



## Capacidad de descarga de purines de un tanque distribuidor de boñiga líquida<sup>1</sup>

### Purines discharge capacity of a liquid manure spreading tank

*Carlos Boschini-Figueroa<sup>2</sup>, Claudio Fabián Vargas-Rodríguez<sup>2</sup>*

- <sup>1</sup> Recepción: 4 de junio, 2019. Aceptación: 25 de setiembre, 2019. Este trabajo formó parte del proyecto VI 737-A4-181, inscrito en la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- <sup>2</sup> Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Estación Experimental Alfredo Volio Mata, Cartago, Costa Rica. carlos.boschini@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-2741-7838>), fabian.vargas@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-2337-5994>).

### Resumen

**Introducción.** La boñiga líquida puede mejorar la estructura del suelo y la productividad de los cultivos, pero se necesita equipo calibrado para lograr una distribución uniforme. **Objetivo.** El objetivo del presente trabajo fue determinar, a nivel de campo, las combinaciones apropiadas de operación de un tanque de distribución de boñiga líquida y un tractor que lo comanda, para lograr una distribución uniforme de purines y boñiga diluida. **Materiales y métodos.** El experimento se realizó durante julio de 2016 en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica, en Ochomogo de Cartago, Costa Rica. Se utilizó un terreno de 5000 m<sup>2</sup> arado y rastreado, donde se colocaron veinte recipientes plásticos, dispuestos en dos hileras, separados 4 m entre y dentro hileras. Se usó un tanque boñiguero acoplado a un tractor y los tratamientos fueron cuatro velocidades de desplazamiento (cuatro marchas bajas del tractor), y un grado fijo de aceleración (442 rpm). Las variables medidas fueron la capacidad y el volumen de descarga por unidad de área, y el área cubierta. **Resultados.** La descarga y dispersión de boñiga líquida en las diferentes marchas fue altamente significativa ( $p < 0,01$ ), la descarga por unidad de área fue mayor en las marchas más bajas. Se cuantificó la descarga relativa entre las diferentes velocidades de trabajo, y se fijó en 100 % la descarga mayor (marcha I) equivalente a 52 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, en la marcha II la descarga relativa fue de un 65 % respecto a la primera. En las marchas III y IV, los volúmenes fueron de 24 y 17 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente. **Conclusión.** Las marchas bajas distribuyeron mayor cantidad de material por m<sup>2</sup> favorable en cultivos más demandantes, mientras que con las marchas altas se puede cubrir más área con menor cantidad de material.

**Palabras claves:** desechos orgánicos, fertirrigación, equipo agrícola.

### Abstract

**Introduction.** Liquid manure can improve soil structure and crop productivity, but calibrated equipment is needed to achieve uniform distribution. **Objective.** The objective of this work was to determine at the field level, the appropriate combinations of operation of a liquid manure distribution tank and a tractor that commands it to achieve a uniform distribution of slurry and diluted manure. **Materials and methods.** The experiment was carried out during July 2016 at the Experimental Station “Alfredo Volio Mata” of the Universidad de Costa Rica, in Ochomogo of



Cartago, Costa Rica. A plowed and harrowed plot of 5000 m<sup>2</sup> was used where twenty plastic containers were placed, arranged in two rows separated, 4 m between and within rows. A manure tank coupled to a tractor was used and the treatments were four travel speeds (four low gears of the tractor) and a fixed degree of acceleration (442 rpm). The measured variables were the capacity and volume of discharge per unit area, and the covered area. **Results.** The discharge and dispersion of liquid manure in the different gears was highly significant ( $p < 0.01$ ), being the discharge per unit of area greater in the low gears. The relative discharge between the different working speeds was quantified, and the highest discharge gear (Gear I) equivalent to 52 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, was set as 100 %, in gear II the relative discharge was 65 % compared to the first. In gears III and IV, the volumes were 24 and 17 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> respectively. **Conclusion.** The low gears distributed more material per m<sup>2</sup> favorable in more demanding crops, while with higher marches more area can be covered with less material.

**Keywords:** organic waste, fertigation, agricultural equipment.

## Introducción

La aplicación indiscriminada de fertilizantes químicos ha sido tema de estudio en los últimos años, debido al impacto ambiental que eso representa, adicionalmente la rentabilidad de las explotaciones se ve comprometida por el incremento en los costos de estos insumos. En las explotaciones pecuarias se habla de la utilización de la boñiga y los purines como alternativa para suplir a los cultivos de sus requerimientos nutricionales (Yadav y Pawar, 2015).

Partiendo de que los sistemas de pastoreo constituyen la forma natural de cosecha del forraje por el animal y, en consecuencia las deposiciones fecales y urinarias se realizan *in situ*, estas constituyen una manera de devolver al suelo una importante fracción de nutrientes de manera natural. Se estima que el ganado en pastoreo normalmente tiene de diez a quince deposiciones diarias, que pueden cubrir un área aproximada de un metro cuadrado, y cada una representa un equivalente a la aplicación de nitrógeno entre 225 a 795 kg ha<sup>-1</sup> (Hadrich et al., 2010; Jaimes-Cruz y Correa-Cardona, 2016); a la vez, tienen de ocho a doce excreciones urinarias por día, donde cada micción tiene un equivalente entre 110 y 570 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno (Haynes y Williams, 1993; Wells y Dougherty, 1997; Lory y Roberts, 2000; Jaimes-Cruz y Correa-Cardona, 2016). Sin embargo, los animales en pastoreo no depositan de manera uniforme las heces (boñiga) y la orina en el potrero. Se estima que, en sistemas de pastoreo rotacional intensivos, la boñiga ocupa un 16 % del terreno que utilizan los animales para pastorear (Yoshitake et al., 2014).

La producción de boñiga varía de 30 a 45 kg diarios por animal, de los cuales se estima que al menos un 80 % puede ser excretado en el potrero, aproximadamente un 5 % se queda en los caminos durante el arreo y el restante 10-15 % son excretados en los patios y salas de ordeño (Bellows, 2001; Pant et al., 2004). Estos desechos orgánicos son clasificados en sólidos (con un 20 % de materia seca); purines que resulta de la mezcla de boñiga, agua y orines (5 a 15 % de materia seca) y aguas verdes (diluidos) con menos de 5 % de materia seca (López et al., 2008). Cada uno de ellos requiere un tratamiento diferente y en particular, los dos últimos pueden ser manejados por bombas, sistemas de irrigación y tanques de aspersión en el campo o en potreros (Fulhage, 1997; Krishnan et al., 2006), los cuales son considerados en la actualidad como bio-fertilizantes amigables con el ambiente (Yadav y Pawar, 2015).

La intención de aprovechar los desechos mediante el uso de tanques distribuidores de boñiga no es un tema nuevo; de hecho, la primera incursión registrada data de 1875 (Yadav y Pawar, 2015); sin embargo, las regulaciones mundiales sobre el manejo de desechos han encaminado a un mayor desarrollo de estos equipos. En la actualidad, los tanques de distribución de purines y aguas verdes vienen con las especificaciones del fabricante para la operación durante la carga y la descarga, capacidad de carga, la presión de las bombas, entre otras. Sin embargo, para el trabajo de campo, se requiere una calibración del equipo en función de las características propias del trabajo

a realizar, como velocidad del tractor, cantidad de descarga por unidad de área durante la operación y número de tanques requeridos para cubrir una hectárea de terreno. El objetivo del presente trabajo fue determinar, a nivel de campo, las combinaciones apropiadas de operación de un tanque de distribución de boñiga líquida y un tractor que lo comanda, para lograr una distribución uniforme de purines y boñiga diluida.

## Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica en julio del 2016, este centro de investigación se encuentra ubicado a 1542 msnm, en el Alto de Ochomogo, distrito de San Rafael del Cantón de la Unión, perteneciente a la provincia de Cartago, Costa Rica, a 9°55'10" latitud norte y 83°57'20" longitud oeste. Se utilizó un terreno de 5000 m<sup>2</sup> recién arado y rastreado. En una franja se dispusieron veinte recipientes de plástico, dispuestos en dos hileras, con una separación de 4 m entre y dentro de las hileras. Se empleó un tanque boñiguero con capacidad útil de 3000 l, condicionado de fábrica con dos bombas, una de doble acción (vacío en el tanque para la carga de los purines y presión en el tanque para la descarga por un acople que permite la distribución en forma de abanico) y otra de presión con impulsores rotativos abiertos, para la descarga mediante un cañón de aspersión. Ambas bombas fueron accionadas con la toma de fuerza del tractor y el uso de ellas se seleccionó mediante un sistema de embragues manuales (Figura 1). Las pruebas se realizaron con un tractor de 95 HP.



**Figura 1.** Tanque utilizado para distribuir los purines durante el desarrollo del experimento. Cartago, Costa Rica. 2016.

**Figure 1.** Tank used to distribute the slurry during the development of the experiment. Cartago, Costa Rica. 2016.

Los purines se tomaron de un tanque de tratamiento de boñiga con un volumen de 36 m<sup>3</sup>, los cuales se mezclaron en una pila de cargado adjunta que tiene capacidad de 6 m<sup>3</sup>. La mezcla se hizo en forma mecánica mediante el cargado del tanque por bomba de vacío (a 1 bar) y posteriormente, se efectuó la descarga por bomba de presión sobre la pila de mezclado, repitiendo este ciclo tres veces consecutivas antes del cargado final para la prueba en campo.

El tractor con el tanque de boñiga acoplado se condujo a lo largo de las dos hileras de recipientes, esparciendo sobre el terreno los purines previamente cargados, de acuerdo con los tratamientos siguientes: cuatro velocidades

del tractor establecidas por el fabricante para las marchas I, II, III y IV a un grado fijo del acelerador. Este grado fijo del acelerador se gobernó para alcanzar en la toma de fuerza 442 rpm (revoluciones por minuto), punto en el cual se mantiene constante la presión de un bar (recomendado por el fabricante) de salida del material contenido en el tanque. Se respetaron las indicaciones de trabajo del equipo recomendadas por el fabricante y se adaptaron las revoluciones del motor en cada marcha para obtener las revoluciones de la toma de fuerza requeridas por las especificaciones (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Valores de trabajo recomendados por el fabricante del aspersor de boñiga, empleados en el experimento. Ochomogo, Cartago, Costa Rica. 2016.

**Table 1.** Working values recommended by the manufacturer of the manure sprinkler used in the experiment. Ochomogo, Cartago, Costa Rica. 2016.

	Marcha del tractor			
	I	II	III	IV
<b>RPM motor</b>	1800	1800	1900	1900
<b>RPM toma de fuerza</b>	442	442	442	442
<b>Velocidad, km h<sup>-1</sup></b>	0,84	1,24	1,66	2,18
<b>Presión de aspersión, bar</b>	1	1	1	1

Los recipientes recolectores de las muestras de heces, esparcidas en una área de 10-12 m de ancho, se construyeron para recolectar un máximo de 4 l, con una boca fija de 200 cm<sup>2</sup> y 20 cm de altura. Cada recipiente se enterró hasta la mitad de su altura para mantener la estabilidad de este durante la recolección de las muestras. Para cada tratamiento (velocidad de marcha del tractor) se recolectaron diez muestras al azar, al pasar una sola vez por el espacio donde estaban colocadas las mismas; esta operación se repitió tres veces por tratamiento. En una probeta de un litro se midió el volumen de purines, esparcidos al pasar el tractor realizando la labor de aspersión y recogidos por cada recipiente muestreador. Con base en la superficie de la boca de los recipientes y el volumen recolectado se estimó la cantidad de purines descargados por m<sup>2</sup>.

Para el análisis de los datos se empleó un diseño irrestricto al azar con diez observaciones por tratamiento y se usó el PROC ANOVA del paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 2011). Para restablecer la importancia de las diferencias entre medias se usó la prueba de Duncan.

## Resultados

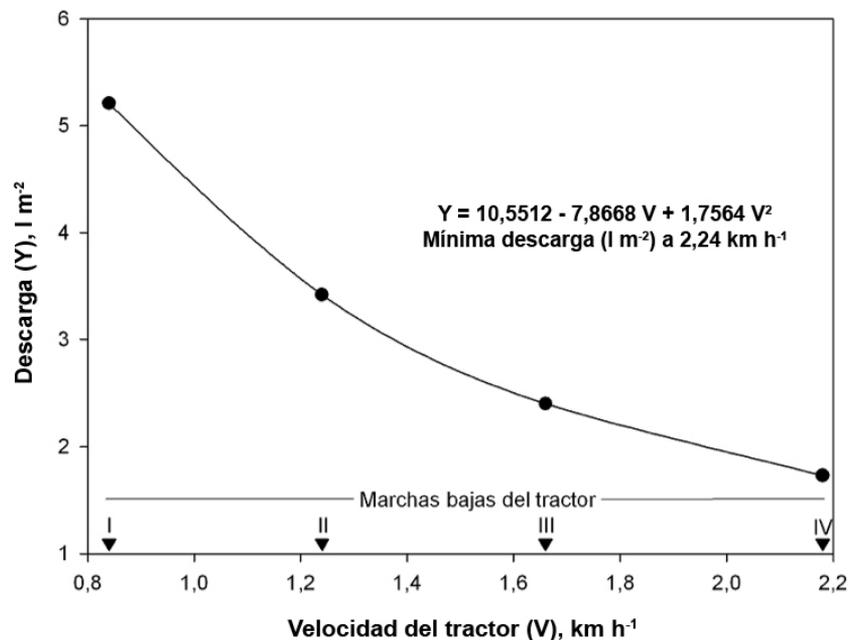
La relación entre la marcha y la velocidad del tractor se presenta en el Cuadro 2, se observó una relación lineal importante ( $p < 0,05$ ), con un incremento de 0,40 km h<sup>-1</sup> entre I y II, de 0,42 km h<sup>-1</sup> entre II y III, y 0,52 km h<sup>-1</sup> entre III y IV. La descarga y dispersión de boñiga líquida en las diferentes marchas del tractor fueron diferentes ( $p < 0,05$ ); la descarga por unidad de superficie fue mayor en las marchas más bajas.

La capacidad de descarga del equipo en las diferentes velocidades del tractor, mostró una curva decreciente cuya mínima descarga se tuvo a una velocidad del tractor de 2,24 km h<sup>-1</sup> (Figura 2). Se cuantificó la descarga relativa entre las diferentes marchas o velocidades de trabajo, fijándose en 100 % la descarga mayor (marcha I), equivalente a 52 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. En la marcha II la descarga relativa fue de un 65 % respecto a la primera, con un volumen

**Cuadro 2.** Descarga y dispersión de boñiga líquida promedio en diferentes marchas del tractor. Ochomogo, Cartago, Costa Rica. 2015.  
**Table 2.** Discharge and dispersion of average liquid manure in different tractor gears. Ochomogo, Cartago, Costa Rica. 2015.

Marcha	Velocidad		Volumen de descarga		Descarga relativa, %
	km h <sup>-1</sup>		l m <sup>-2</sup>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	
I	0,84		5,21 a	52,07 a	100,00
II	1,24		3,42 b	34,24 b	65,76
III	1,66		2,40 c	24,02 c	46,13
IV	2,18		1,73 d	17,29 d	33,21

Las letras a, b, c, d señalan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre filas / The letters a, b, c, d indicate significant differences ( $p < 0,05$ ) between rows.



**Figura 2.** Descarga de boñiga líquida según la velocidad del tractor a 1 bar de presión en el tanque. Ochomogo, Cartago, Costa Rica. 2016.

**Figure 2.** Discharge of liquid manure according to tractor speed at 1 bar of pressure in the tank. Ochomogo, Cartago, Costa Rica. 2016.

de 34 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, en las marchas III y IV los volúmenes fueron de 24 y 17 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, que representaron el 46 y 33 % de la descarga relativa, respectivamente.

Los resultados correspondientes al área cubierta con el tanque de 3000 l empleado, fueron utilizados también para proyectar esta información para un tanque de 5000 l (Cuadro 3), dado que estos son los dos tamaños más usados y convenientes para las fincas lecheras de Costa Rica, con base en la topografía prevaleciente. También se presentó la cantidad de tanques requeridos para cubrir una hectárea, según la marcha y velocidad de avance del tractor (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Área de terreno cubierta y número de descargas requeridas por hectárea en diferentes velocidades del tractor. Ochomogo, Cartago, Costa Rica. 2016.

**Table 3.** Covered land area and number of discharges required per hectare at different tractor speeds. Ochomogo, Cartago, Costa Rica. 2016.

Marcha del tractor	Velocidad del tractor, km h <sup>-1</sup>	Área cubierta, m <sup>2</sup> /tanque		Tanques requeridos ha <sup>-1</sup>	
		de 3000 l	de 5000 l	de 3000 l	de 5000 l
I	0,84	578,89	964,81	17,27	10,36
II	1,24	857,89	1429,82	11,66	6,99
III	1,66	1286,36	2143,94	7,77	4,66
IV	2,18	1715,71	2859,51	5,83	3,50

## Discusión

El Ministerio de Salud de Costa Rica (Presidencia de la República et al., 2007), estableció mediante el Reglamento de Uso y Vertido de Aguas Residuales (No. 33601) diferentes parámetros para la utilización de los desechos y efluentes de lechería en los potreros, luego de un tratamiento previo. El límite máximo permitido para verter aguas residuales en el caso de la ganadería, es aquella con un DBO<sub>5,20</sub> (Demanda Biológica de Oxígeno) de 200, un DQO (Demanda Química de Oxígeno) de 500 y una cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) de 200 mg l<sup>-1</sup>, los cuales pueden aplicarse en forma directa a los forrajes de corta y pastos de piso, en los cuales se permite el pastoreo quince días posteriores a la aplicación y, si no se respeta ese periodo, la concentración de coliformes fecales no debe exceder de 1000 NMP<sup>3</sup> 100 ml<sup>-1</sup>.

La cantidad de boñiga que se aplica sobre cierta superficie debe ajustarse en función de las demandas del cultivo, y así evitar el potencial riesgo de contaminación por una aplicación desmedida de este material (Hadrich et al., 2010). Además, las propiedades físicas de la boñiga como la densidad aparente, la fluidez y el contenido de materia seca entran en juego y afectan la capacidad de descarga de los tanques boñigueros (Malgeryd y Wetterberg, 1996). Los resultados obtenidos en este trabajo cuantifican la capacidad de descarga del tanque con relación a la velocidad del tractor, así como el volumen (m<sup>3</sup>) de purines requeridos por hectárea según la marcha de operación.

La mayoría de los equipos de aspersión carecen de controles de ajuste en las válvulas de salida, lo cual no permite ajustar la tasa de descarga de material, por lo que la regulación y distribución de la boñiga se controla con la velocidad de movimiento del tractor (Saeys et al., 2008; Halil et al., 2017). La tasa de descarga del material observada en este estudio se redujo significativamente conforme aumentó la velocidad del tractor y coincidió con lo indicado en otras referencias que utilizaron diferentes equipos de distribución de boñiga que observaron un patrón similar (Yadav y Pawar, 2015; Shen et al., 2011). El tanque utilizado solo cuenta con una llave de apertura de descarga que no permitió regular gradualmente la salida del material; está diseñado en función de la capacidad de la presión de la bomba que porta, esto impide que se considere la opción de trabajar la descarga con aperturas parciales de la llave, debido a que ocasionaría que la bomba del tanque trabaje a una presión inadecuada.

Las variaciones observadas en las descargas pueden atribuirse a diferencias en la concentración de sólidos durante la carga y llenado del tanque, y a las variaciones en la velocidad del viento durante la aplicación o descarga (Singh y Singh, 2013), además, la composición heterogénea de la boñiga dificulta que los equipos de aspersión funcionen con alta precisión (Ess et al., 1996). Cabe destacar que ni las concentraciones de sólidos ni las condiciones del viento fueron medidas durante este estudio.

<sup>3</sup> NMP: número más probable.

## Conclusiones

En forma práctica, lo cuantificado hasta ahora es una calibración del equipo esparcidor en términos volumétricos. Adjunto a esto, es necesario realizar una calibración de la cantidad de sólidos esparcidos, que, si bien depende de la cantidad de materia seca contenida en las boñigas líquidas que distribuye el equipo esparcidor, el productor debe contar con un método práctico para valorar la cantidad de materia orgánica ( $t\ ha^{-1}$ ) que está descargando en los potreros.

El método utilizado para determinar la descarga es una herramienta sencilla y replicable para determinar las condiciones de manejo y operación de un equipo de aspersión para lograr una distribución uniforme de las excretas líquidas, así como determinar previamente el área que puede cubrir con el material disponible.

## Literatura citada

- Bellows, B. 2001. Nutrient cycling in pastures. Appropriate technology transfer for rural areas (ATTRA) publication IP136. Universidad del Valle de México, MEX. <http://pss.uvm.edu/pdpforage/Materials/SoilFert/nutrientcycling.pdf> (accessed Jun. 6, 2019).
- Ess, D., B. Joern, and S. Hawkins. 1996. Development of a precision application system for liquid animal manures. In: P.C. Robert et al., editors, Precision Agriculture, ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, USA. p. 863-870. doi:10.2134/1996.precisionagproc3.c102
- Fulhage, C.D. 1997. Manure management considerations for expanding dairy herds. *J. Dairy Sci.* 80:1872-1879. doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)76123-X
- Hadrich, J., T. Harrigan, and C. Wolf. 2010. Economic comparison of liquid manure transport and land application. *Appl. Eng. Agric.* 26:743-758. doi:10.13031/2013.34939
- Halil, Ü., H. Erdoğan, S. Gürçan, S. Satioğlu, and F. Özgür. 2017. Sıvı gübre dağıtma makinasının farklı çalışma hızlarındaki işletme özelliklerinin belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 31(1):49-60.
- Haynes, R.J., and P.H. Williams. 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Adv. Agron.* 49:119-199. doi:10.1016/S0065-2113(08)60794-4
- Jaimés-Cruz, L.J., y H.J. Correa-Cardona. 2016. Balance de nitrógeno, fósforo y potasio en vacas holstein pastando praderas de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el norte de Antioquia. *CES Med. Vet. Zootec.* 11:18-41. doi:10.21615/cesmvz.11.2.2
- Krishnan, M., C.A. Foster, R.P. Strosser, J.L. Glancey, and J. Sun. 2006. Adaptive modeling and control of a manure spreader for precision agriculture. *Comput. Electron. Agric.* 52:1-10. doi:10.1016/j.compag.2005.11.005
- López, C., C. Mendieta, A. López, y S. Pérez. 2008. Proceso para el tratamiento de residuos ganaderos en la isla de gran canaria. En: REDISA, editor, I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. REDISA, Castellón, ESP. p. 7-10.
- Lory, J., and C. Roberts. 2000. Managing nutrients in pastures to improve profitability and quality. Missouri dairy grazing manual. University of Missouri, Columbia, MU, USA.
- Malgeryd, J., and C. Wetterberg. 1996. Physical properties of solid and liquid manures and their effects on the performance of spreading machines. *J. Agric. Eng. Res.* 64:289-298. doi:10.1006/jaer.1996.0070
- Pant, H.K., M.B. Adjei, J.M.S. Scholberg, C.G. Chambliss, and J.E. Recheigl. 2004. Forage production and phosphorus phytoremediation in manure impacted soils. *Agron. J.* 96:1780-1786. doi:10.2134/agronj2004.1780

- Presidencia de la República, Ministerios de Ambiente y Energía, y Ministerio de Salud. 2007. Decreto No. 33601: Reglamento de vertido y uso de aguas residuales. Sistema Costarricense de Información Jurídica, San José, CRI. [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=59524](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=59524) (consultado 4 set. 2009).
- Saeyns, W., J. Deblander, H. Ramon, and J. Anthonis. 2008. High-performance flow control for site-specific application of liquid manure. *Biosyst. Eng.* 99:22-34. doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.09.009
- SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT 9.3 User's guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Shen, B., T. Satow, and S. Maeda. 2011. Evaluation of travel tracks of tractor-drawn manure spreaders using RTK-GPS. *Eng. Agric. Environ. Food* 4:112-118. doi:10.1016/S1881-8366(11)80010-8
- Singh, R.C., and C.D. Singh. 2013. Development and performance testing of a tractor trailer-cum-farmyard manure spreader. *Agric. Eng. Today* 37(2):1-6.
- Wells, K.L., and C.T. Dougherty. 1997. Soil management for intensive grazing. *Soil Sci. News Views* 18(2):1-6.
- Yadav, M.G., and M. Pawar. 2015. Design and development of manure spreader - A review. *Int. J. Eng. Res. General Sci.* 3(3):262-265.
- Yoshitake, S., H. Soutome, and H. Koizumi. 2014. Deposition and decomposition of cattle dung and its impact on soil properties and plant growth in a cool-temperate pasture. *Ecol. Res.* 29:673-684. doi:10.1007/s11284-014-1153-2