publications/librosecado.pdf>

Peñuela, A. E., Pabón, J. P., & Sanz, J. R. (2013). Método fermaestro: para determinar la finalización de la Fermentación del mucílago de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 431, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/479>

Peñuela, A. E., Guerrero, A., & Sanz, J. R. (2022). Cromacafé® Herramienta para identificar los estados de madurez de las variedades de café de fruto rojo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 535, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0535>

Picardi, M. S., & Giacchero, A. (2015). Productividad de la tierra agrícola en el sudoeste bonaerense. *Estudios Económicos*, 32(65), 73–95. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6268030>

Puerta, G. I. (2000). Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Revista Cenicafé*, 51(2), 136–150. <http://hdl.handle.net/10778/65>

Rae, A. N. (1977). *Crop management economics*. Crosby Lockwood Staples.

Ramírez, J. (2017). Arvenses en cultivos de aguacate, tomate de árbol, pastos y forrajes y su relación con el rendimiento y costos de producción. *Cultivos Tropicales*, 38(3), 14-23.

Rendón, J. R. (2016). Sistemas de renovación de cafetales para recuperar y estabilizar la producción. *Avances Técnicos Cenicafé*, 463, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/701>

Rendón, J. R. (2019). Recomendaciones para la renovación de café por medio de zocas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 500, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0500>

Rendón, J. R., & Duque, H. (2017). Determine la densidad de tallos en las zocas de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 484, 1-4. <http://hdl.handle.net/10778/4210>

Rivera, H. (1994). Construya su equipo para aplicación racional de herbicidas y establezca coberturas nobles en su cafetal. *Avances Técnicos Cenicafé*, 206, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4186>

Rivera, H. (1997). Establezca coberturas nobles en su cafetal utilizando el selector de arvenses. *Avances Técnicos Cenicafé*, 235, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0235>

Rivera, H. (1997). Arvenses y su interferencia en el cultivo del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 237, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4187>

Rivera, H. (2000). El selector de arvenses modificado. *Avances Técnicos Cenicafé*, 271, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/4188>

Rivillas, C. A., Serna, C. A., Cristancho, M. A., & Gaitán, A. L. (2011). La Roya del Cafeto en Colombia Impacto, manejo y costos del control. *Boletín Técnico Cenicafé*, 36, 1–53. <http://hdl.handle.net/10778/594>

Roa, G., Oliveros, C. E., Álvarez, J., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., Dávila, M. T., Álvarez, J. R., Zambrano, D. A., Puerta, G. I., & Rodríguez, N. (1999). Beneficio ecológico del café. *Cenicafé*. <http://hdl.handle.net/10778/882>

Roa, G., Oliveros, C. E., Parra, A., & Ramírez, C. A. (2000). El secado mecánico del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 282, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0282>

Roa, G., Oliveros, C. E., & Ramírez, C. A. (2000). Utilice la energía solar para secar correctamente el café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 281, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0281>

Rodríguez, N., Sanz, J. R., Ramírez, C. A., Quintero, L. V., & Tibaduiza, C. A. (2021). Tipificación del beneficio del café en Colombia, relación con el consumo de agua, generación de vertimientos y huellas hídricas azul y gris. *Boletín Técnico Cenicafé*, 46, 1-42. <https://doi.org/10.38141/10781/046>

Sadeghian, S., & Duque, H. (2017). Formulaciones generales de fertilizantes: Alternativas para una nutrición balanceada de los cafetales en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 483, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0483>

Sadeghian K., S., & Duque O., H. (2019). Fertilizantes minerales para café en Colombia: Consideraciones técnicas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 503, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0503>

Sadeghian, S., & Duque, H. (2021). Dosis óptimas de nutrientes para cafetales en producción. Consideraciones económicas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 533, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0533>

Sadeghian, S., & Jaramillo, A. (2016). Nutrición de los cafetales en Colombia, en escenarios de la niña. *Avances Técnicos Cenicafé*, 473, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0473>

Sadeghian, S., Jaramillo, A., & Duque, H. (2017). Nutrición de los cafetales en Colombia: En escenarios El Niño. *Avances Técnicos Cenicafé*, 477, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0477>

Sadeghian, S., & Ospina, C. (2021). Manejo nutricional de café durante la etapa de almácigo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 532, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0532>

Salazar, J. N., & Mestre, A. (1991). Efecto del zoqueo en la producción de la Variedad Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 159, 1-2. <https://doi.org/10.38141/10779/0159>

Santos, J. C. F., Marchi, G., & Marchi, E. C. S. (2008). Cobertura do Solo no Controle de Plantas Daninhas do Café. *Documentos*, 226, 1-54.

Sanz, J. R., & Duque, H. (2020). Cosecha con la Derribadora Selectiva de Café Brudden DSC18. *Boletín Técnico Cenicafé*, 43, 1-20. <https://doi.org/10.38141/10781/043>

Sanz, J. R., Duque, H., & Gaitán, A. L. (2021). La Cosecha asistida de café y su impacto en la economía de la recolección en finca. *Ensayos Economía Cafetera*, 34(1), 35–50. <https://doi.org/10.38141/10788/034-1-3>

Sanz, J. R., Duque, H., Menza, H. D., Zamudio, G. E., Oliveros, C. E., & Ramírez, C. A. (2018). Lonas para asistir la cosecha manual de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 487, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0487>

Sanz, J. R., & Hincapié, J. D. (2020). Aplicación de nuevas tecnologías para la cosecha asistida de café en el departamento del Tolima. *Cenicafé*. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0006>

Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Duque, H., Mejía, C. G., Benavides, P., & Medina, R. D. (2018). Retención de pases: Una opción para mejorar la productividad de la mano de obra. *Avances Técnicos Cenicafé*, 488, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0488>

Sanz, J. R., Oliveros, C. E., & Peñuela, A. E. (2014). Instalación del separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín en beneficiaderos construidos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 439, 1-4. <https://doi.org/10.38141/10779/0439>

Sumanth, D. J. (1990). Ingeniería y administración de la productividad: Medición, evaluación, planeación y mejoramiento de la productividad en las organizaciones de manufactura y servicio. McGraw-Hill Interamericana.

Tabares, J. E., Villalba, D. A., Bustillo, A. E., & Vallejo, L. F. (2008). Eficacia de insecticidas para el control de la broca del café usando diferentes equipos de aspersión. *Revista Cenicafé*, 59(3), 227-237. <http://hdl.handle.net/10778/136>

Torres, F. A., & Salazar, L. F. (2020). Manejo de arvenses en el cultivo del café: Alternativas de control químico en la zona del plato. *Avances Técnicos Cenicafé*, 520, 1-4. <https://doi.org/10.38141/10779/0520>

Unigarro, C. A., Rendon, J. R., & Acuña, J. R. (2021). Densidad de siembra y fotosíntesis, el motor de la productividad en nuestros cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 525, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0525>

Uribe, A. (1965). Influencia de la densidad de población sobre la producción de café (Proyecto C-7; p. 4). *Cenicafé*; Sección de café-mecanografiado.

Uribe, A. (1977). Constantes físicas y factores de conversión en café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 065, 1-4. <https://doi.org/10.38141/10779/0065>

Uribe, A., & Mestre, A. (1988). Efecto de la densidad de población y de la disposición de los árboles en la producción de café. *Revista Cenicafé*, 39(2), 31-42.

Uribe, A., & Mestre, A. (1988). Efecto de la distancia de siembra y del número de plantas por hoyo sobre la producción de café (*Coffea arabica* L. var. Caturra). *Revista Cenicafé*, 39(1), 15-27.

Uribe, A., & Salazar, N. (1984). Época de fertilización de las zocas de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 117, 1-4. <https://doi.org/10.38141/10779/0117>

Valencia, G. (1988). Encalado del suelo en cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 140, 1-4. <https://doi.org/10.38141/10779/0140>

Valencia, G. (1992). Fertilización de los cafetales. Avances Técnicos Cenicafé, 175, 1-6. <https://doi.org/10.38141/10779/0175>

Valencia, G., & Carrillo, I. F. (1983). Interpretación de análisis de suelos para café. Avances Técnicos Cenicafé, 115, 1-5. <https://doi.org/10.38141/10779/0115>

Valencia, G., & Carrillo, I. F. (1990). Uso de fertilizantes simples en cafetales. Avances Técnicos Cenicafé, 149, 1-6. <https://doi.org/10.38141/10779/0149>

Zambrano, D. A. (1993). Fermente y lave su café en el tanque tina. Avances Técnicos Cenicafé, 197, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0197>



Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia



ISBN: 978-958-8490-53-3



9 789588 490533