

Incorporación de fertilizantes con abonadoras para siembra directa

Fertilizers Incorporation Using Fertilizer Machines for Direct Seeding

AUTORES

**Oscar Alberto
Alfonso Carvajal**

Programa de Agronomía,
Cenipalma

**Jhon Sebastián
Castiblanco Riveros**

División de Validación y
Transferencia, Cenipalma

Hernán Mauricio Romero

Programa de Biología y
Mejoramiento, Cenipalma y
Departamento de Biología,
Universidad Nacional de Colombia.

E-mail: oalfonso@cenipalma.org

Palabras CLAVE

Abonadora de siembra directa,
incorporación de fertilizantes,
palma de aceite.

Fertilizer tillage, incorporation of
fertilizer, oil palm.

Recibido: 18 enero 2011
Aceptado: 17 febrero 2011

Resumen

La alta productividad de la palma de aceite está en función de una correcta nutrición del cultivo, sin embargo, en los últimos años se ha incrementado el costo de los fertilizantes, se ha disminuido la mano de obra para la aplicación en los meses con condiciones adecuadas para realizar la labor y presenta eficiencia de fertilización baja. Como alternativa para mejorar estos indicadores se ha propuesto la incorporación de los fertilizantes al suelo, con la idea de incrementar la eficiencia, ofrecer beneficio al palmicultor mediante la disminución de las dosis obteniéndose igual producción o incrementar producción a iguales dosis, alternativas que brindan la posibilidad de llegar a una disminución considerable en los costos de producción. Este trabajo se llevó a cabo en las zonas Central y Oriental de Colombia en las plantaciones Oleaginosas Las Brisas y Palmas del Casanare con el objeto de evaluar la viabilidad de la incorporación mecanizada de fertilizantes al suelo. Se realizó la calibración y verificación de condiciones óptimas y la medición del perfil de corte de cada uno de los discos de la abonadora. Se observó que la tecnología presenta el principio mecánico óptimo para incorporar los fertilizantes al suelo dentro del cultivo, diversidad de dosis, profundidad máxima de incorporación entre 4 y 4,5 cm y área disturbada promedio de 7 a 14,8 cm² para los discos de las abonadoras de cuatro y seis tolvas respectivamente.

Abstract

The high productivity of oil palm is related to the correct nutrition of the crop. However, during the last few years, fertilizer cost has increased, labor availability for fertilizer application has been reduced and overall fertilizer efficiency is low. Direct fertilizer incorporation to the soil has been proposed as an alternative to improve de mentioned indicators. The idea is to increase the efficiency and to benefit the oil palm growers



through dose reduction with sustained yields; or to increase yield using the same doses. Thus, it could be possible to considerably reduced production costs. The present research was done in the Central and Eastern oil palm zones of Colombia in “Oleaginosas Las Brisas” and “Palmas del Casanare” plantations. The objective was to evaluate de viability of mechanized fertilizer incorporation to the soil. Machine calibration and optimal conditions-verification, together with the measurement of the profile cut by the seeder discs were performed. The technology showed an optimal mechanical principle for fertilizer incorporation to the soil inside the crop field, and also for the use of different doses. Incorporation depth was between 4 cm and 4,5 cm, and the disturbed area by the discs was between 7 cm² and 14.8 cm² using four and six-hopper fertilizers.



Introducción

La fertilización es una práctica cultural de máxima importancia dentro del cultivo de la palma de aceite por presentar alta demanda de nutrientes durante su crecimiento y desarrollo. La fertilización beneficia al cultivo con importantes incrementos de producción, mejor estado fitosanitario y mayor resistencia a plagas y enfermedades que atacan la sostenibilidad y competitividad del sector palmicultor colombiano. De esta manera, la búsqueda de alternativas que incrementen la eficiencia de los fertilizantes y permitan a la vez disminuir las diferentes pérdidas en campo, es fundamental.

Entre las principales pérdidas de fertilización en la labor se encuentran: lixiviación, escorrentía, volatilización, fijación y denitrificación¹. La presencia de una de ellas o de todas depende del nutrimento a aplicar, tipo de suelo, contenido de humedad, condiciones climáticas y forma de aplicación.

Dentro de los sistemas de aplicación tradicionales y comunes de fertilizante en las plantaciones se pueden nombrar los siguientes: manual al voleo usando herramientas rudimentarias, introducción de animales adaptados para la labor y aplicación al voleo mecanizado con equipos pendulares o de discos. Además de estos existen otras alternativas reportadas como

son: abonadoras de platillos, tornillo sin fin, rodillos y neumáticas, entre otros. Las tecnologías frecuentes en Colombia logran eficiencias agronómicas bajas de estos insumos; por tanto, es necesario avanzar en la implementación y conocimiento en el uso de máquinas que faciliten la incorporación del fertilizante dentro del suelo, técnica que ha incrementado la eficiencia en algunos fertilizantes de diferentes cultivos como maíz, soya, trigo, caña y pastos (Barraco et ál., 2006; 2007; Márquez, 2007; Ferraris y Gouretot, 2010; Fontanetto et ál., 2004; Bertolotti et ál., 2007; Covacevich et ál., 2005; Romero et ál., 2004; Lara et ál., 1999).

La fertilización según Guerrero (2010) tiene cuatro factores para tener en cuenta: dosis de aplicación, que para el caso de la palma se cuantifica mediante análisis de suelos, foliares y extracción por fruto; tipo de fertilizante, momento de aplicación y sistema de aplicación, todas ellas influyen en un porcentaje apreciable de la eficiencia agronómica del fertilizante, la cual está relacionada directamente con el costo de producción dentro del cultivo.

En este artículo se presenta la evaluación de la incorporación de fertilizantes por medio de dos abonadoras de siembra directa usada en el cultivo de maíz. Se evidencian condiciones promisorias para la implementación de esta tecnología en el cultivo de

1. Lixiviación: pérdida de nutrientes en forma de sales disueltas arrastradas por el agua de drenaje que penetran el suelo.
Escorrentía: pérdida de nutrientes por drenaje superficial del agua de precipitaciones, riegos, entre otros.
Volatilización: pérdida de nutrientes por gasificación.
Fijación: pérdida por conversión de las formas iónicas disponibles a estados de baja solubilidad no disponibles para la planta.
Denitrificación: pérdida de nutrientes por el cual se convierte nitrato en nitrito y luego a N₂ y ciertos gases nitrogenados N₂O o NO.



palma de aceite, mostrando que su principio mecánico es óptimo para introducir el fertilizante en el suelo. Los resultados permiten sugerir esta tecnología como una estrategia para incrementar la eficiencia agronómica de los fertilizantes aplicados en el cultivo, ofrecer beneficio al palmicultor mediante la disminución en la dosis de fertilizante para igual producción o incrementar producción con iguales dosis de fertilizante. Alternativas que brindan la posibilidad de llegar a una disminución considerable en los costos de producción.

Metodología

El trabajo se dividió en cuatro etapas, las dos primeras, calibración y verificación de condiciones óptimas y medición del perfil de corte en discos de las abonadoras se presentan en el presente artículo. Las otras dos etapas, estudio de tiempos y movimientos y análisis económico de la aplicación se presentan en un artículo complementario en esta misma revista (Alfonso et ál., 2011). Para las evaluaciones se usaron dos abonadoras de siembra directa con las características que se muestran en la Tabla 1.

Calibración y verificación de las condiciones óptimas

Para la ejecución de esta etapa fue necesario realizar verificaciones en el tractor, abonadora y fertilizante

ya que la aplicación puede verse afectada por el estado general y densidad aparente del fertilizante y la velocidad del PTO² del tractor y el estado de las partes mecánicas. Una vez realizada esta actividad se determinó la descarga de fertilizante para las relaciones de transmisión.

Estado general y densidad del fertilizante

Se observó y comprobó que el fertilizante para la evaluación tuviera las condiciones necesarias para el ensayo. Según los requerimientos de la abonadora, el fertilizante debía tener consistencia, con gránulos de tamaño homogéneo y en general un buen aspecto. Se calculó la densidad aparente del fertilizante, para lo cual se tomaron muestras aleatorias de 500 cm³ medidas en una probeta, luego se pesaron en una balanza y, finalmente, con los datos obtenidos se determinó la densidad aparente mediante la siguiente ecuación:

$$\delta_a = \frac{W}{V}$$

Donde:

- δ_a : densidad aparente del fertilizante (kg/m³)
- W: peso de la muestra (kg)
- V: volumen de la muestra (m³)

Tabla1. Características de las abonadoras evaluadas

Características		
		
Zona de trabajo	Oriental	Central
Potencia requerida	81 - 90 hp	81 - 90 hp
Capacidad por tolva	100 kg	100 kg
Número de tolvas	4	6
Ancho de trabajo	3,2 m	5,5 m
Peso aproximado	495 kg	856 kg
Número de discos	8	12
Altura libre del marco portaherramientas	0,8 m	0,8 m

Fuente: Catálogo de productos Baldan

2. Power Take Off

Velocidad en PTO del tractor

Esta actividad se realizó para garantizar que la velocidad rotacional del PTO fuera la recomendada por el fabricante (540 rpm). Para ello se tuvo que revolucionar el motor a un régimen constante y medir el número de revoluciones por medio de un tacómetro durante un minuto, posteriormente se calculó la velocidad de rotación del PTO por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{PTO} = \frac{60 * Rev}{t}$$

Donde:

V_{PTO} : velocidad de rotación en PTO del tractor (rpm)

Rev : revoluciones en tacómetro (rev)

t : tiempo (s)

Verificación de partes

Se constató que las diferentes partes mecánicas de la abonadora tuvieran las mismas referencias, elementos montados correctamente, así como buen estado mecánico, sin presencia de roturas, fracturas, defectos, entre otros. Adicionalmente, con el funcionamiento vacío de las abonadoras se tuvieron en cuenta ruidos extraños en las diferentes partes dinámicas que componen el sistema de dosificación, que pudiesen predecir daños en las partes.

Descarga de fertilizante para las relaciones de transmisión

Estas fueron modificadas por medio de una serie de piñones con diferente número de dientes (8, 10, 12, 13, 14, 15, 17 y 19). Se realizaron tres muestreos en cada una de las salidas de las abonadoras (8 y 12 salidas) en un tiempo determinado. Con esta información se calculó la descarga de las diferentes relaciones de transmisión por medio de la siguiente ecuación:

$$D = \frac{W_t - W_b}{t}$$

Donde:

D : descarga de fertilizante (kg/s)

W_t : peso total del fertilizante y bolsa plástica (kg)

W_b : peso bolsa plástica (kg)

Finalmente se determinaron los valores de calibración para la fuente y condiciones establecidas, para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$D_f = \frac{10.000 * D}{V_o * A_o}$$

Donde:

D_f : Dosis a aplicar por salida (kg/ha)

V_o : Velocidad de operación del tractor (m/s)

A_o : Ancho operativo del abonador (m)

Medición de perfil de corte

Se tomaron puntos donde se había incorporado el fertilizante y, mediante el uso de un perfilómetro³ construido especialmente para este equipo, se tomaron mediciones del perfil a cada uno de los discos que conformaban el sistema de rompimiento del suelo, evidenciando así las profundidades y el área de distribución en los diferentes discos para cada una de las abonadoras.

Resultados y Discusión

Calibración y verificación de condiciones óptimas

Estado general y densidad del fertilizante

Para la calibración de las diferentes abonadoras se utilizaron los fertilizantes KCl en Oleaginosas las Brisas y compuesto (10-8-21) en Palmas del Casanare. Se evidenció un buen estado del fertilizante en cuanto a su consistencia, contenido de humedad y homogeneidad de tamaño en los gránulos. En la Tabla 2 se observa la densidad aparente encontrada para los mismos durante las pruebas realizadas.

Velocidad del PTO del tractor

Se tuvo un tractor New Holland de 105 hp en Oleaginosas Las Brisas y Massey Ferguson de 90 hp

Tabla 2. Características de los fertilizantes usados

	Densidad (g/cm ³)	Coefficiente de variación
KCl	1,18	1,5%
Compuesto (10-8-21)	1,09	0,7%

3. Instrumento construido mediante veinte varillas de 1/8" distanciadas 1 cm entre ellas, el cual permite determinar el perfil de rompimiento de los discos del abonador.



Tabla 3. Características del PTO de los tractores usados

	Velocidad del PTO (rpm)	Coefficiente de variación %
Oleaginosas Las Brisas	539	0,5
Palmas del Casanare	541	4,2

en Palmas del Casanare. Las fuentes de potencia mostraron un buen estado mecánico y las revoluciones entregadas al toma de fuerza correspondieron a las recomendadas por el fabricante (540 rpm), en la Tabla 3 se observan los resultados de las mediciones realizadas.

Verificación de partes

Las dos abonadoras evaluadas presentaron correcto estado mecánico de las diferentes piezas, lubricación de los elementos dinámicos, así como ausencia de ruidos extraños en las pruebas realizadas en vacío (sin fertilizante en tolvas).

Descarga de fertilizante para las relaciones de transmisión

Se determinaron las diferentes descargas de fertilizante mediante la evaluación de las relaciones de transmisión, se buscó realizar el mayor número de combinaciones para el piñón conductor y conducido, de esa forma tener varias opciones para una dosis requerida. Esta parte fue realizada para cada una de las abonadoras bajo condiciones controladas y teniendo en cuenta el buen funcionamiento de los elementos del equipo, en las tablas 4 y 5 se presentan los resultados de calibración con sus respectivos coeficientes de variación, se observó mejor comportamiento del abonador de seis tolvas con menor variación en los datos.

Con las dosis encontradas se procedió a elaborar la respectiva tabla de calibración para cada una de las abonadoras y para las condiciones de cada plantación como se observa en la Tabla 6.

Estas condiciones difieren en el manejo que se tiene en cada plantación, en Oleaginosas las Brisas se puede aplicar en las dos calles laterales a la palmas, ya que las hojas de poda o de cosecha se disponen en el llamado cajón (entre palma y palma dentro de una línea), mientras en palmas del Casanare es necesario realizar la labor solo en calles de cosecha por tener calle de palera y canales de drenaje cada cuatro líneas. Estos parámetros diferentes hacen que las tablas sean

Tabla 4. Calibración del abonador de cuatro tolvas

Piñón conductor (N° dientes)	Piñón conducido (N° dientes)	Descarga promedio (g/min)	Coefficiente de variación (%)
8	19	589,0	6,2
	17	638,5	6,4
	15	706,9	7,1
	14	744,9	6,9
	13	783,3	6,5
	12	857,4	6,0
	10	998,7	5,2
	8	1.225,5	6,2
10		1.778,9	5,9
12		2.099,4	5,8
13		2.252,2	5,6
14	8	2.416,0	4,2
15		2.541,1	6,1
17		2.857,4	6,4
19		3.029,8	6,3

Tabla 5. Calibración del abonador de seis tolvas

Piñón conductor (N° dientes)	Piñón conducido (N° dientes)	Descarga promedio (g/min)	Coefficiente de variación (%)
8	19	462,3	5,0
	17	554,1	3,0
	15	667,2	2,2
	14	701,7	2,0
	13	758,8	2,8
	12	836,0	2,3
	10	1.011,0	3,1
10		1.619,2	3,9
12		1.946,9	2,0
13		2.085,8	4,3
14	8	2.204,4	3,4
15		2.387,1	2,4
17		2.640,1	3,4
19		3.006,9	3,7

Tabla 6. Condiciones de trabajo para cada plantación

Característica	Palmas del Casanare	Oleaginosas Las Brisas
Número de pases en calles	2	1
Salidas del abonador	8	12
Área aplicada	41%	71%

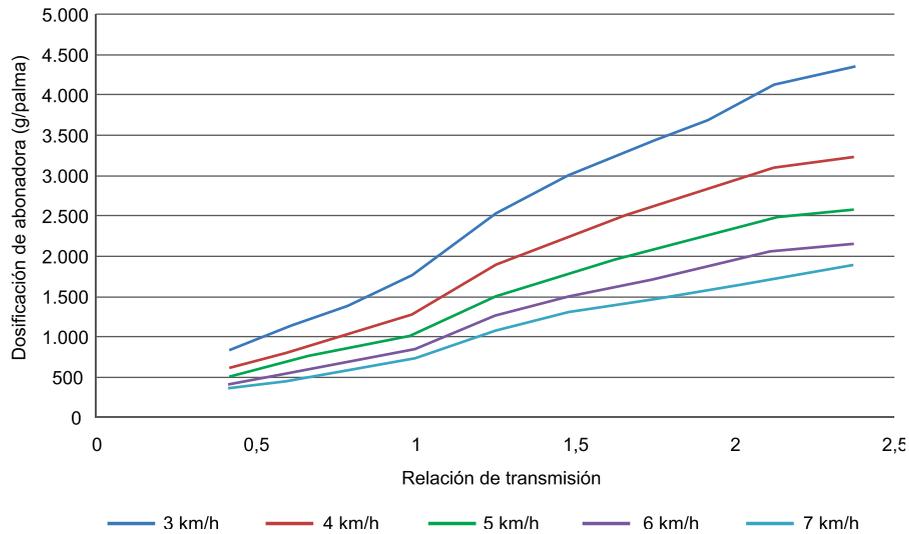


Figura 1. Calibración para abonador de cuatro tolvas (g/palma).

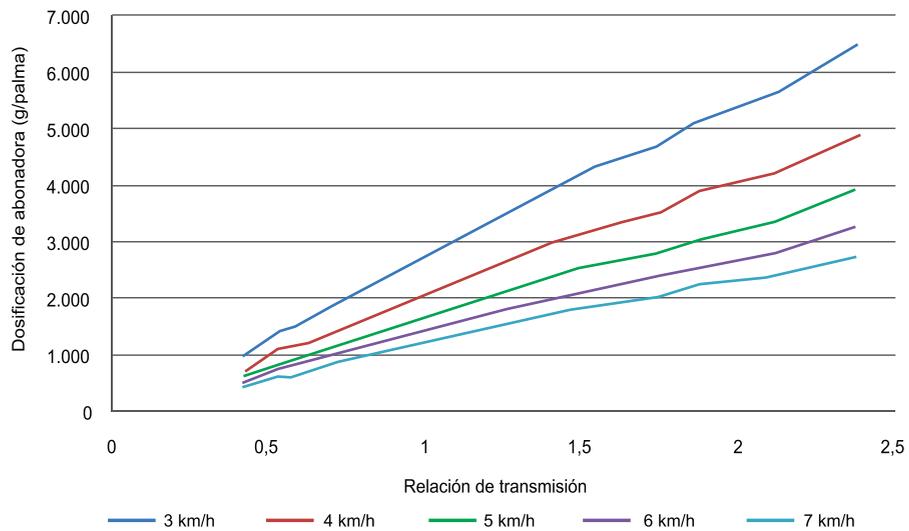


Figura 2. Calibración para abonador de seis tolvas (g/palma).

específicas para cada lugar y por ende presentan una tabla de calibración para cada zona y manejo; en las Figuras 1 y 2 se presentan los valores de calibración para cada equipo.

Estas figuras son útiles y precisan una diversidad de alternativas en el momento de aplicar una dosis específica, por ejemplo, si los requerimientos nutricionales de un lote son de 1.500 g/palma, se cuenta con diferentes relaciones de transmisión y velocidades del tractor, esto dependerá de la plantación; sin embargo, es necesario aclarar que estos valores deben validarse en pruebas de campo, ya que las condiciones de los



Figura 3. Medición de perfil de corte en campo.

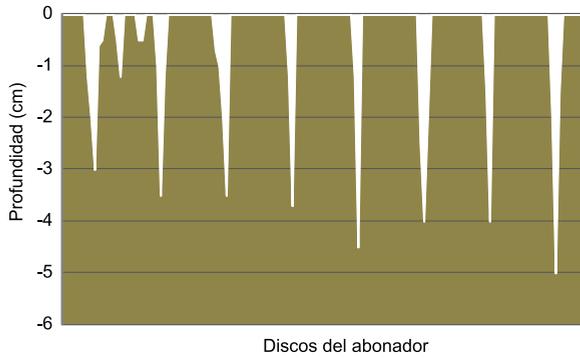


Figura 4. Perfil de corte y profundidades máximas en abonador de cuatro tolvas.

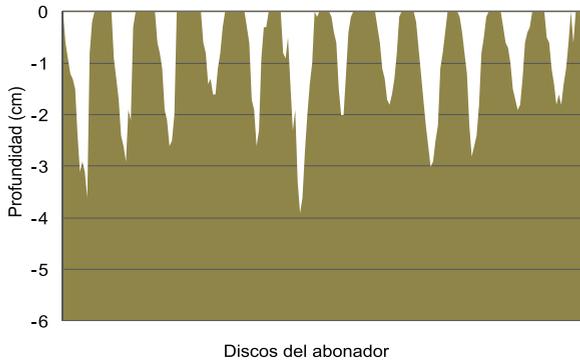


Figura 5. Perfil de corte y profundidades máximas en abonador de seis tolvas.

suelos, tractores, operarios, entre otros, no son iguales y por ende debe verificarse que la dosis que se emplee se ajuste a las necesidades óptimas de las palmas que se van a fertilizar.

Medición del perfil de rompimiento

Se encontraron diferencias en el perfil de corte de discos en los sitios donde se tomó esta característica (Figura 3), a continuación se observan las profundidades máximas (Figura 4 y 5), perfil en discos internos (Figura 6A y 6B), así como el área disturbada (Tabla 7 y 8) para cada uno de los discos en los abonadores de cuatro y seis tolvas.

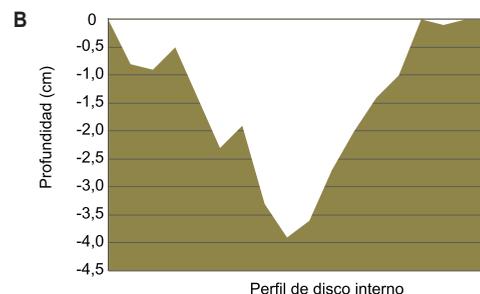
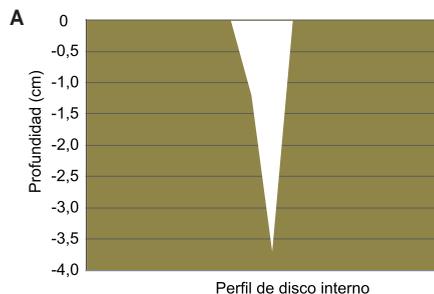


Figura 6. Perfil de corte para discos internos A) abonadora cuatro tolvas y B) abonadora de seis tolvas.

Las diferencias en profundidad observadas en los discos externos e internos fueron ocasionadas por dos razones principales: la primera relacionada con la compactación de los platos, ya que es allí donde los operarios realizan la mayoría de labores y el suelo soporta en cada ciclo de cosecha golpes de los racimos al caer desde altura y con pesos considerables; la segunda relacionada al punto de enganche entre el abonador y el tractor, en los extremos el equipo no realiza el mismo trabajo en el suelo y su comportamiento es similar al de una viga en voladizo, la cual oscila en puntos donde no puede romper.

En cuanto al perfil de corte y área disturbada por los discos, se observa que para el abonador de cuatro tolvas es representativa de suelos pesados, mientras la forma en la abonadora de seis tolvas es de suelos sueltos, obteniendo mayor área de suelo disturbado por los diferentes discos.

Conclusiones

La tabla de calibración de las dos abonadoras muestra gran cantidad de alternativas en cuanto a dosis se refiere, eso representa ventajas en el equipo ya que las condiciones y el movimiento de nutrientes mediante las diferentes aplicaciones varía y es necesario tener diferentes posibilidades en el momento de las aplicaciones, de igual forma se observa que se pueden aplicar dosis entre 362 – 4.346 y 426 – 6.468 g/palma para el abonador de cuatro y seis tolvas respectivamente.

La calidad de los fertilizantes que se van utilizar durante la aplicación debe ser la óptima en cuanto a consistencia y humedad, ya que si se utilizan fertilizantes húmedos, demasiado higroscópicos o mezclas no adecuadas, se pueden tener problemas mecánicos con el equipo. Se recomienda aplicar mezclas provenientes de los distribuidores y no ha-

Tabla 7. Área disturbada del abonador de cuatro tolvas

	Área disturbada (cm ²)
Disco 1	9,0
Disco 2	6,7
Disco 3	7,2
Disco 4	4,9
Disco 5	5,7
Disco 6	8,5
Disco 7	5,5
Disco 8	8,5
Promedio	7,0
Desviación estándar	1,6

cerlas durante la aplicación, de igual forma, una vez utilizado el abonador se debe lavar por completo para evitar que el fertilizante que queda internamente se solidifique y cause daños mecánicos en la siguiente aplicación.

Esta forma de aplicación disminuye las pérdidas de fertilizantes por escorrentía y volatilización principalmente, ya que el nutriente queda incorporado dentro del perfil del suelo. Se espera reforzar esta información con las mediciones de índice de balance foliar, suelos, y seguimiento a la producción y peso promedio de racimos en el tiempo.

Con la abonadora de cuatro tolvas se logró mejor distribución del fertilizante en cuanto a profundidad de aplicación, variando entre 3,5 y 4,5 cm, mientras con la abonadora de seis tolvas entre 1,7 y 4 cm, a pesar de encontrar una alta variación en el área disturbada del abonador de seis tolvas se muestra

Tabla 8. Área disturbada del abonador de seis tolvas

	Área disturbada (cm ²)
Disco 1	21,6
Disco 2	16,1
Disco 3	13,6
Disco 4	9,5
Disco 5	10,9
Disco 6	25,8
Disco 7	8,3
Disco 8	10,6
Disco 9	21,5
Disco 10	15,7
Disco 11	12,1
Disco 12	12,5
Promedio	14,9
Desviación estándar	5,5

mayor área disturbada, lo cual garantiza una mejor incorporación de fertilizantes con la abonadora de seis tolvas.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a Gecolsa S.A. por su valiosa colaboración en las evaluaciones de los equipos en las dos zonas palmeras, al ingeniero Ricardo Botero y al personal de las plantaciones Oleaginosa Las Brisas y Palmas del Casanare por su participación y apoyo durante el desarrollo del proyecto. La investigación de Cenipalma es financiada por el Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma.



Bibliografía

- Alfonso, O.; Castiblanco, J.; Romero, H. M. 2011. Evaluación económica de la incorporación de fertilizantes usando abonadoras de siembra directa en palma de aceite. *Palmas* (Colombia) 32(1): 81-89
- Baldan. 2010. *Catálogo de productos Baldan*. www.agritillage.com.br.
- Barraco M; Díaz Z; Álvarez C. 2006. Aplicaciones incorporadas y al voleo de fósforo en cultivos de maíz en la región de la pampa arenosa. INTA Gral Villegas. *Informaciones agronómicas* (35): 5 p.

- Barraco, M; Scianca, C; Álvarez, C. 2008. Aplicaciones incorporadas y al voleo de fósforo en cultivos de trigo. INTA EEA Gral. *Memoria técnica 2007 – 2008*.
- Bertolotti N; Bandera R; Méndez D. 2007. Efecto de la forma de aplicación de nitrógeno y azufre sobre la producción de una pastura consociada. *Revista Argentina de Producción Animal*. 27(1): 158-159.



- Covacevich F; Sainz H; Barbieri P; Echeverría H. (s.f.) Formas de colocación de fósforo sobre el crecimiento y la micorrización espontánea del cultivo de trigo. [Disponible en:] http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672005000100005&script=sci_arttext. (Consultado: 1 de noviembre de 2009).
- Fontanetto H; Keller O; Negro C. (s.f.) Efecto de diferentes fertilizantes y formas de aplicación en maíz. [Disponible en:] <http://www.sofoval.com/biblioteca/cultivos-verano/fertilizantes-para-maiz-04.pdf>. (Consultado: 15 de enero de 2010).
- Ferraris G; Gouretot L. (s.f.) *Fertilización fosforo-azufrada en soja. Diagnóstico y tecnología de aplicación*. [Disponible en:] [http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/67ec87325ee2da4703256f3f000445f5/\\$FILE/Fertilizacion%20PS%20Soja-Ferraris.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/67ec87325ee2da4703256f3f000445f5/$FILE/Fertilizacion%20PS%20Soja-Ferraris.pdf). (Consultado: 15 de enero de 2010).
- Guerrero R. (s.f.) *Fundamentos técnicos para la fertilización de cultivos*. [Disponible en:] <http://hasp.axesnet.com/contenido/documentos/medcapitulo3.pdf>. (Consultado el 19 de enero de 2010).
- Lara W; Yamada T. 1999. Urea aplicada en la superficie del suelo: un pésimo negocio. *Informaciones Agronómicas Potaños* 86: 9-10.
- Marquez L. (s.f.) Hacia un uso eficaz de fertilizantes: Máquinas para la distribución de abono mineral. [Disponible en:] http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Agri/Agri_1994_741_295_302.pdf. (Consultado: 5 de junio de 2009).
- Romero E; Olea I; Scandaliaris J; Alonso J; Digoncelli P; Tonatto J; Leggio M. 2004. Recomendaciones para la fertilización de la caña de azúcar. *Gacetilla agroindustrial de la EEAOC* (61):10 p.