

La cosecha asistida de café y su impacto en la economía de la recolección en finca

Juan Rodrigo Sanz Uribe, Hernando Duque Orrego, Álvaro León Gaitán Bustamante

RESUMEN

La introducción del concepto de Cosecha Asistida en la recolección de café en Colombia implica la adopción de tres prácticas que pueden usarse de manera aditiva y escalarse independientemente del tamaño de la finca: retención de pases, recolección con lonas y uso de la Derribadora DSC18. Las pruebas de campo indican que el aumento en la masa de café cosechable producto de la retención, más la reducción de movimientos para desprender los frutos del árbol al usar las lonas, pueden incrementar la eficiencia de la recolección en un 40%, y que el uso de la máquina DSC-18 puede aumentar esa eficiencia en 180% en promedio. La reducción del costo unitario (COP/kg), que puede ser de un 50% o más, permite un margen de maniobra donde el recolector y el productor de café puedan acordar precios de cosecha que generen ganancias para ambas partes. De esta manera, la Cosecha Asistida contribuye a mejorar la rentabilidad en la finca a través de beneficios económicos por una mayor productividad de la mano de obra en la labor de recolección, y favorece a los recolectores haciendo más cómoda y eficiente su labor, con una mejor remuneración.

ABSTRACT

The introduction of the Assisted Harvest concept in coffee harvesting in Colombia implies the adoption of three practices that can be used additively and be scaled-up regardless of the size of the farm: harvesting entries delay, harvesting with tarps on the ground and use of the DSC18 branch shaker for selective coffee harvesting. Field tests indicate that the increase in the harvestable coffee mass due to retention, plus the reduction of movements to detach the fruits from the tree when using the tarps, can increase the harvesting efficiency by 40%, and that the use of the DSC-18 machine can increase that efficiency by 180% on average. The reduction of cost-per-unit (COP / kg), which can be 50% or more, allows a margin of maneuver where the picker and the coffee producer can agree on harvest prices that generate profits for both parties. In this way, Assisted Harvesting contributes to improving the profitability of the farm through economic benefits due to greater productivity of the workforce in the harvesting work, and favors the picker by making their work more comfortable and efficient, with a better remuneration.

Palabras clave: Cosecha asistida, Cosecha selectiva, Cosecha manual de café, Cosecha semi-mecanizada de café, Retención de pases de cosecha e impacto económico

Códigos JEL: Q10, Q18

Key words: Assisted harvest, Selective harvesting, Manual coffee harvesting, Semi-mechanized coffee harvesting, Harvesting entries delay and economic impact

JEL code: Q10, Q18

La cosecha asistida de café y su impacto en la economía de la recolección en finca

Juan Rodrigo Sanz Uribe¹, Hernando Duque Orrego², Álvaro León Gaitán Bustamante³

Para citar este artículo: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2021). La cosecha asistida de café y su impacto en la economía de la recolección en finca. *Ensayos sobre Economía Cafetera*, 34(1), 35-50.

GENERALIDADES MACROECONÓMICAS

El café ha sido el producto agrícola más importante de Colombia desde hace más de un siglo y genera una gran dinámica económica para el país, porque se produce en más de 600 municipios y alrededor de dos millones de familias derivan su sustento de esta actividad. A pesar del peso de esa tradición, la sostenibilidad de la caficultura depende en gran medida de su rentabilidad, y de ésta, otros componentes, como son el social y el ambiental, para que en su conjunto le permitan la continuidad a esta actividad en el futuro. La rentabilidad de la caficultura está influenciada por diversos factores externos e internos. Entre los externos, los más relevantes son la cotización de la libra de café en la bolsa de Nueva York y la Tasa Representativa del Mercado (TRM). Entre los factores internos se encuentran aquellos que tienen que ver di-

rectamente con la productividad, la calidad y la comercialización local, y que pueden ser controlados en gran medida por el productor, adoptando tecnologías, realizando prácticas agronómicas oportunas y efectivas a nivel de la finca, y aprovechando las condiciones de compra y venta de café.

El manejo de la rentabilidad desde la finca consiste en buscar constantemente una productividad máxima, con la mejor calidad posible, a unos costos de producción racionales y con el menor impacto ambiental. Para tal fin, es necesaria la aplicación de componentes de manejo agronómico acertado, cuidadosamente seleccionados, para que los productores tengan cada vez mejores indicadores de producción, realizando prácticas clave para obtener café pergamino seco de alta calidad,

¹ Líder Disciplina de Poscosecha del Centro Nacional de Investigaciones de café - Cenicafé (juanr.sanz@cafedecolombia.com).

² Gerente Técnico de la Federación Nacional de Cafeteros (hernando.duque@cafedecolombia.com).

³ Director de Investigación Científica y Tecnológica de la Federación Nacional de Cafeteros (alvaro.gaitan@cafedecolombia.com).

y operando bajo un esquema de sostenibilidad en un cultivo perenne. Desde 2016, la Federación Nacional de Cafeteros viene trabajando la estrategia “Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad”, que reúne estos elementos agronómicos fundamentados en la investigación científica, y que, transferidos por el Servicio de Extensión a los caficultores, han soportado producciones record y consistentes por 6 años consecutivos.

La implementación de esta estrategia, promoviendo densidades promedio de cultivos de café más altas, edades promedio más bajas, y mayor proporción de áreas sembradas con variedades resistentes a la roya del cafeto, además de favorecer la rentabilidad, ha permitido apalancar a la producción nacional en sistemas de producción más resistentes y resilientes a las variaciones climáticas, pero así mismo, ha incrementado la demanda de mano de obra para cosecha, y de infraestructura para beneficio.

GENERALIDADES DE LOS CAFICULTORES DE COLOMBIA

Para 2020, en Colombia se registraron 848.789 hectáreas en café, sembradas por un total de 539.741 caficultores, lo que da un promedio de 1,57 hectáreas por agricultor, indicando que la caficultura colombiana se basa principalmente en familias campesinas con pequeñas extensiones de tierra. Una importante proporción de estos caficultores (23,4%) tiene solamente media hectárea o menos sembrada en café, y un 90% tiene un área menor o igual a 3,0 ha, siendo solamente un 0,9% quienes tienen extensiones de más de 10,0 ha.

El negocio de los pequeños productores (aquellos con menos de 5 ha), se diferencia del de los productores medianos y grandes, principalmente porque tiene menor productividad, debido a una edad promedio más alta de las plantaciones. Adicionalmente, el negocio de los pequeños productores de café tiene una componente importante de mano de obra familiar, con el fin de reducir egresos. Así las cosas, las labores realizadas por los integrantes de la familia se ven retribuidas cuando se vende el producto final. Así mismo, a los pequeños productores, por su volumen de producción, se les facilita un mayor control en el procesamiento de los granos, abriéndoles la oportunidad de vender cafés de mayor calidad, en medio de un auge de demanda por cafés diferenciados por taza, con lo que pueden mejorar la rentabilidad, a causa de obtener un mejor precio de venta. Por su parte, el negocio de los productores medianos y grandes está orientado hacia el modelo de alta productividad con precio estándar o bonificado, aunque también hay intentos por llegar al mercado de los cafés especiales con lotes pequeños que procesan aparte del flujo principal.

GENERALIDADES DE LA COSECHA DE CAFÉ EN COLOMBIA

La cosecha de café en Colombia presenta diferentes patrones de distribución, dependiendo de la ubicación latitudinal y de la altitud. Debido al movimiento particular del frente de lluvias de la Zona de Confluencia Intertropical, con ausencia de periodos marcados de sequía, en el país se diferencian cuatro zonas latitudinales: zona Sur entre 1° y 3° de latitud

Norte, zona Central Sur entre 3° y 5°, zona Central Norte entre 5° y 7°, y zona Norte entre 7° y 10°, con caficultura desde los 1.000 m de altitud en la zona Norte hasta 2.000 m en la zona Sur. La distribución de las lluvias determina las floraciones, y por ende las cosechas, variando entonces para cada zona cafetera así: en la zona Sur prevalece la cosecha principal en el primer semestre del año, en la zona Central Sur ocurren dos cosechas en los dos semestres del año, en la zona Central Norte es característico que la cosecha del segundo semestre sea mayor y, finalmente, en la zona Norte se tiene una sola cosecha concentrada en el segundo semestre.

La ocurrencia de varios eventos de floración al año ocasiona diferencias en la maduración de los frutos entre regiones cercanas, entre lotes, e inclusive a nivel de ramas individuales, ampliando las semanas de cosecha. Este efecto es menor en zonas cafeteras donde se produce una sola cosecha al año, y donde se requieren menos pases de recolección por la concentración de frutos maduros, teniendo cada pase un volumen de carga importante. Por el contrario, en aquellos lugares donde se presentan dos cosechas, es frecuente realizar numerosos pases de recolección al año, alcanzando en muchos sitios una periodicidad cercana a los 17 días por lote, con cargas bajas de frutos maduros. A esta alta frecuencia de recolección por la dispersión de la maduración se le suma el temor de perder parte

de la cosecha en el suelo, ya que las variedades susceptibles a la roya dejan caer los frutos maduros rápidamente, o la necesidad de tener flujo de caja para los requerimientos económicos de los productores.

La desigualdad en la maduración de los frutos ha determinado que la cosecha de café en Colombia se haga de manera selectiva, desprendiendo manualmente uno a uno los frutos maduros de los árboles y depositándolos temporalmente en un recipiente que cuelga de la cintura, denominado “coco recolector” o simplemente “coco.” Los cambios en la cosecha manual del café no han sido relevantes en el último siglo en cuanto a su eficiencia, e incluyen el reemplazo del material de construcción del recipiente y las variaciones en la medida que sirve de referencia para el pago de los recolectores. El recipiente cambió de construirse en una fibra natural, denominada bejuco, a hacerse de plástico, y la medida dejó de ser el volumen de 18,9 litros (5 galones) conocida como “lata”, en la cual cabía aproximadamente una arroba⁴ de frutos de café, para adoptarse el sistema de valoración por peso de las cerezas cosechadas, dada la variación en las densidades del grano de café por efecto del clima, el manejo agronómico y las enfermedades.

Otra consecuencia de la alta dispersión de la maduración es la variación de la contratación del personal dependiendo del momento

⁴ Una arroba es una medida de peso antigua que tiene origen árabe, por eso su símbolo (@), la cual corresponde a 25 libras de 454 g cada una, es decir, una arroba equivale a 11,35 kg. No obstante, esta medida de uso único en la cotidianidad cafetera, ha cambiado en su concepto por la mezcla del Sistema Inglés con Sistema Internacional de Unidades, correspondiendo por consenso en la actualidad a 12,5 kg.

de la cosecha. Al inicio y al final del periodo de cosecha hay poca disponibilidad de frutos maduros en los árboles, lo que conduce a que se pacte con los recolectores de café una contratación por día, pagando por tiempo trabajado, lo que se conoce como “jornal”. Cuando el flujo de café es mayor, normalmente se paga por el peso de los frutos de café recolectados, lo que es conocido como “contratación al destajo.” La mayoría de la cosecha café es contratada por esta modalidad, ya que el costo por kilo de recolección de café contratada mediante jornales representa un valor que puede ser dos o tres veces mayor al precio de la misma masa pagada al destajo.

En cuanto a la eficiencia de la recolección, existen factores externos al recolector, relacionados con la plantación, que incluyen la oferta de frutos maduros, la edad de las plantas, la pendiente del terreno, y el clima reinante, entre otros. El rendimiento de un recolector también depende de factores in-

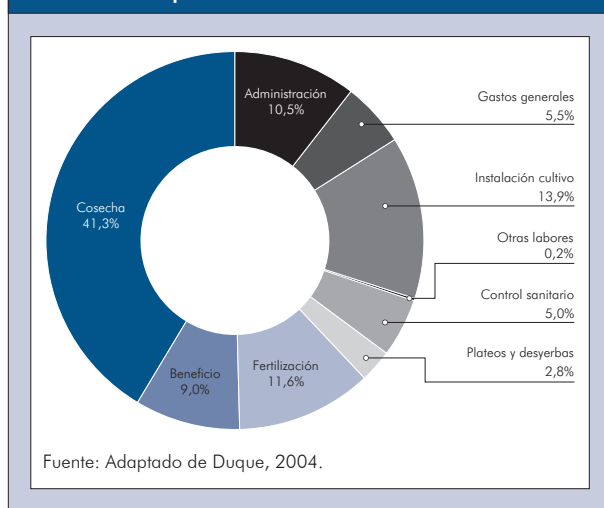
herentes a él, como son la técnica que utiliza, sus propias habilidades, su experiencia, y su motivación. Tal y como se realiza la cosecha manual en la actualidad, esta actividad representa cerca del 40% de los costos de producción (Duque, 2004), de manera que cualquier acción encaminada a reducir los costos de la recolección, impactará de manera significativa los costos de producción, y por ende la rentabilidad, por la gran participación que tiene este componente en la estructura de costos.

Antecedentes de la Cosecha Asistida

Las condiciones climáticas y geográficas de la caficultura colombiana hacen difícil el uso de implementos, máquinas portátiles o cosechadoras mecánicas. Aparte de la gran dispersión de la cosecha, hay otros aspectos como la pendiente de los terrenos (principalmente), la estructura y la fragilidad de los suelos, la coincidencia de la cosecha con la temporada lluviosa, a los que se suman componentes sociales como el apego a las costumbres de los caficultores y de los recolectores, y la carencia de mano de obra escolarizada.

Las investigaciones en cosecha de café iniciaron oficialmente en Cenicafé en el año de 1997 con la finalidad principal de reducir los costos de esta labor (Oliveros y Sanz, 2011). Para tal fin se adelantó un plan de investigación en cosecha de café, conformado por cinco líneas: 1. determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los órganos que conforman el árbol, incluyendo principalmente los frutos, con el fin de encontrar principios físicos en los que se pudiera ob-

Figura 1. Distribución porcentual de los costos de producción de café en Colombia



tener la selectividad deseada; 2. desarrollo de implementos manuales y metodologías, para hacer más eficiente la recolección manual de café; 3. cosecha semi-mecanizada, enmarcada en el uso de herramientas motorizadas y portátiles para hacer la labor de desprendimiento de frutos; 4. cosecha mecanizada, usando máquinas de gran envergadura, autopropulsadas o con fuente remota de potencia, para el desprendimiento masivo de frutos; y 5. cosecha robotizada, usando técnicas y tecnologías de automatización avanzada para realizar la cosecha del café de manera selectiva.

Como resultados importantes se destacan la diferencia encontrada entre los frutos maduros e inmaduros para colapsar la estructura del pedúnculo del fruto por fatiga (Cardona, 2006), la posibilidad de reducir u obviar micro-movimientos realizados por los recolectores durante la cosecha (Vélez *et al.*, 1999), la adopción del uso de las lonas para la cosecha manual de café eliminando el uso del “coco recolector” (Oliveros *et al.*, 2006), y el desarrollo de la derribadora selectiva de café DSC18 (Sanz & Duque, 2020). La aplicación de estos hallazgos ha permitido el aumento del rendimiento de los recolectores, y son el fundamento de la Cosecha Asistida de café.

Componentes de la Cosecha Asistida de Café

La Cosecha Asistida de café es un concepto de la Gerencia Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros, en el cual se busca contribuir a la rentabilidad del negocio para los caficultores a través de obtener beneficios

económicos por una mayor productividad de la mano de obra en la labor de recolección. La Cosecha Asistida no pretende reemplazar la fuerza de trabajo, sino favorecer a los recolectores haciendo más cómoda y eficiente su labor, de manera que ganen tanto los caficultores como los recolectores.

Los 3 componentes de la Cosecha Asistida de café son:

1. Retención de pases de cosecha

Debido a la variabilidad en la carga y concentración de frutos maduros de café se requieren numerosos pases de cosecha durante el año. Como consecuencia de la falta de mano de obra para esta labor en determinadas regiones y momentos de cosecha, algunos caficultores se han visto obligados a dejar más tiempo los frutos maduros en los árboles, con buenos resultados al momento de reingresar a los lotes. Con base en esta observación, estudios realizados por Sanz *et al.* (2018a) demostraron que en las variedades resistentes a la roya del cafeto desarrolladas en Cenicafe, es posible retener 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.

Para hacer retención de pases es muy importante llevar rigurosamente los registros de floración, para estimar con buena aproximación sobre cuándo van a tener lugar los pases de cosecha más importantes (Rendón *et al.*, 2008)

y para hacer una correcta planeación de la cosecha y las necesidades de mano de obra.

2. Recolección de café con Lonas

A partir de los trabajos de tiempos y movimientos de Vélez *et al.* (1999), quienes encontraron que se pueden reducir o eliminar micro-movimientos de los recolectores durante la cosecha, se dedujo que al tener un área muy grande donde recibir los frutos desprendidos, el único micro-movimiento necesario para la cosecha de café era desprenderlos para dejarlos caer libremente.

Para este propósito, los mejores resultados se obtuvieron con la cosecha manual con lonas (Figura 2A; Sanz *et al.*, 2018b), la cual consiste en desplegar unas mallas de polipropileno de 12, 5 x 3 m por las calles del cafetal, en cuyos lados más largos tienen cierres velcro®, con el fin de juntar lateralmente 2 lonas bajo los árboles y así conformar una cobertura total del suelo. La reducción de micro-movimientos con este sistema, y la comodidad de desplazamiento de los recolectores, que ya no cargan los frutos recogidos consigo, conllevaron a un aumento de la eficiencia.

3. Cosecha de café con la Derribadora DSC18

Cardona (2006) descubrió que, con la aplicación de movimientos repetidos, los frutos de café se desprenden por acumulación de ciclos en el pedúnculo (falla por fatiga), y no por resonancia mecánica. Así mismo, encontró que el pedúnculo de los frutos maduros necesita una menor cantidad de ciclos para fallar que el pedúnculo de los frutos verdes.

No obstante, para que el desprendimiento sea en tiempos menores a un segundo, se necesitan vibraciones con frecuencias mayores de 200 Hz.

Con base en estos resultados, el trabajo conjunto entre la empresa brasileña Brudden Equipamentos y Cenicafé concluyó con el desarrollo de la Derribadora Selectiva de Café, Brudden DSC 18 (Figura 2B, Sanz & Duque, 2020). Para aplicar el principio de falla del pedúnculo por fatiga, la máquina tiene un mecanismo que termina en una horquilla que oscila a 220 Hz, con una pequeña amplitud (1,1°). Para que las ondas se propaguen de manera efectiva sobre la rama, el punto de contacto debe ser en el lugar donde es más rígida, lo cual ocurre a unos 5 o 10 cm de distancia desde la inserción de la rama al tallo principal. La derribadora es una tecnología que debe usarse con los otros dos componentes de la Cosecha Asistida de café.

De acuerdo con observaciones de Sanz *et al.* (2018a) y Sanz e Hincapié (2020), el café proveniente de prácticas de Cosecha Asistida no presentó defectos en la calidad de la bebida.

Concepto de aplicación de la Cosecha Asistida

Cuando el periodo de cosecha está iniciando, se recogen los pocos frutos maduros que hay en los árboles para evitar una potencial infestación por broca. Aunque en esos momentos es posible realizar la retención de pases, por el bajo volumen de frutos maduros presente se debe proceder a recolectar el café con coco.

Figura 2. Lonas extendidas en las calles de los surcos durante la cosecha manual y Derribadora selectiva de café DSC18

A. Lonas extendidas



B. Derribadora selectiva



Fuente: Archivo fotográfico Cenicafé.

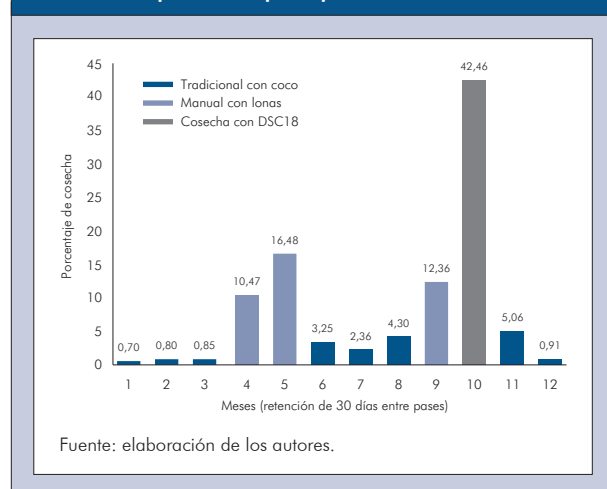
En la medida en que la masa de frutos maduros va aumentando, se continúa con la retención de pases, absteniéndose de entrar a recolectar a los lotes en periodos inferiores a 30 días, siempre y cuando la infestación por broca sea menor del 2,0% al inicio la retención. Al momento de ingresar al cafetal retenido, se extienden las lonas, y se procede a derribar el café de manera manual, o si la carga de café maduro es muy alta, se puede hacer uso de la máquina DSC18.

En un ejemplo teórico de aplicación de la Cosecha Asistida de café en una finca de la zona central cafetera, a nivel de lote, con retención de pases entre 30 y 31 días (Figura 3), la mayoría de las veces se hace recolección de ma-

nera tradicional con coco, pagando la mayor cantidad de pases de esa cosecha por jornal. En los meses 4 y 5, donde se tienen los dos pases más importantes de la cosecha del primer semestre, se aplica el método de recolección manual de café con lonas. Hacia el mes 9 aparece un pase de cosecha de buenas proporciones que igualmente se debe hacer con lonas, mientras que el pase del mes 10, el cual es el mayor de todo el año, es una oportunidad para la cosecha con la derribadora DSC18. De esta manera, la proporción recolectada con máquina representaría el 42,46%, y con cosecha manual con lonas sumaría un total de 39,30%, es decir, el café recolectado con las ventajas de la Cosecha Asistida de Café, totalizaría 81,77% del total producido en el año.

En este ejemplo pueden considerarse variaciones, como cosechar el mes 5 con la derribadora DSC18, debido a que los pases de cosecha que le siguen son de poca magnitud y los frutos verdes de la cosecha principal están todavía muy pequeños; o hacer la cosecha de manera manual con lonas para el pase del mes 10, si no se tiene la derribadora DSC18; finalmente, es posible efectuar el pase del mes 11 con cosecha manual con lonas, a pesar del poco café que habría en los árboles.

Figura 3. Ejemplo de la aplicación de la Cosecha Asistida a lo largo del año en una finca de la zona central cafetera de acuerdo con el porcentaje esperado de cosecha



Evaluaciones en campo de la Cosecha Asistida

Para determinar la factibilidad de la retención de pases, Sanz e Hincapié (2020) realizaron un estudio en la segunda cosecha de 2019 de la dinámica de la maduración de los frutos de café en los municipios de Fresno, Líbano, Ibagué, Valle de San Juan, San Antonio, Chapparral, Planadas y Dolores, del departamento de Tolima. En cada municipio se selecciona-

ron dos fincas y en cada una se escogió un lote con edad entre 4 y 5 años. Por la geografía de la vertiente oriental de la Cordillera Central y de la occidental de la Cordillera Oriental, la cobertura de la muestra fue representativa del departamento, y en general de la caficultura nacional.

Se encontró una dinámica de la maduración muy similar en los ocho municipios. Cuando se realizaron retenciones de hasta 35 días, el aumento de frutos cosechables entre el día 17 y el día 35 varió entre 2,97 y 4,00 veces más. Así mismo, las pérdidas representadas por frutos secos y caídos al suelo fueron menores del 2,0 %, estando la mayoría de las veces por debajo del 1,0%. Estos resultados demuestran la efectividad de extender los tiempos entre pases de cosecha, y responden a las preocupaciones de los caficultores por los volúmenes de frutos de café secado en los árboles que se desprenden por sobremaduración.

En cuanto a los resultados de la cosecha manual de café con lonas, Sanz *et al.* (2018b) encontraron un aumento promedio de 41% en el rendimiento de los operarios, en comparación con la cosecha manual tradicional con coco. Sanz e Hincapié (2020) reportan que los recolectores obtuvieron un 101% más de rendimiento trabajando con lonas que los que recolectaron con sistema tradicional. Adicionalmente, los frutos verdes en la masa cosechada estuvieron en rangos muy bajos, lo mismo que los frutos maduros dejados en los árboles. Aunque las pérdidas al suelo fueron bajas para ambos métodos, las obtenidas con el sistema tradicional fueron casi tres veces las obtenidas con el sistema manual con lonas,

lo que refuerza el argumento que con las lonas se obtienen menores pérdidas de frutos al suelo y se contribuye al manejo integrado de la broca.

Finalmente, para evaluar el desempeño en condiciones reales de la derribadora DSC18, en conjunto con la retención de pases de cosecha y el uso de lonas, se realizaron pruebas en lotes con diferentes pendientes de terreno, edades de los árboles y densidad de siembra, en las Estaciones Experimentales de Cenicafé (Sanz & Duque, 2020). Los resultados mostraron que cuando se tiene una carga superior a $1,0 \text{ kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$ y maduración superior al 50%, se obtiene un rendimiento promedio de $28,53 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$, que es un 180% mayor que el obtenido por un recolector promedio (Figura 4).

En el mismo trabajo se obtuvo un contenido de frutos verdes en la masa cosechada de 6,07%, lo que demuestra el carácter selectivo de la máquina, puesto que la presencia de frutos verdes en la rama siempre estuvo entre

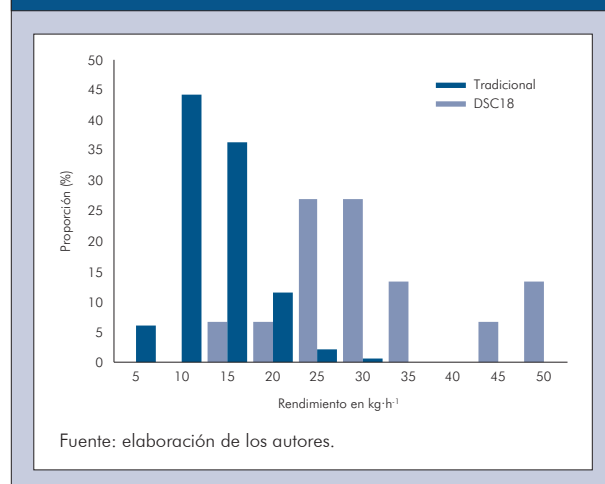
15 y 30%. Adicionalmente, se dejaron en los árboles $6,67 \text{ unidades}\cdot\text{sitio}^{-1}$ de frutos cosechables en promedio, que es un valor muy cercano al máximo aceptado para manejo integrado de la broca.

Impacto económico de la Cosecha Asistida de Café

La retención de pases es una práctica sin costo alguno, que debe ser usada tanto en la cosecha asistida de café, como en el sistema tradicional de recolección con coco, donde también puede mejorar el rendimiento de los recolectores.

Por su parte, el uso de un juego de 2 lonas requiere de una inversión inicial, que a la fecha corresponde a COP \$375.000, y que es muy superior al valor de un par de cocos nuevos (COP \$40.000). Esta inversión debe ser compensada por un mayor rendimiento de la labor, una duración más prolongada de las lonas (más de cinco años), una menor cantidad de mano de obra requerida en picos de cosecha, una mayor ergonomía durante la actividad, una reducción de las pérdidas de café en la cosecha, y por ende una disminución de la infestación de broca, resultando en su conjunto en una ventaja económica, tanto para el recolector como para quien contrate el servicio, y en general, en un trabajo más digno. El aumento del rendimiento de los recolectores encontrado en las pruebas de campo también se expresa en una menor necesidad de infraestructura para alojamiento y alimentación de trabajadores, que también contribuye a la reducción del costo unitario expresado en $\text{COP}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Figura 4. Histogramas de rendimiento de la cosecha manual tradicional y de la cosecha con derribadora DSC18



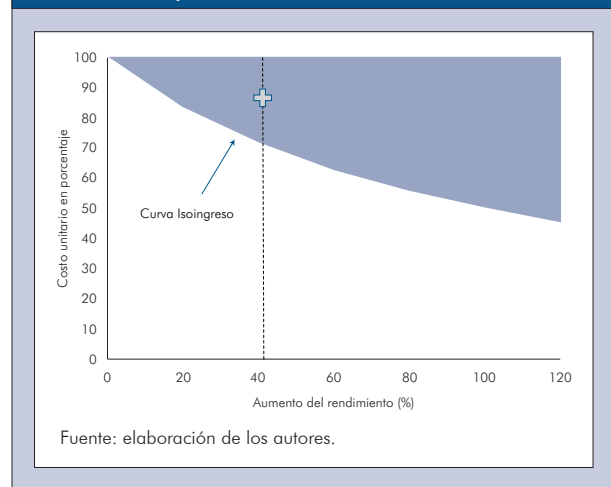
Una curva de isoingreso que relacione el cambio del porcentaje del costo unitario con respecto al rendimiento de recolección, se describe con la siguiente ecuación:

$$C_u = \frac{100\%}{100\% + A} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde C_u es el costo unitario expresado en porcentaje y A es el aumento del rendimiento, también expresado en porcentaje. Esta curva indica los valores porcentuales en los que el recolector mantiene el mismo ingreso mientras se disminuye el costo unitario para el productor por un aumento en la eficiencia. Si se examina el área comprendida entre la línea isoingreso y el 100% del precio unitario de la región, se encuentra un área de maniobra donde pueden ganar tanto recolectores como productores. Así, si se trabajara con un aumento del 40% del rendimiento, como el que genera el uso de las lonas, se disminuye en un 30% costo de mano de obra por unidad de café cosechados, y se podría pactar un precio unitario intermedio (marcado con una cruz en la Figura 5) en el que los caficultores obtendrían una reducción del 14,3% del precio unitario y los recolectores obtendrían un 14,3% más de ingreso, comparado con cosechar con el sistema tradicional con coco recolector.

De manera similar, considerando que el mayor impacto positivo sobre el componente de la cosecha puede obtenerse cuando la retención es usada en combinación con la cosecha manual con lonas y con la cosecha con derribadora DSC18, las reducciones porcentuales en el costo unitario pueden ser aún más amplias.

Figura 5. Línea de isoingreso para los recolectores usando lonas. La cruz indica un precio unitario intermedio



Para determinar el efecto del uso de la derribadora sobre la economía del caficultor, se halla el costo total anual de operación de la máquina, CT , que incluye los costos fijos y costos variables, como muestra la Ecuación 2, y con él se obtiene el costo unitario, es decir el valor que corresponde al uso de la nueva tecnología por kilogramo de café recolectado.

$$CT = CV + CF \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde CT son los costos totales, CV los costos variables y CF son los costos fijos. Los costos variables o de operación son aquellos asociados con el uso del sistema de cosecha, que para este caso son la mano de obra, los lubricantes, las reparaciones y el mantenimiento. Por otro lado, los costos fijos son aquellos que necesita pagar el caficultor por ser dueño del equipo.

Para calcular los costos fijos anuales, CF , se utiliza la Ecuación 3 que tiene una amplia utilización internacional, la cual contempla un

sistema de depreciación lineal de la máquina y los accesorios (Srivastava *et al.*, 2006),

$$CF = \left[(1 - S_v) \left(\frac{I_r (1 - I_r)^{\tau_L}}{(1 - I_r)^{\tau_L} - 1} \right) \right] + K_{fis} P_U \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde S_v es el valor de salvación de máquina expresado en porcentaje del valor inicial de la inversión, I_r es el interés real anual expresado en forma decimal, τ_L es el tiempo económico de vida del equipo en años, K_{fis} es el costo total anual de los impuestos, seguros y garaje expresado en forma decimal, y P_U es el valor de compra del equipo. A su vez, el interés real I_r , que relaciona el interés bancario y la inflación, está dado por la Ecuación 4,

$$I_r = \frac{I - I_f}{1 + I_f} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde I es el interés bancario e I_f es la inflación, ambas expresadas en forma decimal.

Por otro lado, los costos variables anuales C_v están dados por la siguiente expresión:

$$CV = C_{MO} + C_C + C_R + C_M \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde C_{MO} son los costos anuales asociados a la mano de obra, basado en el valor del jornal pagado en la finca, C_C son los costos anuales de lubricantes, C_R son los costos de reparación del equipo durante el año y C_M son los costos de mantenimiento anuales.

Para obtener el costo total anual correspondiente al uso de la máquina y las lonas se utilizaron los datos de la Tabla 1 en las ecuaciones

Tabla 1. Valores usados para calcular el costo total anual

	Valores DSC18	Derribadora Lonas
Precio de compra (P_U)	\$2.200.000	\$375.000
Salvación (S_v)	10%	0%
Tiempo de Vida (τ_L)	5 años	5 años
Interés bancario (I)	12%	12%
Inflación (I_f)	3,80%	3,80%
Impuestos anuales (K_{fis})	2,0%	2,0%
Tiempo de uso por año	120 h	500 h
Consumo de combustible	0,25 L/h	N/A
Precio combustible	\$2.113,61/L	N/A
Lubricantes por año (C_C)	1,0%	N/A
Reparación por año (C_R)	5,0%	N/A
Seguros por año (C_S)	1,5%	N/A
Costo unitario cosecha tradicional	\$550/kg	
Promedio recolección tradicional	100 kg/día	
Jornal	\$35.000/día	

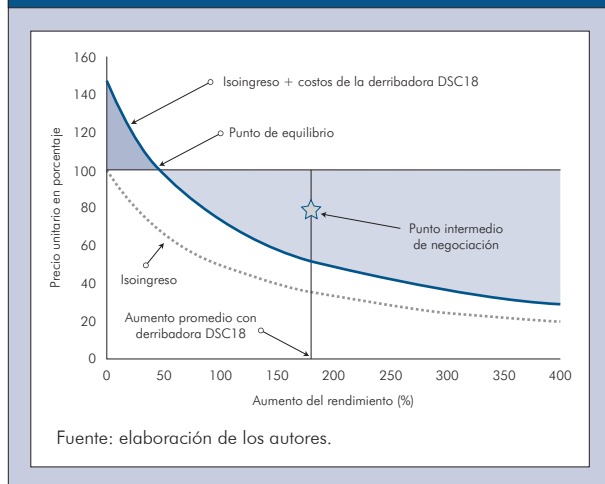
Fuente: elaboración de los autores.

2 a 5. Con esos parámetros, el Costo Total es de COP \$26.254,59/h. Con los costos totales relacionados con el uso de las máquinas y las lonas, se obtiene el costo unitario que representa el uso de la máquina, en COP/kg, el cual es función del aumento del rendimiento (A) en comparación con la cosecha manual tradicional; a mayor aumento del rendimiento menor es el costo unitario asociado al uso de la máquina y sus accesorios.

Con esos datos, se construyó la función de iso-ingreso con la adición de los costos que representan el uso de la máquina y las lonas (Figura 6), donde se observa que con el aumento observado de un 180% en el rendimiento, usando la máquina, se obtiene una reducción del costo unitario hasta llegar a casi un 50%, generando un área de maniobra mucho mayor para un esquema gana-gana recolector-productor. Sin

embargo, también cabe anotar que, si no se logra un aumento del rendimiento de por lo menos el 45%, el uso de la cosechadora portátil puede generar pérdidas económicas.

Figura 6. Efecto del uso de la derribadora DSC18 con respecto a la reducción del costo unitario



Es de esperarse que con el aumento del rendimiento debido a una adopción cada vez mayor de los conceptos de Cosecha Asistida, haya un movimiento gradual hacia los valores de área de maniobra, que disminuya el costo unitario para los productores, pero simultáneamente incremente el ingreso de los recolectores.

Otras consecuencias de la adopción de la Cosecha Asistida

Los ensayos realizados, así como las observaciones de los primeros adoptantes de la Cosecha Asistida, indican que además de los cambios en la demanda de mano de obra y los costos, se presenta una serie de aspectos agronómicos, logísticos y administrativos que facilitan la implementación rutinaria de este concepto.

Como primera medida, un aspecto agronómico a tener en cuenta es el trazado de las siembras y las condiciones de limpieza de las calles, para que los lotes de café sean aptos para el uso efectivo de las lonas. Si se tienen cultivos intercalados, como plátano o árboles de sombrío, deben ubicarse en lugares donde no interfieran con el uso de las lonas, muy probablemente en los mismos surcos en los cuales está sembrado el café. También se pueden evaluar económicamente prácticas que faciliten el manejo de las lonas, como por ejemplo la poda de las ramas bajas, donde en los años finales del ciclo hay muy baja producción, y cuya eliminación aumentaría el espacio debajo de los árboles, pero con una adición de mano de obra.

De otro lado, el uso de las lonas para la cosecha manual se facilita cuando se trabaja en pareja o en equipo, especialmente al desplegar y recoger las lonas en los lotes. Esta modalidad tiene influencia sobre el sistema de pago individual actual, ya que en valor de la actividad debe repartirse entre los miembros de la pareja o equipo.

El uso de derribadoras implicará personal más especializado para su manejo y mantenimiento apropiados, para lo cual serán importantes las certificaciones de capacidades laborales, tanto para ejecutar de manera eficiente la labor, como para cumplir con los requisitos de seguridad y salud en el trabajo. Las inversiones en lonas y derribadoras, así como la frecuencia de su uso a lo largo de la cosecha, y la posibilidad de escalar la tecnología a diversos tamaños de fincas, pueden promover iniciativas de venta de servicios por parte de personas individuales

con equipamientos propios, o de empresas especializadas, que le eviten gastos al caficultor en compra y almacenamiento de implementos que solo utilizaría en unos meses al año.

Desde el punto de vista de salud en el trabajo, se puede afirmar que la manera como se realiza la labor de cosecha en estos momentos es poco ergonómica por los esfuerzos realizados sobre el sistema musculo-esquelético a causa del coco recolector colgado en la cintura, que con el tiempo puede acumular lesiones con consecuencias físicas y económicas.

CONCLUSIONES

La Cosecha Asistida es una opción para aumentar la rentabilidad de la caficultura, mediante la reducción de los costos de producción por medio de un aumento en la eficiencia del trabajo manual, en una caficultura que requiere selectividad en el fruto recogido para producir un grano de alta calidad, bajo las condiciones climáticas, geográficas y de oferta laboral de Colombia.

En la Cosecha Asistida se aplican 3 conceptos de una manera secuencial y escalable, lo que permite su adaptación a fincas de diversos tamaños y con distribuciones de cosecha muy variables, respondiendo a las condiciones y necesidades de la caficultura del país.

La adopción de los sistemas de recolección manual de café con lonas y la recolección con derribadora tendrán mayor efecto en la medida en que se acuerde el valor del kilogramo de frutos de café recolectado, para que ganen cada una de las partes involucradas en la actividad de cosecha.

Existen ventajas económicas adicionales por el uso de los componentes de la Cosecha Asistida de café, que son difícilmente cuantificables y que dependen mucho de la idiosincrasia, la capacidad administrativa y la inversión en la infraestructura de las fincas cafeteras, y donde se necesitarían evaluaciones más detalladas para totalizar el efecto global de la adopción de esta tecnología, tanto a nivel de finca como a nivel regional o del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ashby, J. (1986). *Aspectos socioeconómicos de la adopción de nuevas recomendaciones de fertilizantes para los agricultores*. Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT.
- Bustillo, A. E., Cárdenas, R., Villalba, D. A., Benavides, P., Orozco, J., & Posada, F. J. (1998). *Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia*. Cenicafe. <http://hdl.handle.net/10778/848>
- Cardona, J. A. (2006). *Diseño de una máquina portátil para la cosecha asistida de Café* [Tesis Pregrado]. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Duque, H. (2004). *Cómo reducir los costos de producción en la finca cafetera* (2da. ed.). Cenicafe.
- Duque, H. (2018). *La adopción de tecnologías agrícolas: bases para su comprensión*. Cenicafe. <http://hdl.handle.net/10778/4245>
- Interaction Design Foundation (2016). The diffusion of innovation - strategies for adoption of products. [En Línea]. 2016. Disponible en Internet: <https://www.interaction-design.org/.../the-difusion-of-innovation>. (Consultado en abril de 2018).
- Marín, S. M., Arcila, J., Montoya, E. C., & Oliveros, C. E. (2003). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. *Revista Cenicafe*, 54(4), 297-315. <http://hdl.handle.net/10778/254>
- Oliveros, C. E., Alvarez, J. A., Ramirez, C. A., Sanz, J. R., Moreno, E. L., & Peñuela, A. E. (2006). Cosecha manual de café utilizando mallas plásticas. *Avances Técnicos Cenicafe*, 354, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/398>
- Oliveros, C. E., & Sanz, J. R. (2011). Ingeniería y café en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 33, 99-114. <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n33/n33a11.pdf>
- Rendón, J. R. (2016). Sistemas de renovación de cafetales para recuperar y estabilizar la producción. *Avances Técnicos Cenicafe*, 463, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/701>
- Rendón, J. R., Arcila, J., & Montoya, E. C. (2008). Estimación de la producción de café con base en los registros de floración. *Revista Cenicafe*, 59(3), 238-259. <http://hdl.handle.net/10778/108>
- Sanz, J. R., & Duque, H. (2020). Evaluación de la Derribadora Selectiva de Café Brudden DSC18. *Revista Cenicafe*, 71(2), 92-104. <https://doi.org/10.38141/10778/71207>
- Sanz-Urbe, J. R., & Hincapié, J. D. (2020). *Aplicación de nuevas tecnologías para la cosecha asistida de café en el departamento del Tolima*. Cenicafe. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0006>
- Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Duque, H., Mejía, C. G., Benavides, P., & Rivera, R. D. (2018). Retención de pases: una opción para mejorar la productividad de la mano de obra en la cosecha de café. *Avances Técnicos Cenicafe*, 488, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4218>
- Sanz, J. R., Duque, H., Menza, H. D., Zamudio, G. E., Oliveros, C. E., & Ramírez, C. A. (2018). Lonas para asistir la cosecha de café. *Avances Técnicos Cenicafe*, 487, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/4219>
- Srivastava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, R. P., & Buckmaster, D. R. (2006). *Engineering Principles of Agricultural Machines* (2nd ed). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Vélez, J. C., Montoya, E. C., & Oliveros, C. E. (1999). Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual de café. *Boletín Técnico Cenicafe*, 21, 1-91. <http://hdl.handle.net/10778/593>
-