

# Presión estática ejercida al suelo por sistemas para transporte interno de racimos de fruta fresca en palma de aceite

## Static Pressure Exerted on the Ground by Internal Transport Systems for Oil Palm Dresh Fruit Bunches

### AUTORES

**Oscar Alberto Alfonso C.**

Sección de Mecanización,  
Programa de Agronomía,  
Cenipalma.

**Ricardo Botero**

Sección de Mecanización,  
Programa de Agronomía,  
Cenipalma.

**Hernán Mauricio Romero**

Sección de Mecanización,  
Programa de Agronomía,  
Cenipalma.  
Departamento de Biología,  
Universidad Nacional de Colombia.  
E-mail: hromero@cenipalma.org

### Palabras CLAVE

Área de contacto, Presión estática,  
Sistema de transporte de RFF.

Contact surface, Static pressure, FFB  
transport system

Recibido: 3 noviembre de 2009  
Aceptado: 30 noviembre  
de 2009

### Resumen

La presión estática es uno de los factores que afectan en forma directa la degradación mecánica en suelos; cambian propiedades físicas como densidad aparente, resistencia a la penetración, porosidad e infiltración, entre otras. En este suceso intervienen diversas causas, como por ejemplo la formación de suelos, los cambios en contenido de humedad, la introducción de animales de tiro o cargue, la velocidad de tránsito y el peso de los equipos. En esta investigación se identificaron inicialmente las características técnicas de los sistemas, con el objeto de que las mismas contribuyeran a determinar el área de contacto neumático/suelo y pezuña/suelo, en sistemas mecanizados y tradicionales, respectivamente. Entre esas características se encuentran el peso de los sistemas, la capacidad máxima de carga de racimos de fruta fresca (RFF) y la huella dejada por los animales de tiro. Se encontró que la presión estática ejercida por los animales es comparable con la de los sistemas mecanizados, y ambos fueron superados únicamente por un sistema que utiliza como fuente de potencia un tractor de 65 hp; además, se observaron los beneficios de utilizar neumáticos tipo avión en los sistemas mecanizados.

### Summary

Static pressure is one of the factors directly affecting soil mechanical degradation. It changes physical properties such as apparent density, penetration resistance, porosity, and infiltration, among others. There are many causes and interactions involved in this degradation, some of the most important are soil genesis, humidity content changes, animal usage on throw and loading, transit speed, equipment weight, etc. In the



present research, technical characteristics of the systems, important for tire contact area / soil and hoof / soil determination on traditional and mechanized systems were investigated. The results show that static pressure caused by animals is comparable to that of the mechanized systems. Only the static pressure of a 65 hp tractor was higher than that produced by animals. Also it was possible to see the advantages of the airplane-type tires on mechanized systems.



## Introducción

El cultivo de palma de aceite en Colombia ha mostrado un crecimiento notable desde el año 2002. En 2007 se reportaron 326.033 has (Fedepalma, 2008), representativas de un incremento de 76,1% en área sembrada; en el mismo año se generaban cerca de 75.000 empleos directos en las zonas palmeras (Oriental, Norte, Central y Occidental), que significan crecimiento económico para el país y bienestar para la población rural que tiene en este cultivo su único sustento.

Entre las múltiples labores realizadas en una plantación de palma de aceite, una de las más frecuentes es el transporte interno de fruto, para el cual se identifican diversos sistemas, e inclusive en una misma región es posible observar múltiples formas de realización de esa actividad; los más comunes utilizan como fuente de potencia animales de tiro o cargue (búfalos, bueyes y mulas) de acuerdo con las condiciones topográficas, edáficas y tradicionales de las zonas correspondientes.

Algunas plantaciones han mostrado interés por los sistemas mecanizados, principalmente tractores con remolques y volteo hidráulico (lateral o trasero), transporte de frutos sobre mallas, alce con grúas al sistema de transporte externo y a la planta de beneficio, y cable vía con tracción manual o mecánica (tractores aéreos). Del uso de tales sistemas se ha logrado como estímulo para las plantaciones, entre otros, el mayor rendimiento de la labor, y la disminución de los requerimientos de mano de obra, que se ha visto escasa en algunas zonas palmeras con el crecimiento del área sembrada. El uso de estos sistemas tiene repercusiones importantes sobre la vida productiva de los suelos e inclusive sobre el estado fitosanitario de los cultivos, como lo reportan Acosta y Munévar

(2005), cuyo estudio mostró que cada uno de los sistemas trae consecuencias sobre la compactación en suelos, y que disminuir su efecto ofrece grandes ventajas económicas, técnicas y productivas en las plantaciones.

Varios autores han relacionado la presión neumático/suelo con la compactación: Smith & Dickson (1990), reportado por Jorajuria *et al.* (2000), revisaron varios antecedentes que evidencian que la presión en la zona de contacto rueda/suelo puede influir en la compactación superficial. Raper y Erbach (1990), publicado por Terminiello *et al.* (2000), concluyeron que la compactación depende de la carga aplicada, la presión ejercida, el contenido de humedad y la intensidad de tránsito sobre el terreno. Victor y Cartwright (1993), reportado por Botta *et al.* (2001), concluyeron que la baja presión ejercida por neumáticos anchos produce una reducción en la compactación superficial, mejora la tracción y disminuye la resistencia a la rodadura. Botta *et al.* (2002) encontraron que la presión rueda/suelo influye sobre la compactación superficial, mientras el peso a profundidades superiores de 400 mm es responsable de la compactación sub-superficial.

Richmond *et al.* (2006) definen la compactación como el aumento de la densidad del suelo como resultado de las cargas o presiones aplicadas. Hetz *et al.* (1996) reportado por González *et al.* (2007), dicen que la compactación es debida al tráfico con máquinas y se encuentra influenciada directamente con las condiciones físicas de suelo, la carga sobre los propulsores y el área de contacto con el terreno. De esta manera, los animales incluidos en los lotes de plantaciones para realizar diversidad de labores (cosecha, fertilización, manejo fitosanitario, transporte de insumos etc.), intervienen en la degradación mecánica de los mismos. Taboada (2007) reporta que las presiones son función



de la masa del animal, el tamaño de la pezuña y la energía cinética, y que ellas son comparables a las ejercidas por tractores no cargados y a las presiones de tracción que realizan vehículos arrastrados; el autor muestra algunos ejemplos de presiones para algunos animales, así como la ejercida por hombre y mujer (Tabla 1).

**Tabla 1.** Peso comparativo, área de apoyo y presión estática de animales en pastoreo, hombres y mujeres (Greenwood y Mc Kenzie, 2001)

	Masa (kg)	Área total superficial (cm <sup>2</sup> )	Presión estática Kpa
Ovinos	40 - 54	55 - 84	48 - 83
Vacunos	306 - 612	98 - 192	98 - 192
Equinos	400 - 700	54 - 95	54 - 95
Hombre	61 - 75	41 - 45	41 - 45
Mujer	46 - 73	45 - 79	57 - 108

Fuente: Taboada 2007.

Con el objetivo de conocer los aspectos técnicos y su posible influencia sobre la degradación mecánica de suelos, se llevó a cabo un estudio en algunos de los sistemas para transporte interno de RFF en la Zona Oriental de Colombia; como variable de respuesta se escogió la presión estática ejercida sobre el suelo con cada uno de los sistemas.

## Metodología

Se analizan las características técnicas para diferentes sistemas de transporte interno de racimos: sistema con tractor remolque llanta de avión – TRLLA (Figura 1), búfalo con malla y zorrillo BMZ1 (Figura 2), sistema de tractor remolque llanta convencional TRLLC (Figura 3), tractor remolque sin alce hidráulico TRS (Figura 4), sistema búfalo con malla y zorrillo BMZ2 (Figura 5) y bueyes con remolque BR (Figura 6) fueron determinados en diferentes plantaciones de la Zona Oriental de Colombia.

Para cada uno de los sistemas se tomaron las características de los neumáticos empleados, el peso del tractor y remolque o zorrillo para transporte de RFF, el peso total de RFF transportado, el peso de búfalos y bueyes, y la huella dejada por los animales, y se determinó con estos datos la presión estática ejercida sobre el suelo con los sistemas.



**Figura 1.** Sistema de transporte con tractor remolque con llanta de avión TRLLA



**Figura 2.** Sistema de transporte con búfalo malla y zorrillo BMZ1.



**Figura 3.** Sistema de transporte con tractor remolque de llanta convencional TRLLC.

Para determinar la superficie de los neumáticos en contacto con el terreno se utilizó la ecuación propuesta por Inns y Kilgour (1978), reportada por Smith *et al.*, (2005) y González *et al.* (2007); los autores consideran que el modelo matemático puede ser utilizado eficazmente para superficies rígidas y deformables, y estiman que el área en contacto de los neumáticos sobre una superficie rígida se asimila a un rectángulo (Ecuación 1); sin embargo, por la forma que presen-



**Figura 4.** Sistema de transporte con tractor remolque sin alce hidráulico TRS.



**Figura 5.** Sistema de transporte con búfalo malla y zorrillo BMZ2.



**Figura 6.** Sistema de transporte con bueyes con remolque BR.

tan, existen dos factores que modifican o alteran la ecuación 1 (Ecuación 2).

$$A = 0,87b_c * 0,31d_c$$

Donde:

$b_c$ : ancho medio del neumático montado en llanta a presión correcta mm

$d_c$ : diámetro externo del neumático mm

**Ecuación 2.** Área estimada para neumáticos en suelo rígido.

Para suelos deformables o labrados, la superficie se aproxima de igual forma a un rectángulo, donde L está definida por Bekker (1985) (Ecuación 3), reportada por Smith *et al.* (2005).

$$L = 2 * \sqrt{\delta (d_c - \delta)}$$

Donde:

$\delta$ : deformación máxima del neumático 0,2 h – mm  
h: toro del neumático 0, 85b

**Ecuación 3.** Estimación de la longitud del rectángulo para neumáticos en suelo suelto o recién labrado.

Para la determinación de la presión media específica sobre el suelo, se consideró que el peso está distribuido de igual forma en cada uno de los remolques o zorrillos utilizados para el transporte de fruto y animales de tiro; para los tractores evaluados se consideró una distribución del peso como se observa en la Figura 7 por el hecho de utilizar tractores con tracción asistida según Marrón (2002); posteriormente se utilizó la Ecuación 4.

$$A = b * L$$

Donde:

A: área del rectángulo (m<sup>2</sup>)  
b: ancho del rectángulo (m)  
L: lado del rectángulo (m)

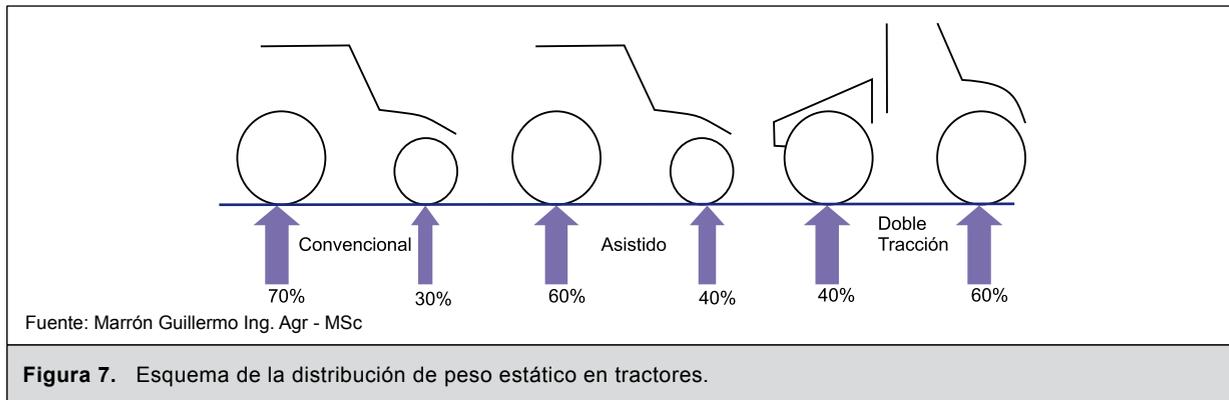
**Ecuación 1.** Área estimada para un rectángulo.

$$P = \frac{W}{A}$$

Donde:

W: Carga sobre el neumático KN  
A: área de contacto del neumático m<sup>2</sup>  
P: presión estática sobre el suelo KPa

**Ecuación 4.** Estimación de la presión estática sobre el suelo.



Para la determinación del área de contacto de los búfalos o bueyes se tomó una huella de estos y se proyectó a una hoja de papel milimetrado, considerando que el peso se distribuye de igual forma en el animal.

## Resultados y discusión

### Especificaciones de los sistemas para transporte de RFF

Los sistemas mecanizados presentan los mayores pesos en báscula, así como una mayor capacidad de carga, a excepción del sistema de transporte bueyes con remolque BR con capacidades de carga similares a las mecanizadas; sin embargo, se tienen rangos de capacidad desde 2.000 hasta 3.160 kg por sistema. La capacidad de tiro de los animales, dependiendo de la plantación y del número de animales, varía desde 1.000 kg BMZ1 y BMZ2 hasta 3.000 kg para BR (Tabla 2).

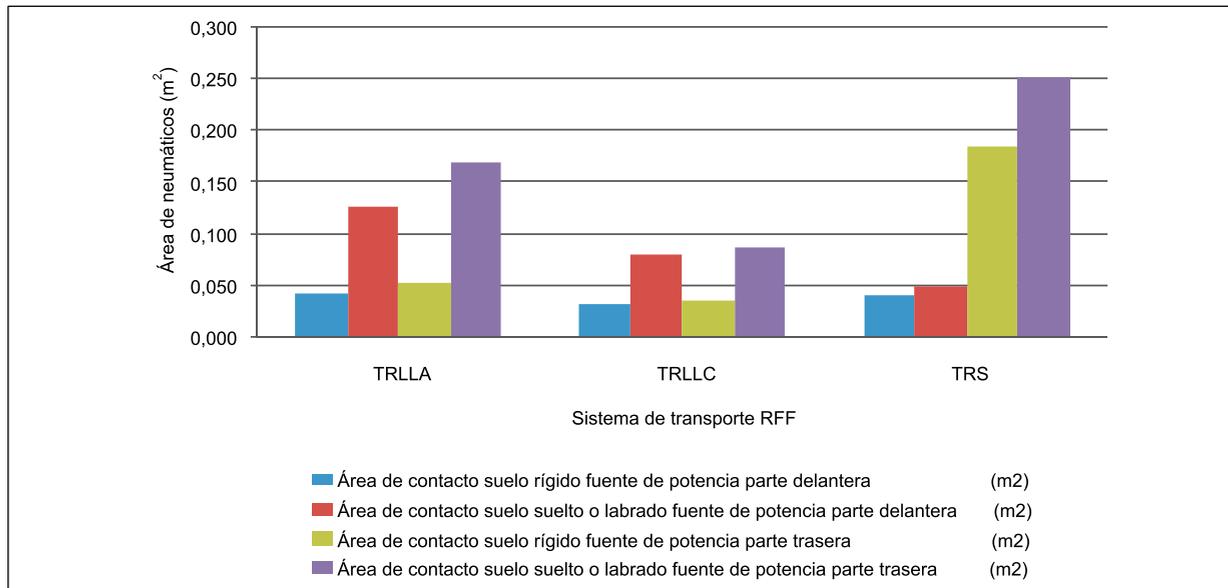
La fuente de potencia de los sistemas mecanizados cuenta con diferentes tipos de neumáticos para las ruedas traseras y delanteras de los tractores, e inclusive para tractores con igual potencia, como es el caso de los sistemas TRLLA y TRLLC; en los remolques se encontraron las mismas ruedas para los sistemas mecanizados y de tiro animal, con excepción del sistema TRLLA, que utiliza llantas de avión. Dependiendo del sistema, la capacidad de carga y la plantación, se observó diferente número de llantas en el remolque o zorrillo, variando desde 2 hasta 4 llantas para el transporte interno de RFF.

### Área de contacto

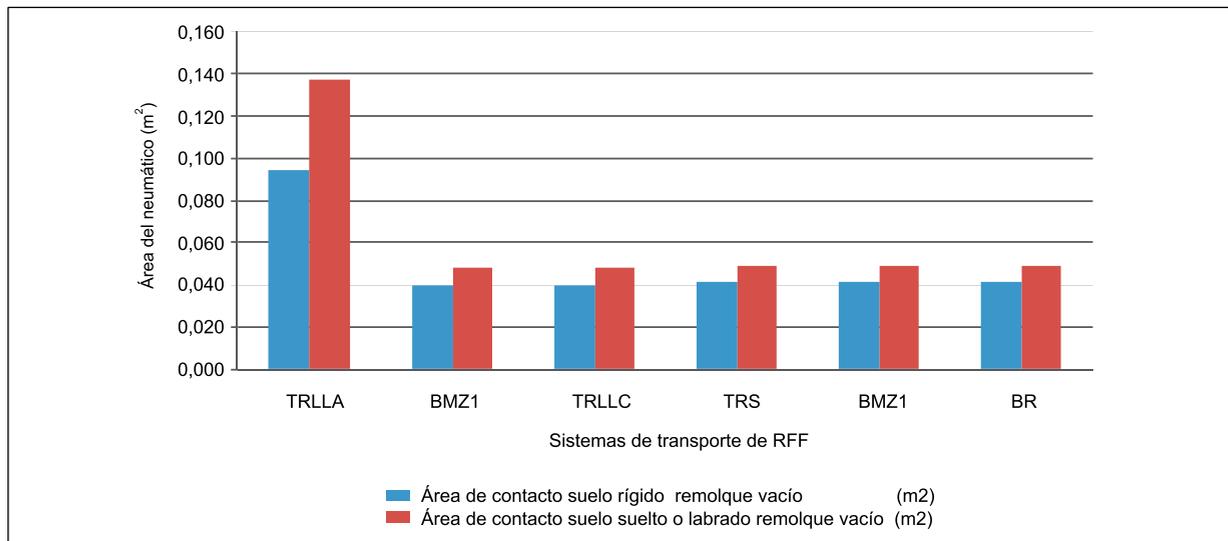
El área de contacto de los diferentes sistemas de remolque se muestra en las Figuras 8, 9 y 10. Se observa que en fuente de potencia varió desde 0,032 hasta 0,253 m<sup>2</sup> para neumático delantero del TRLLC suelo rígido y neumático trasero del TRS para suelo suelto

**Tabla 2.** Características técnicas de los diferentes sistemas de transporte de RFF

	TRLLA	BMZ1	TRLLC	TRS	BMZ2	BR
Peso total del sistema en vacío (KN)	28,91	11,76	31,26	44,30	11,86	24,50
Peso tractor (KN)	15,78	-	17,64	30,87	-	-
Potencia (hp)	25	-	25	65	-	-
Peso eje delantero (KN)	6,31	-	7,06	12,35	-	-
Peso eje trasero (KN)	9,47	-	10,58	18,52	-	-
Peso remolque o zorrillo (KN)	13,13	2,94	13,62	13,43	3,53	11,76
Peso búfalo (KN)	-	7,84	-	-	8,33	-
Peso buey (KN)*2 animales	-	-	-	-	-	12,74
Capacidad de carga del sistema (KN)	19,60	9,80	29,40	31,95	9,80	29,40
Neumáticos usados eje delantero del tractor	8.00 - 16.0	-	6.00 - 14	7.5 - 16	-	-
Neumáticos usados eje trasero del tractor	14.9 - 24	-	9,50 - 24	18.4 - 30	-	-
Neumáticos usados en remolque o zorrillo	14 - 40	7.5 - 16	7.5 - 16	7.5 - 16	7.5 - 16	7.5 - 16
Número de neumáticos en sistema de cargue	2	2	4	4	2	4



**Figura 8.** Área de contacto neumático/suelo fuente de potencia.



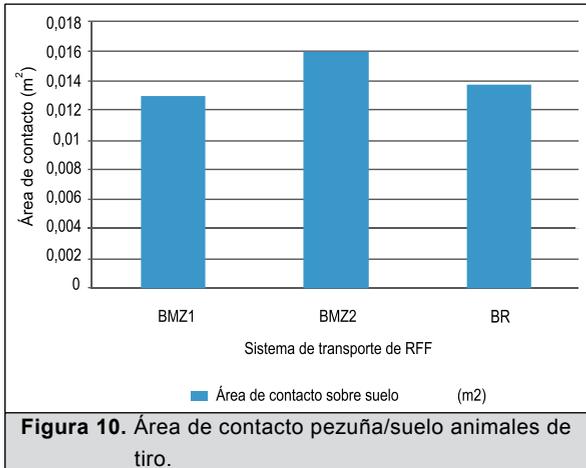
**Figura 9.** Área de contacto neumático/suelo remolque y zorrillos.

o labrado, respectivamente. Los diferentes sistemas cuentan con el mismo tipo de neumático, a pesar de tener diferentes capacidades de carga de RFF, con excepción del TRLLA, que presentó dos neumáticos tipo avión para el sistema.

La menor área de contacto encontrada correspondió al BMZ1, con 0,013 m<sup>2</sup>, esto a pesar de tener mayor peso que la correspondiente al BR, en donde se encontró un área mayor de contacto (0,0138 m<sup>2</sup>).

### Presión estática ejercida sobre suelos

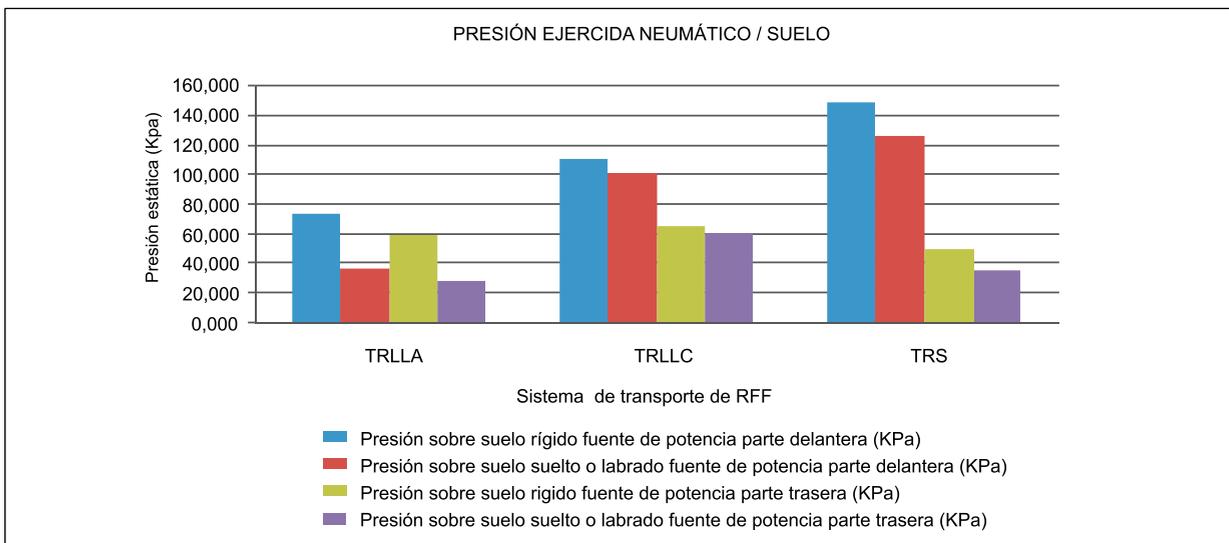
Al comparar las presiones estáticas (Figuras 11, 12 y 13) se observa que las menores presiones estáticas calculadas fueron encontradas en el sistema TRLLA, ocasionadas por la utilización de neumáticos con mayor área de contacto, con lo que se logra una mejor distribución del peso del mismo; las mayores presiones se observaron para el sistema TRS, debido al empleo de una fuente de potencia de mayor tamaño y peso.



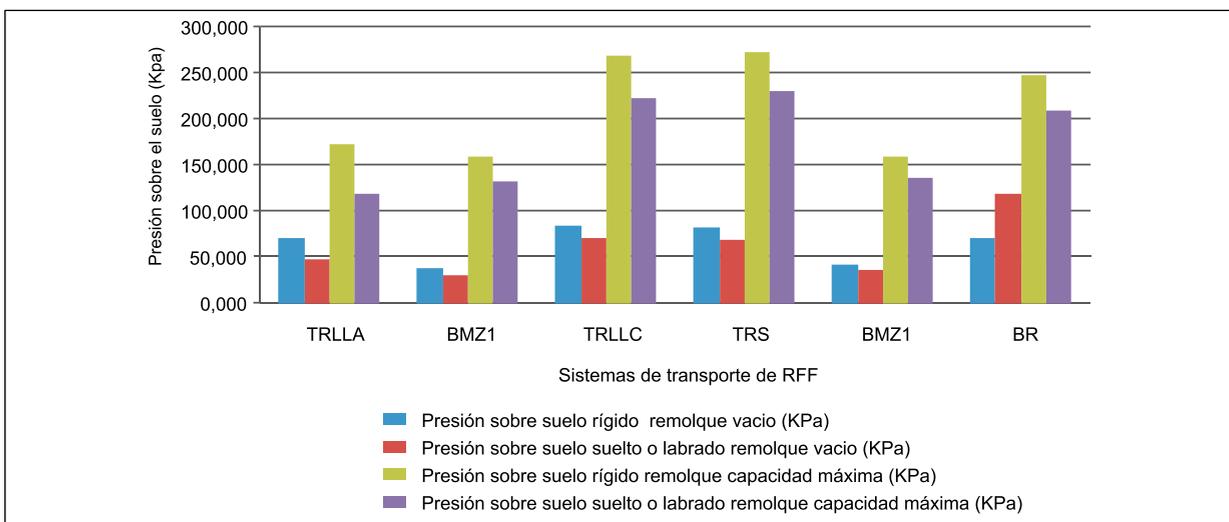
**Figura 10.** Área de contacto pezuña/suelo animales de tiro.

La menor presión estática fue ejercida por el remolque o zorrillo en vacío y la capacidad máxima correspondió a los sistemas BMZ1 y BMZ2 con dos neumáticos, como consecuencia de la menor carga del equipo y de la capacidad de carga de RFF; el sistema TRLLA, a pesar de tener mayor capacidad de carga y dos neumáticos, presenta presiones estáticas en capacidad máxima de RFF comparables a las ejercidas por los animales.

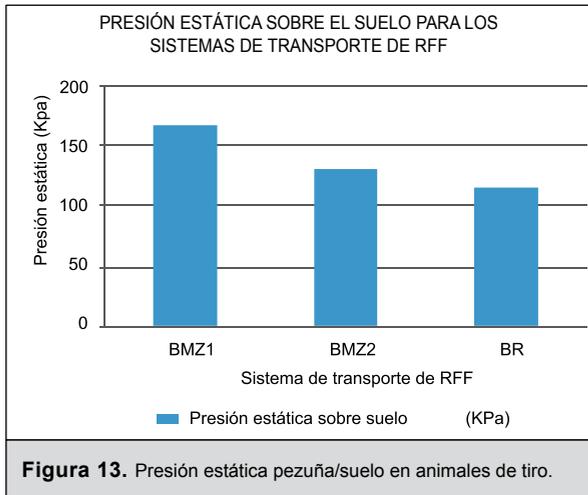
La menor presión estática encontrada correspondió al buey (BR), por tener mayor área de contacto pezuña/suelo con respecto al búfalo del sistema BMZ1 y menor peso corporal. En la Figura 14 se muestra la forma de



**Figura 11.** Presión estática neumático/suelo en fuente de potencia.



**Figura 12.** Presión estática neumático/suelo en remolque o zorrillo.



las pezuñas para los animales de los sistemas BMZ1 y BR, respectivamente.

## Conclusiones

La capacidad de carga de RFF debe ser analizada en función del tipo de neumático que se utilice y del peso de las fuentes de potencia, incrementando en lo posible el área en contacto neumático/suelo, para disminuir la presión estática ejercida, y evitar el deterioro de los suelos y de su capacidad productiva.

Los tractores pequeños muestran un buen desempeño para realizar la labor de transporte interno de RFF, lo que resulta ser fundamental para hacer uso eficiente de la energía requerida para el efecto.

El área de contacto entre animales de diferente tamaño tuvo relación indirecta con la presión estática ejercida sobre el suelo, es decir, a mayor área de contacto menor presión estática.

El sistema de transporte tractor remolque llanta de avión TRLLA resulta ser comparable con las presiones estáticas ejercidas por los sistemas tradicionales de tracción animal, a pesar de tener el doble de capacidad de carga.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a las plantaciones Hacienda La Cabaña, Guaicaramo, Palmar del Llano y Palmasol por la valiosa colaboración prestada para la realiza-

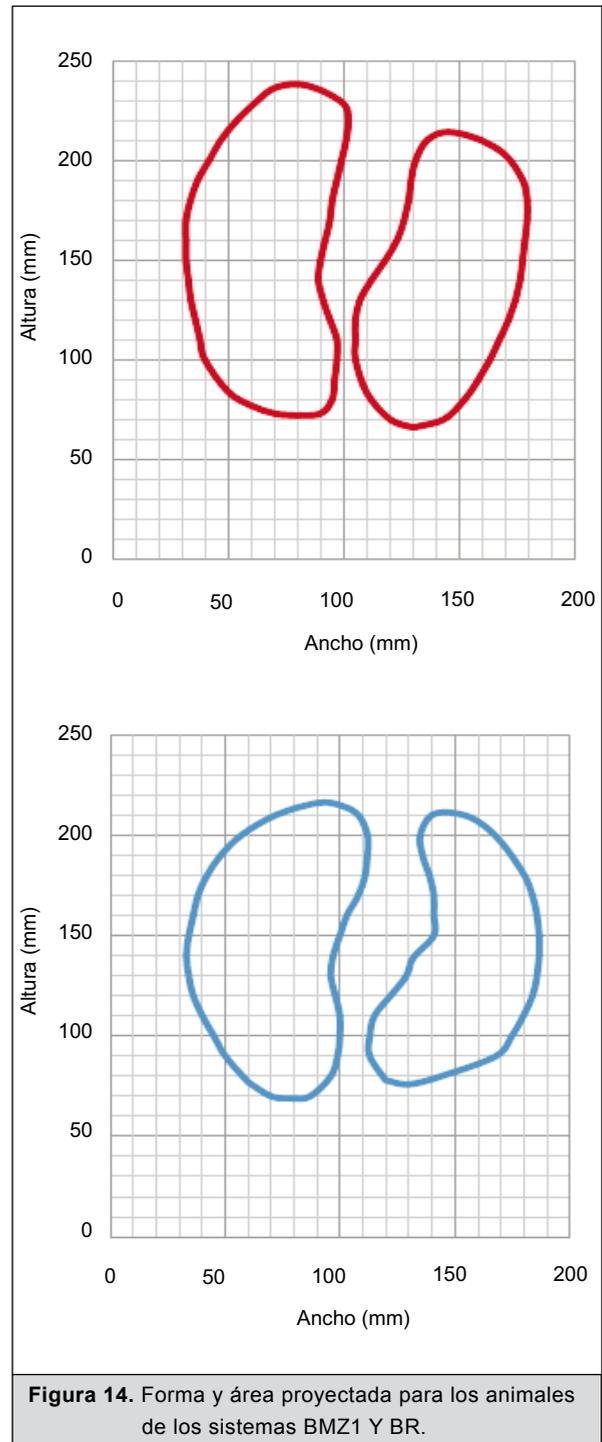


Figura 14. Forma y área proyectada para los animales de los sistemas BMZ1 Y BR.

ción de este estudio. La investigación en Cenipalma cuenta con la financiación de Fedepalma - Fondo de Fomento Palmero (FFP).



## Bibliografía

- Acosta, A.; Munévar, F. 2005. Efecto de las propiedades físicas y el contenido de nutrientes en el suelo en la pudrición de cogollo en palma de aceite. *Informaciones agronómicas* 59.
- Botta G.; Jorajuria, D.; Draguil, L. 2001. El esfuerzo de rodadura en función de diferentes contrapesos y tamaño de neumáticos. *Agrociencia* (Chile) 17(2).
- Botta, G.; Balbuena, R.; Draghil, L.; Rosatto, H.; Claverie, E.J. 2003. Compactación de suelos. Efectos del tránsito del tractor en sistemas de labranza convencional. *Agro-Ciencia* 19 (Argentina).
- Fedepalma. 2007. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y el mundo 2002-2006. En: *Anuario estadístico 2007*
- Fedepalma. 2008. Balance económico del sector palmero colombiano en 2007. En: *Boletín económico*, febrero.
- González, O.; Iglesias, C.; Herrera, M.; López, E.; Sánchez, A. 2007. Modelación matemática de la superficie de contacto suelo/neumático. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 16(002). Universidad Agraria de La Habana. La Habana (Cuba).
- Jorajuria, D.; Draghi, L. 2002. Sobre compactación del suelo agrícola parte i: influencia diferencial del peso y del número de pasadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* (Brasil) 4(3).
- Marrón, G. 2002. Curso para profesionales. Maquinaria agrícola y labranza. Curso de capacitación para asesores de grupo de cambio rural de la EEA INTA Bordenave. Argentina.
- Richmond, P.; Rillo, S. 2006. Evaluación del efecto de la compactación por el rodado de maquinarias sobre algunas propiedades físicas del suelo y el cultivo de trigo en siembra directa. *Informaciones Agronómicas* 32 (Argentina).
- Smith, J.; Hilbert, J.; Aucana, M. 2005. *Clasificación de vehículos en función del grado de compactación ejercida sobre el suelo agrícola*. INTA. Argentina.
- Tabeada, M. 2007. Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. En: *Cuarto simposio de ganadería en siembra directa*, Aapresid, Potrero de los Funes, San Luis. Argentina.
- Terminiello, A.; Balbuena, R.; Claverie, J.; Casado, J. 2000. Compactación inducida por el tránsito vehicular sobre un suelo en producción hortícola. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* (Brasil) 4(2). Brasil.