

SISTEMA DE MALACATE Y VAGÓN PARA TRANSPORTE DE CAFÉ EN CEREZA EN CONDICIONES DE ALTA PENDIENTE

Juan R. Sanz-Uribe*; Carlos E. Oliveros-Tascón*; César A. Ramírez-Gómez*;
María T. Londoño-González**

RESUMEN

SANZ U., J.R.; OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A.; LONDOÑO G., M.T. Sistema de malacate y vagón para transporte de café en cereza en condiciones de alta pendiente. Revista Cenicafé 62(2): 100-110. 2011

Se evaluó un equipo diseñado para transportar café en cereza, consistente de un malacate accionado por un motor de 9,56 kW y un vagón con capacidad para transportar hasta 225 kg de café en cereza. El equipo se evaluó en un terreno con pendiente de 100% y longitud de 100 m, en suelo de la unidad Chinchiná. Se realizaron cuatro ensayos con carga de 125 y 225 kg de café en cereza, en cada uno se transportó el café 10 veces sobre las mismas huellas, y se midió la densidad aparente del suelo a profundidades de 5, 12 y 20 cm, antes y después de pasar con el vagón. Se registró una capacidad máxima de transporte de 8.647 kg.h⁻¹, consumo específico de combustible de 3,94 L/(t.h.km⁻¹), potencia específica de 1,11 W.kg.h⁻¹ y costo específico de \$ 29.736.kg.h⁻¹.km. No hubo compactación de los suelos en alguna de las profundidades evaluadas, como consecuencia del empleo del sistema. La nueva tecnología puede utilizarse en los lotes para transportar el café recolectado y otros materiales como colinos de café y fertilizantes, entre otros. La tecnología diseñada y evaluada es una alternativa para transportar café en fincas, con mejores características técnicas, económicas y ambientales que las que actualmente se usan en Colombia.

Palabras clave: Compactación de suelos, capacidad de transporte, consumo de combustible, potencia específica.

ABSTRACT

A piece of equipment designed to transport coffee cherry, consisting of a winch powered by an engine of 9.56 kW and a wagon capable of carrying up to 225 kg of coffee berries was evaluated. The equipment was evaluated on a hillside up to 100% and a distance of 100m in the soil of the Chinchiná unit. Four trials with a load of 125 and 225 kg of cherry coffee were carried out. In each trial, coffee was transported 10 times on the same tracks and the soil bulk density was measured at depths of 5, 12 and 20 cm before and after the wagon passed. A maximum carrying capacity of 8.647 kg/h, a specific fuel consumption of 3.94 L/(t/h/km), a specific power of 1.11 W/kg/h and a specific cost of \$29.736/kg/h/km were registered. There was no soil compaction in any of the evaluated depths as a consequence of the system use. The new technology can be used in the plots to transport the collected coffee and other materials like nursery coffee plants and fertilizers, among others. The technology designed and evaluated is an alternative to transport coffee in farms with better technical, economic and environmental characteristics than those currently used in Colombia.

Keywords: Soil compaction, transport capacity, fuel consumption, specific power.

* Investigador Científico II, Investigador Principal, Investigador Científico I, respectivamente. Disciplina de Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

** Investigadora asociada a la Disciplina de Ingeniería Agrícola (hasta diciembre de 2006). Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

La zona cafetera colombiana comprende 3,3 millones de hectáreas, de las cuales 914.000 ha (27,7%) están sembradas en café (4), distribuidas en las vertientes de las cordilleras Occidental, Central y Oriental, en terrenos con pendiente moderada a fuerte (25% a 100%), con suelos principalmente derivados de cenizas volcánicas, que se caracterizan por presentar buenas propiedades físicas, altos contenidos de materia orgánica y alta capacidad de almacenamiento de agua, durante prácticamente todo el año (7).

La cosecha de café se realiza de forma manual durante prácticamente todo el año. Los frutos de café una vez recolectados y empacados en costales, con capacidad de 40 a 60 kg, son transportados desde los lotes hasta los sitios de acopio, en las fincas de mayor producción, o hasta la tolva de recibo del beneficiadero, utilizando diferentes medios, dependiendo de factores como la distancia a recorrer desde los lotes hasta los centros de acopio o el beneficiadero, de la topografía y condiciones del terreno, del costo y del flujo de cosecha, entre otros.

El transporte de los productos agrícolas desde los lotes hasta los sitios de acopio o de procesamiento es de gran importancia económica y puede afectar el rendimiento técnico y económico de los procesos, y la calidad del producto obtenido. Para el caso del café, se recomienda que el tiempo transcurrido entre la cosecha y el recibo en el beneficiadero sea máximo de 10 horas (14).

Entre las tecnologías utilizadas para el transporte de café en las fincas en Colombia se tiene:

Transporte manual. La carga se transporta al hombro ascendiendo o descendiendo en terrenos muy húmedos, generalmente, con pendiente de hasta 100% y distancias de

hasta 1 km. Dado lo arduo de esta labor, los recolectores tienen la tendencia a requerir a los caficultores que faciliten esta labor con la implementación de algún medio de transporte.

Adicionalmente, en el Estatuto de Seguridad Industrial, en la resolución 02400 de 1979, en el artículo 390 cita que para un individuo levantar un objeto desde el suelo sin detrimento de su salud, debe tener un peso inferior a 25 kg si es hombre y 12,5 kg si es mujer. El mismo estatuto en el artículo 392 dice que si el objeto es levantado entre dos o más individuos y llevado al hombro por uno de ellos, éste debe pesar máximo 50 kg si es hombre y 20 kg si es mujer. En el estudio de tiempos y movimientos en la cosecha de café realizado por Vélez *et al.* (20), registró que el decreto en mención no se cumple en las fincas cafeteras, porque solamente en el 5,9%, de un total de 187 casos, se levantaron cargas inferiores o iguales a 25 kg, y porque en el 61% de los casos la carga fue de 50 kg o menos.

Transporte animal. El uso de animales para el transporte dentro de la finca ha sido empleado a través de la historia y se continúa usando en la actualidad en países en vía de desarrollo; en África, por ejemplo, sigue siendo la alternativa viable (1, 18). En Colombia, el uso de tracción animal ha sido también parte de la historia cafetera pero se ha sustituido casi totalmente por el transporte al hombro de personas o por el transporte motorizado. No obstante, en fincas en las que se mantiene el transporte de café en cereza con mulas (Figura 1), es considerado un sistema económico, ya que los animales tiene un valor inicial relativamente bajo (una mula puede costar \$ 2 millones en promedio), su vida útil puede ser hasta de 25 años y su sostenimiento menor a \$ 100.000/año, si se dispone de potreros u otras formas de

proveer pasto. Sin embargo, en los ejercicios económicos de los usuarios no entra el valor de los caminos y su mantenimiento, lo mismo que el valor de los operarios que arrean, cargan y descargan las mulas, los cuales incrementan considerablemente los costos.

Las mulas tienen una capacidad máxima de 160 kg por tanda, y cargadas son capaces de andar a una velocidad promedio de $4,0 \text{ km.h}^{-1}$, lo que da una capacidad entre 640 kg.h.km^{-1} .

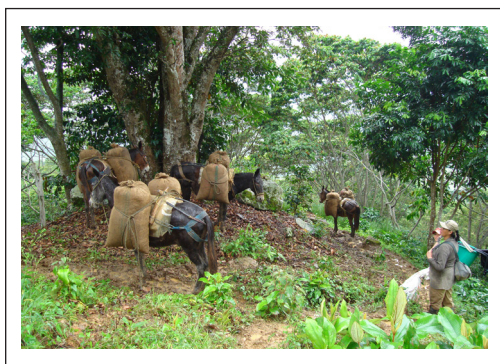


Figura 1. Transporte de café con mulas.

Transporte en vehículo. El transporte en camperos o en volquetas se utiliza en fincas grandes, con vías internas que comunican los lotes con los sitios de acopio y con el beneficiadero. Sin embargo, adicional a la compra o alquiler del o los vehículos y del pago de personal para conducirlos y para manejar la carga, se requiere gran inversión para la construcción de las vías y su mantenimiento.

Cafeductos. En este sistema se aprovecha la pendiente y un caudal de agua para transportar el café en cereza desde los lotes hasta el beneficiadero, utilizando una red de tuberías de PVC, que con ayuda de un flujo de agua y de la gravedad, permite diferentes lugares de alimentación a lo largo

del trayecto. La capacidad de transporte en terrenos cuya pendiente se encuentre entre 3,5% y 36,4% es independiente del diámetro de la tubería utilizada (11). La principal desventaja que posee este sistema corresponde a la contaminación del agua utilizada. Se recomienda recircular el volumen de agua, pero esta labor incrementa los costos de inversión y de operación del cafeducto.

Transporte por cable aéreo. El transporte por cable aéreo puede ser por gravedad o motorizado, dependiendo de la ubicación de los lotes y el beneficiadero. El primero consiste de un cable de acero apoyado en dos soportes, sobre el cual se mueve una carga desde un punto elevado hasta un punto ubicado en un nivel inferior, utilizando la energía potencial por la diferencia de alturas (10). Este sistema es muy utilizado en terrenos que presentan depresiones, pero solamente puede ser transportada una carga a la vez para evitar el descarrilamiento de las poleas. Para pendientes mayores al 15% se debe implementar un sistema para controlar la velocidad de las cargas.

El cable aéreo motorizado permite el traslado de café cereza, tanto en sacos como a granel, en una vagoneta metálica mediante tracción, desde un punto inferior a otro de mayor altura. Además, es muy versátil puesto que permite establecer tramos rectos y curvos (12, 13). Aunque la inversión resulta menor que el transporte en vehículos en carreteras internas dentro de la finca, la inversión inicial y los costos de operación siguen siendo muy elevados para pequeños y medianos caficultores.

El cable aéreo motorizado es utilizado ampliamente en el transporte de otros productos agrícolas y forestales. Según Lloyd (8), con este sistema se puede transportar madera cuesta arriba, cuesta abajo o en terreno llano.

Las mejores condiciones de seguridad se logran con pendiente máxima de 100% (8).

En cultivos de palma de aceite es importante el tiempo transcurrido desde el corte de los racimos hasta su llegada a la planta de extracción de aceite, ya que puede afectar la calidad del producto e incidir en el precio, de acuerdo con Calvo (1991) y Franco (1997), citados por López (9). Para transportar los racimos desde los lotes se utilizan góndolas remolcadas con tracción animal o tractor, camiones con cargue y descargue manual o mecanizado, tractomulas y cable vía. El costo del transporte de los racimos por tonelada de aceite representa el 9% de los costos totales (9).

Con cable vía, Fontanilla y Castiblanco (5) reportan una disminución en el costo de transporte de racimos de palma de aceite hasta del 30%; con ventajas adicionales como ahorro en la construcción y el mantenimiento de vías. Como desventaja se menciona la dificultad para operar el sistema que hala la carga sobre el cable vía (denominado tractor) por la reducción de la fricción en días lluviosos (5).

Castiblanco y Mosquera (2) evaluaron los sistemas alce manual y cable vía utilizados en la evacuación de racimos de palma de aceite desde los lotes, encontrando ventajas económicas con el cable vía en áreas relativamente grandes, por los altos costos de construcción y mantenimiento de las vías cuando se utiliza alce manual y transporte hasta los sitios de acopio en camión o volqueta.

Vehículos dentro del lote. Éste es el sistema menos conocido para emplear en plantaciones de café, el cual se usa exitosamente en viñedos plantados en altas pendientes (3, 17). El sistema consiste en un malacate y

un vagón que se mueve hacia arriba y hacia abajo dentro de la plantación por medio de un cable, el cual se presume de mínimo impacto sobre el suelo, porque al ser halado no existe desplazamiento relativo entre las ruedas del vagón y el suelo, considerado como principal causante de erosión. Así mismo, la compactación del suelo puede ser manejada distribuyendo la carga de la vagoneta sobre el área de contacto de las ruedas con el suelo. En un estudio, Sanz (17) determinó los esfuerzos en función de la profundidad causados a un suelo de textura franco-arenosa cuando pasa una rueda de un vehículo; en las Figuras 2 y 3 se muestra la distribución de esfuerzos normales y transversales sobre el suelo, respectivamente, cuando se utiliza una presión de contacto de 63 kPa, la cual es similar a la que causa una persona desplazándose sobre la plantación.

En esta investigación se evaluó un prototipo para el transporte de café en cereza en laderas el cual puede ser una alternativa para el movimiento del café hasta los centros de acopio dentro de la finca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Esta investigación se desarrolló en la Estación Central Naranjal del Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, ubicada a 4° 59' latitud Norte, 75° 39' longitud Oeste, localizado en el municipio de Chinchiná (Caldas), a una altitud de 1.400 m, con un promedio de temperatura 20,8°C, humedad relativa del 78,% y precipitación anual de 2.656 mm.

Metodología. La investigación se realizó en dos etapas. La primera etapa consistió en el diseño, construcción y puesta a punto del sistema de transporte, y la segunda consistió en la evaluación del sistema de transporte en el campo.

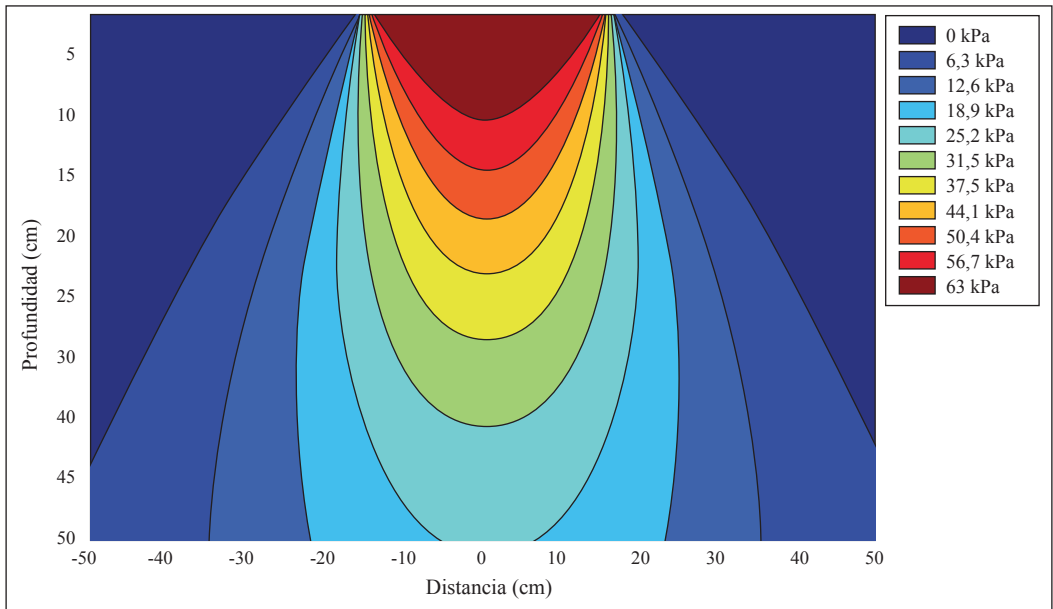


Figura 2. Distribución de esfuerzos normales sobre un suelo franco-arenoso con una presión de contacto de 63 kPa.

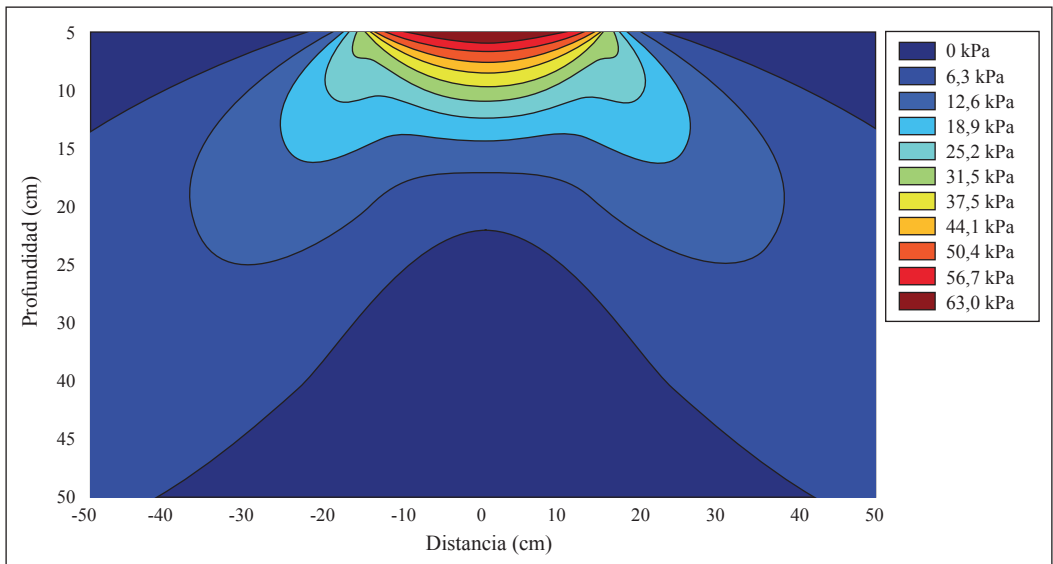


Figura 3. Distribución de esfuerzos transversales sobre un suelo franco-arenoso con una presión de contacto de 63 kPa.

Diseño, construcción y puesta a punto. Existen diferentes metodologías para realizar el diseño de un producto de una manera

ordenada, que conlleve a un desarrollo con alta probabilidad de éxito. Una de las principales tendencias que se sigue en el diseño

moderno de productos es la filosofía DEM (*Desing for Economic Manufacture*), la cual consiste en considerar que el producto sea económicamente viable desde la concepción hasta la comercialización. Para este fin se empleó la siguiente metodología estructurada de diseño, de acuerdo con la filosofía DEM (6, 17, 19):

1. Planteamiento del problema a solucionar
2. Establecimiento de las especificaciones de diseño a cumplir
3. Determinación de las diferentes opciones para solucionar el problema
4. Selección del concepto con mayor viabilidad
5. Diseño detallado de las partes que conforman ese concepto
6. Evaluación del diseño hasta que cumpla con las especificaciones de diseño

Dentro de cada uno de los pasos se realizaron evaluaciones que condujeron a ciclos de diseño, los cuales consistieron en devolverse a pasos anteriores si no se cumplía con las especificaciones de diseño.

Identificación del problema. El problema identificado radicó en la dificultad que tienen tanto los recolectores en el transporte de café en cereza y el costo para los caficultores.

Especificaciones de diseño. Las especificaciones básicas de diseño que se quisieron cumplir en esta investigación fueron obtener un sistema de transporte confiable, robusto, sencillo, seguro, de bajo costo, que produjese baja erosión y baja compactación del suelo, transportando una carga de 225 kg a una velocidad promedio de 3,5 km/h.

Generación de conceptos. Para el cumplimiento de esta etapa se empleó una

carta morfológica (6, 17), la cual consistió en la construcción de una tabla donde se incluyeron las funciones básicas que debía cumplir la solución y las diferentes opciones que pudieran realizar esa función. La carta morfológica permitió obtener un conjunto de soluciones a evaluar en la siguiente etapa del diseño.

Evaluación de conceptos. El conjunto de soluciones obtenido de la etapa previa se evaluó para obtener un número más reducido de soluciones a diseñar de manera más detallada. En este sentido, se empleó la Técnica de Convergencia Controlada (6, 17), que consistió en la comparación de manera iterativa de las diferentes opciones hasta que se seleccionaron una o dos como las mejores.

Análisis y diseño detallado. Para cumplir esta etapa se utilizó el programa Mechanical Desktop® para diseño dimensional y para el análisis estructural se utilizó el programa SAP 2000® (Structural Analysis Program). Además de la resistencia mecánica de los elementos, en el diseño se tuvo en cuenta la seguridad, la facilidad de construcción, el peso y la envergadura, los materiales, la facilidad de consecución de los mismos, la facilidad para el mantenimiento, la facilidad para realizar las pruebas y la estética.

Evaluación del diseño. Cuando se terminó el diseño se practicó un examen en el cual se calificó el cumplimiento de las especificaciones de diseño. Cuando éstas se cumplieron de manera satisfactoria se consideró listo el diseño para iniciar la etapa de construcción y puesta a punto.

Construcción y puesta a punto. Posterior a la construcción se realizaron las labores necesarias para poner a punto el producto diseñado antes de su evaluación.

Evaluación en el campo del sistema de transporte.

Las pruebas se realizaron en una parcela de 0,3 ha, con pendiente de 100% y longitud aproximada de 100 m. Se utilizó el equipo con dos cargas de café, 125 kg y 225 kg, la carga máxima del diseño. El café se depositó en sacos, cada uno con 25 kg, teniendo en cuenta la resolución 2400 de 1979 del Ministerio del Trabajo y Seguridad Social sobre carga máxima permitida para varones. Para cada carga de café se realizaron cuatro repeticiones, cada 15 días. Para la operación del equipo se necesitaron dos personas.

Para cada carga, el vagón se desplazó sobre el terreno, 20 veces. En cada desplazamiento se registró la siguiente información:

- Velocidad media de transporte, en ascenso y descenso
- Distancia recorrida
- Tiempo
- Consumo de combustible

Adicionalmente, mediante el método de los cilindros, en las huellas dejadas por las ruedas del vagón, cuatro muestras por huella, se midió la densidad aparente del suelo al iniciar y finalizar cada una de las pruebas. Se utilizó un cilindro de 5,36 cm de diámetro y una altura de 3 cm, para penetrar el suelo hasta una profundidad de 5 cm, 12 cm y 20 cm. Se eliminaron las partes superior e inferior de la muestra de suelo para garantizar una muestra sin disturbar y se determinó su contenido de humedad en la estufa a 105°C por 48 horas. A los datos se les realizó un análisis descriptivo y se le construyó intervalo para el promedio, con un coeficiente de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El equipo de transporte diseñado estuvo constituido básicamente de dos partes: un malacate y un vagón. Los dos sistemas se unieron a través de una soga de fibra plástica que se utiliza para halar o dejar bajar controladamente el vagón en las plantaciones de café.

El malacate (Figura 4) está compuesto principalmente por un motor de combustión interna de 9,56 kW (13 hp) y un sistema de reducción con relación total de 140:3, conformado a su vez por un reductor de tornillo sinfín y corona con relación 20:1, y una transmisión por cadena de rodillos con relación 49:21. Adicionalmente, al sistema de malacate se le adicionó un embrague de bandas y poleas que funciona tensionando o distensionando una transmisión a través de un mecanismo de biela-manivela-deslizador, un sistema de rueda libre para evitar la resistencia causada por el movimiento del sistema de reducción cuando el vagón baja, un sistema de freno de doble zapata sobre tambor externo, con capacidad para 10 toneladas, y un par de ruedas frontales para darle la posibilidad de ubicarlo en la parte alta de terrenos donde se va a subir la carga.



Figura 4. Malacate.

El tambor del malacate es un tubo de 30 cm de diámetro, el cual tiene la posibilidad de enrollar la cuerda a una velocidad media de 3,5 km.h⁻¹, produciendo un par torsor de 375 N.m, el cual es suficiente para subir la carga deseada por una pendiente de hasta 100%. Se empleó una soga de 19 mm de diámetro (¾") y una longitud de 125 m, con capacidad para resistir hasta 56,9 kN de carga.

El vagón, con un peso de 75 kg, consiste en una plataforma metálica de 60 cm x 120 cm, a la cual se le instalaron cuatro ruedas metálicas de 40 cm de diámetro y 15 cm de ancho (Figura 5). Con el ánimo de reducir el peso de la estructura se complementó con tablas y listones de madera tipo carrocería, con la posibilidad de remover las puertas para agilizar la carga de la plataforma. La altura del vagón fue de 60 cm. Todos los elementos fueron calculados para resistir una carga máxima de 225 kg de café en cereza y las ruedas fueron diseñadas para producir una presión de contacto menor a la que causa una persona caminando, estimada en 63 kPa (17).

En la Figura 6 se presenta el equipo transportando café en terreno con pendiente del 100%.

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos con el equipo transportando 125 kg y 225 kg de café en el vagón.

Capacidad de transporte. El promedio de la capacidad de transporte en el terreno utilizado para evaluar el equipo (pendiente de 100% y longitud de 100 m) fue de 4.488,3 kg.h⁻¹ transportando 125 kg en el vagón y 8.646,6 kg.h⁻¹ con 225 kg en el vagón. Considerando 2 horas de trabajo diarias, con las capacidades anteriores se podría transportar hasta 17.293 kg.día⁻¹, cantidad de café que se podría recolectar en el día de mayor flujo de cosecha (día pico), en una finca con producción anual de 172.932 kg de café pergamino al año. Para efectos de comparación con otros sistemas, las unidades se transformaron a capacidad específica por kilómetro, de tal manera que las capacidades serían de 448,8 kg.h⁻¹.km (125 kg de café cereza) y 864,7 kg.h⁻¹.km (225 kg de café cereza). El valor mayor es superior a la capacidad de una mula

Consumo de combustible. El consumo de gasolina corriente varió de 3,9 a 6,9 L/[t.h.km⁻¹]; el menor valor se obtuvo cuando se transportaron 225 kg en el vagón. Este resultado podría atribuirse al mejor



Figura 5. Vagón con ruedas metálicas.



Figura 6. Equipo diseñado para transportar café en terrenos de alta pendiente.

Tabla 1. Resultados obtenidos con el equipo diseñado para transportar café en terrenos de alta pendiente.

Ensayo	Capacidad kg.h ⁻¹		Consumo combustible L/[t.h.km ⁻¹]		Potencia específica (W.kg.h ⁻¹)		Costo específico \$/ [t.h.km ⁻¹]	
	Carga transportada (kg)		Carga transportada (kg)		Carga transportada, (kg)		Carga transportada (kg)	
	125	225	125	225	125	225	125	225
1	4.463,8	8.375,4	6,72	4,06	2,14	1,14	51.798,8	30.381,0
2	4.507,3	8.928,6	7,12	3,81	2,12	1,07	50.714,6	29.392,6
3	4.780,7	8.438,8	6,34	4,03	2,00	1,13	47.996,9	29.678,2
4	4.201,6	8.843,7	7,24	3,84	2,28	1,08	54.801,6	29.493,1
Media	4.488,3	8.646,6	6,86	3,94	2,13	1,11	51.328,0	29.736,2
D.E.	237,1	279,9	0,41	0,13	0,11	0,04	2.814,3	445,8

aprovechamiento de la energía entregada por el motor del equipo con la mayor carga.

Potencia específica. Se calculó la potencia específica considerando la potencia instalada en el equipo (9,56 kW) y la carga transportada (kg.h⁻¹) para las dos condiciones consideradas (125 y 225 kg). El menor valor de potencia específica se obtuvo transportando 225 kg de café en cereza por hora, 1,11 W.kg.h⁻¹ (D.E. 0,04 W.kg.h⁻¹), que indica mejor aprovechamiento de la potencia instalada.

Costo específico. Se estimó el costo específico de utilizar el equipo considerando:

Costo del equipo: \$ 10.000.000
Vida útil: 2.000 h
Valor residual: 0
Depreciación lineal: \$ 5.000
Consumo de combustible, L.h⁻¹: 3,4
Costo de combustible, \$/h: 7.605,3
Mano de obra requerida, jornales: 2
Valor jornal; \$: 25.000
Costo de mano de obra, \$/h: 10.000
Costo de operación del equipo, \$/h: 22.625,3

Con la información anterior se observa que el costo de utilizar el equipo varía en promedio de \$ 29.736,2 a \$ 51.328/(t.h.km⁻¹). A partir de esta información se podría estimar

el costo de transporte para una determinada carga y recorrido (longitud).

Los valores obtenidos de densidad aparente del suelo en las huellas dejadas por el vagón se presentan en las Figuras 7 y 8. Los valores de densidad aparente obtenidos con y sin carga son similares a los reportados por Salamanca (15), para suelos de la unidad Chinchiná. Contrario a lo mencionado por Salamanca y Sadhegian (16), la densidad aparente del suelo no aumentó en los primeros 20 cm de suelo. Se observa que aunque el vagón realizó el mismo recorrido diez veces con cada carga, las densidades aparentes del suelo fueron estadísticamente iguales a las profundidades de 5, 12 y 20 cm. Estos resultados indican que la presión generada por la carga (peso del vagón + peso del café en cereza) no causa compactación del suelo, recorriendo 10 veces la misma trayectoria.

Finalmente, puede concluirse que:

La tecnología diseñada puede utilizarse para transportar café en cereza en terrenos con pendiente de 100%, con un promedio de capacidad de 8.647 kg.h⁻¹, en una longitud de 100 m, consumo específico de combustible de 3,94 L/(t.h.km⁻¹), potencia específica de

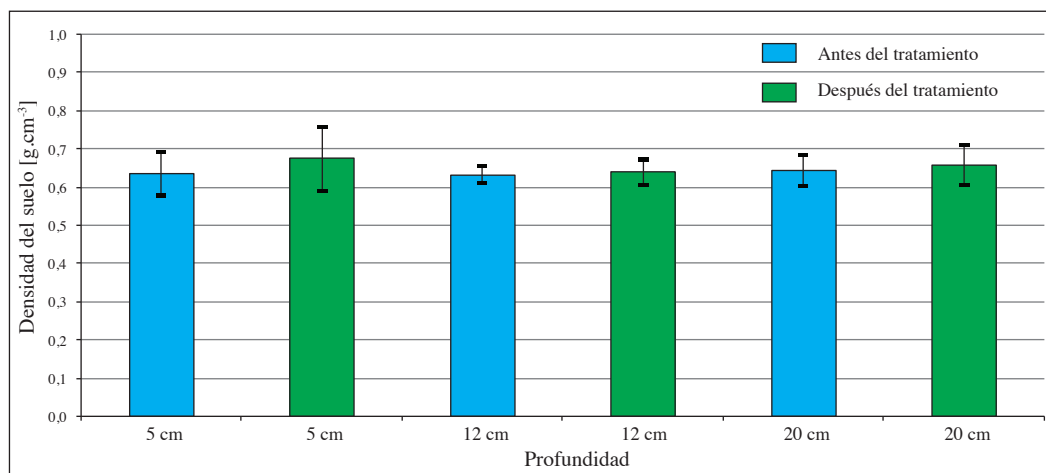


Figura 7. Densidad aparente del suelo a diferentes profundidades, antes y después del tratamiento, para la carga de 125 kg.

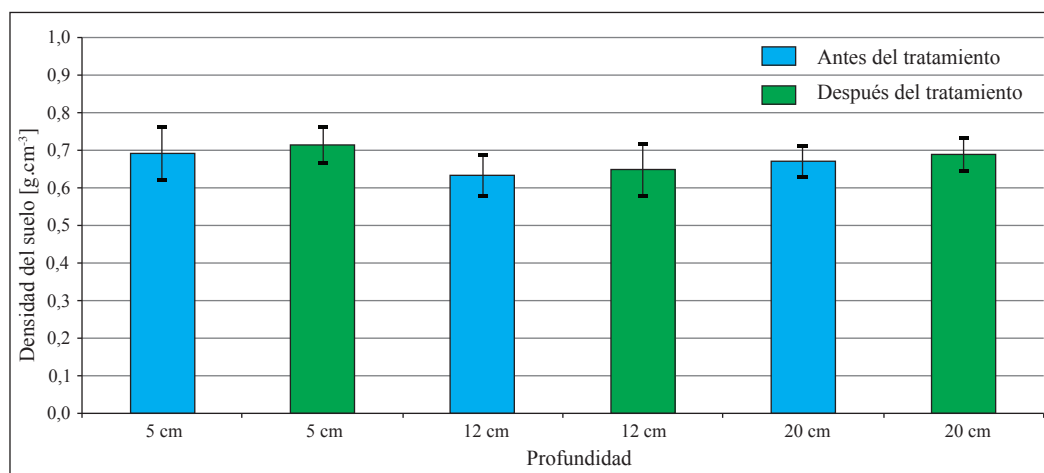


Figura 8. Densidad aparente del suelo a diferentes profundidades, antes y después del tratamiento, para la carga de 225 kg.

1,11 W/kg/h y costo específico de \$ 29.736/kg.h-km⁻¹ con el modelo diseñado.

No se observó compactación de los suelos en profundidades de 5 cm, 12 cm y 20 cm, como consecuencia de su empleo. La nueva tecnología puede utilizarse en los lotes para

transportar el café recolectado y otros materiales como colinos de café y fertilizantes, entre otros. La tecnología diseñada y evaluada podría ser una alternativa para transportar café en fincas con mejores características técnicas, económicas y ambientales que las disponibles en Colombia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al señor Diego Arango de la empresa INDUMA, fabricante del primer prototipo del Transcafé, así como sus ideas aportadas al desarrollo de esta investigación. De igual manera, agradecen al personal del taller de la disciplina de Ingeniería Agrícola de Cenicafé por su colaboración en la construcción de los prototipos experimentales.

LITERATURA CITADA

1. AYO O., J.; MUTYABA, C.; KALUNDA, P. Improving on-farm transport using animal draught power in two hilly districts of western Uganda. Mpumalanga [South Africa] : ATNESA, 1999. 344 p.
2. CASTIBLANCO, J.S.; MOSQUERA, M. Evaluación económica de dos sistemas de evacuación de fruto: Alce manual y cable vía. Revista palmas 31(1):33-42. 2009.
3. DIETRICH, J. Mechanisierung und produktionsplanung im steillagenweinbau. Darmstadt : KTBL, 1995.
4. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Colombia es café. [PDF]. Bogotá : FNC, 2011. 5 p.
5. FONTANILLAD., C.A.; CASTIBLANCO, J.S. Cable vía en la cosecha de palma de aceite. Revista palmas 30(4):53-64. 2009.
6. FRONCZAK, F.J. Product design ME-549 lecture notes. Wisconsin : University of Wisconsin, 1999.
7. GÓMEZ G., L.; CABALLERO R., A.; BALDIÓN R., J.V. Ecotopos cafeteros de Colombia. Bogotá : Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1991. 131 p.
8. LLOYD, A.H. Extracción de maderas por medio de grúas de cable aéreo. [En línea]. Roma : FAO, [s.f.]. Disponible en internet: <http://www.fao.org/docrep/x5369S/x5369s06.htm>. Consultado el 29 de Febrero de 2012.
9. LÓPEZA., A. Evaluación de tres sistemas de transporte interno de fruta en palmas Montecarmelo S.A. Valledupar : Universidad Nacional de Colombia.
- Escuela de postgrados, 2009. 48 p. Tesis: Especialista en cultivos perennes industriales.
10. PARRA R., H.; ÁLVAREZ M., F.; ROA M., G. Transporte de café cereza por cable aéreo de gravedad. Revista facultad nacional de agronomía Medellín 42(2):31-57. 1989.
11. PATIÑO T., A. Evaluación de cafeductos: Informe final. Chinchiná : Comité departamental de cafeteros de Antioquia : CENICAFÉ, 1990. 64 p.
12. PATIÑO V., F. Diseño y construcción de un transportador mecánico de café cereza por cable aéreo. Cali : Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería, 1992. 326 p. Tesis: Ingeniero mecánico.
13. PATIÑO V., F.; GÓMEZ P., A.L.; ÁLVAREZ M., F. Diseño y construcción de un transportador mecánico de café cereza por cable aéreo. Revista facultad nacional de agronomía Medellín. 47(1/2):73-88. 1994.
14. PUERTA Q., G.I. Buenas prácticas agrícolas para el café. Chinchiná : CENICAFÉ, 2006. 12 p. (Avances Técnicos No. 349).
15. SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera. Cenicafé 56(4):381-397. 2005.
16. SALAMANCA J., A.; AMÉZQUITA C., E. Densidad aparente de dos suelos de la zona cafetera y efecto sobre el crecimiento del cafeto. Cenicafé 55(4):330-340. 2004.
17. SANZ U., J.R. Mobile device for mechanical harvesting of coffee in steep terrain. Saarbrücken [Alemania] : VDM Verlag, 2008. 152 p.
18. SIMALENGA, T.E.; BELETE, A.; MZELENI, N.A.; JONGISA, L.L. Profitability of using animal traction under smallholder farming conditions in eastern Cape, south Africa. Mpumalanga [South Africa] : ATNESA, 1999. 344 p.
19. ULLMAN, D.G. The mechanical design process. 3a. ed. Nueva York : McGraw Hill, 1997. 400 p.
20. VÉLEZ Z., J.C.; MONTOYA R., E.C.; OLIVEROS T., C.E. Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual del café. Chinchiná : CENICAFÉ, 1999. 91 p. (Boletín Técnico No. 21).