

EFICIENCIA DE LA APLICACIÓN MECANIZADA DE ESTIÉRCOL LÍQUIDO Y SU EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) FORRAJERO

EFFICIENCY OF THE MECHANIZED APPLICATION OF LIQUID MANURE AND ITS EFFECT ON FODDER MAIZE (*Zea mays* L.) YIELD

Ortiz-Laurel, H.^{1*}; Rössel-Kipping, D.²; Rosas-Calleja, D.¹; Muñoz Márquez-Trujillo, R.A.¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C.P. 94946. ²Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí.

Iturbide No. 76, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México. C.P. 78600.

*Autor de correspondencia: hlaurel@colpos.mx

RESUMEN

Con la tecnología y los procedimientos adecuados el estiércol del ganado puede manejarse en estado líquido, ya que se facilita su almacenamiento, disminuye las pérdidas de nutrientes, posibles afectaciones al ambiente, y mejora su incorporación al suelo para la producción sustentable de cultivos. Se evaluó la inyección mecanizada del estiércol líquido de bovino (EBL) y sus implicaciones sobre el rendimiento de forraje de maíz (*Zea mays* L.), comparada con la fertilización química. La dosis de referencia fue 160N-30P-00K y en un diseño experimental de bloques al azar con tres tratamientos la cantidad a aplicar del estiércol líquido de bovino fue al 50 %, 100 % y 150 % de la dosis prevista para los tratamientos uno, dos y tres, respectivamente, y el tratamiento cuatro (testigo) con fertilizante químico (100 %) de la dosis establecida. Para la recolección y aplicación satisfactoria del EBL, se construyó una fosa y un equipo inyector. El rendimiento final mostró diferencias ($P > 0.05$) de 1.9 t ha^{-1} mayor, solo en la aplicación de EBL del tratamiento de 100 % de la dosis comparado con el tratamiento de fertilización química.

Palabras clave: manejo de estiércol, rendimiento de forraje, mecanización agrícola.

ABSTRACT

With adequate technology and procedures, livestock manure can be handled in liquid state, since it eases its storage, decreases the loss of nutrients, possible impacts on the environment, and improves its incorporation to the soil for the sustainable production of crops. The mechanized injection of liquid bovine manure (LBM) and its implications on fodder maize (*Zea mays* L.) yield was evaluated, compared to chemical fertilization. The reference dose was 160N-30P-00K, and in a random block experimental design with three treatments, the amount to be applied was at 50 %, 100 % and 150 % of the dose foreseen for treatments one, two and three, respectively, and treatment four (control) with chemical fertilizer (100 %) of the dose established. For the satisfactory recollection and application of LBM, a tank and injector equipment was built. The final yield showed differences ($P > 0.05$) of 1.9 t ha^{-1} higher, only in the application of LBM of the 100 % treatment of the dose compared to the chemical fertilization treatment.

Keywords: management of manure, fodder yield, agricultural mechanization.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 11, noviembre, 2017. pp: 116-120.

Recibido: octubre, 2017. **Aceptado:** noviembre, 2017.



INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las explotaciones de ganado bovino estabulado ha ocasionado incrementos en la producción de estiércol, el cual se podría aprovechar para aportar nutrimentos al suelo, mejorar el rendimiento de los cultivos, reducir costos de producción y reducir afectos nocivos al ambiente (Dell *et al.*, 2011; Krueger *et al.*, 2013). Destaca, sin embargo, la incapacidad para generar procesos de manejo más eficientes, dentro de los que se incluyen infraestructura inadecuada en las instalaciones actuales y la carencia de equipo para su recolecta y distribución eficiente en campo. De ahí que en algunos establos la limpieza de los corrales se realiza con la tecnología al alcance; por ejemplo, pala cargadora frontal y camión de volteo (Luna-Anguiano *et al.*, 2014). La fertilización química al suelo no ha estado exenta de complicaciones debido a su alto costo, escasez de mano de obra para su aplicación y dosificaciones extremas que han causado toxicidad y contaminación del agua, causales de los bajos rendimientos de los cultivos (Annicchiarico *et al.*, 2011). Esta situación ha renovado el interés de agricultores por la utilización intensiva del estiércol como la base de nutrimentos para sus cultivos (Salgado García y Nuñez Escobar, 2010; Trejo-Escareño *et al.*, 2013). A través de un programa sostenible los estiércoles agrícolas pueden satisfacer las necesidades nutrimentales de diferentes cultivos, además de que aportan materia orgánica, micro y macro nutrientes. En países de Europa y los Estados Unidos, el marco regulatorio respecto a emisión de gases, olores desagradables y escurrimiento de líquidos por los desechos de las explotaciones pecuarias obliga a instaurar técnicas para manejar, tratar y dosificar el estiércol líquido con la mayor eficiencia posible (Akar *et al.*, 2014; Matsi, 2012; Sanford *et al.*, 2008). En México, únicamente la Comarca Lagunera de Torreón, Coahuila y la cuenca lechera de Tizayuca, Hidalgo han realizado ensayos de aplicación de estiércol de bovino líquido (EBL) con resultados satisfactorios (Figueroa-Viramontes *et al.*, 2010; López Martínez *et al.*, 2010; Luna-Anguiano *et al.*, 2014). El manejo del estiércol en

forma líquida ha registrado mejores resultados cuando es inyectado al suelo, registrando pérdidas menores a 5 % de nitrógeno (N) total (Costa *et al.*, 2014; Dell *et al.*, 2011). El estiércol líquido se obtiene mediante la dilución del excremento fresco del ganado, utilizando el agua de la limpieza de los corrales e instalaciones para la ordeña. Por lo anterior, este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar un sistema mecánico para aplicar estercoladura, evaluando tres dosis de fertilización a base de EBL en un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) para forraje en dos sitios, para constatar la adaptabilidad del estiércol líquido a una agricultura intensiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento de inyección del estiércol de bovino líquido se estableció en Texcoco, Estado de México, en el campo experimental agrícola del Colegio de Postgraduados, en una superficie de 0.50 ha (19° 27' N; y 98° 54' O).

Diseño y construcción del equipo inyector de EBL

Para cumplir el objetivo de este estudio se construyó un tanque contenedor para acoplarse a un tractor agrícola, cuya capacidad se calculó con base en los requisitos de los experimentos y realizar en una pasada la aplicación completa de EBL, además de que se pudiera realizar la distribución en surcos de diferente separación. El aplicador se integró de los siguientes componentes (Figura 1): **Depósito o cisterna.** Con capacidad de 400 l. **Sistema regulador de flujo.** Mediante una llave de paso se regulan los litros de EBL a descargar en función de la calibración para la aplicación. **Sistema de conducción.** Consiste de ductos de acero y plástico con los diámetros de acuerdo con el flujo de salida, el que se realiza por gravedad. **Sistema de filtrado.** Se utilizó una malla metálica con abertura de orificio de 5.0 mm en la boca de llenado para retener la paja de menor tamaño y así evitar obstrucciones.



Figura 1. Vista general del tanque aplicador de EBL.

Capacidad y construcción de la fosa de recolección

Para calcular la capacidad de la fosa se estimó el volumen de EBL necesario para los tratamientos con mayor

porcentaje de dosificación. El volumen de almacenamiento especificado fue de 5500 litros, el cual satisfizo las necesidades de los ensayos. En el sitio seleccionado para la colecta del estiércol líquido se realizó una excavación de las medidas apropiadas, impermeabilizándose todo su interior, utilizando plástico calibre 600. Todas las labores agronómicas para el establecimiento del cultivo se efectuaron de acuerdo con la guía técnica agrícola para esta zona (SAGARPA, 2015), utilizando la sembradora MP-25 y la variedad HS-2 con 50 kg ha⁻¹ de semilla para lograr una densidad de 80000 plantas ha⁻¹. La distancia de separación entre surcos fue de 90 cm y de 9 cm entre plantas. Los tratamientos se distribuyeron bajo el diseño de bloques al azar y en contra del gradiente del terreno. El lote experimental con un área efectiva de 937.5 m² se dividió en seis bloques con cuatro tratamientos cada bloque para tener seis repeticiones por tratamiento y 24 parcelas experimentales (Cuadro 1).

Recolecta del estiércol y llenado de la fosa.

El estiércol fresco y húmedo fue trasladado hacia el canal de desagüe ubicado al centro del corral, utilizando palas anchas y tablas (avión) (Figura 2 A). Una vez en el canal se le agregó agua para conseguir una dilución aproximada

a 4 % de materia seca y facilitar su conducción hacia la fosa (Figura 2 B).

Limpieza, mezclado y toma de muestra. Se retiró el material vegetal mezclado en el estiércol para evitar obstrucciones en el sistema de salida. Se agitó el estiércol para deshacer las excretas sólidas y obtener una mezcla homogénea (Figura 2 C), recolectándose una muestra para el análisis de laboratorio y determinar el contenido de N total. Esta operación se realizó cada día de recolección y de la aplicación programada del estiércol.

Llenado del depósito y traslado. Con el dato del contenido del N de la muestra se determinó la dosificación, procediéndose al llenado del depósito, pasando por un filtro-malla con abertura de orificio de 5.0 mm en la entrada del contenedor (Figura 2 D). El aplicador se trasladó acoplado al enganche de tres puntos del tractor hacia el lote del cultivo para realizar la inyección al suelo (Figura 3).

Cuadro 1. Distribución y dosificación de los tratamientos para este estudio.

Tratamiento	% del tratamiento	kg-nitrógeno
1	50	7.5
2	100	15.0
3	150	22.5
4 (testigo)	100	15.0

Cantidad real de EBL aplicado por día. El periodo de aplicación de la dosis de EBL programada por el experimento se fijó en cinco días, así que, los análisis mostraron valores de 2.6, 2.4, 2.1, 2.3 y 2.6 g de N/l de estiércol para cada uno de esos días. Como cada muestra reportó diferente contenido de nitrógeno se calibró la abertura de la llave de paso para obtener la dosificación prevista del experimento (Cuadro 2).

Fertilización química. La dosis completa previamente calculada de fertilizante se aplicó manualmente en una sola aplicación directamente a la planta para este tratamiento, tapándolo posteriormente en la segunda escarda.

Previo a la inyección del EBL, en el cultivo ya establecido y hasta la cosecha se realizaron varios muestreos de plantas con inter-



Figura 2. Etapas del proceso para manejar EBL en una explotación. a) Recolecta en el corral, b) Llenado de la fosa, c) Agitación y retiro de sólidos grandes y d) Llenado del contenedor.



Figura 3. Inyección de EBL en parcela experimental del Colegio de Postgraduados-Montecillo.

valos de 20 días (etapas VE–R3); las variables evaluadas fueron: altura de plantas, diámetro de tallos, número de hojas (anchura y longitud), peso fresco y peso seco. Antes de iniciar labor alguna de cultivo en el terreno y al concluir la evaluación se muestreó el suelo para analizar su condición nutrimental, respecto al N total, N amoniacal (N-NH₄) y nitratos (N-NO₃). El método de muestreo fue el aleatorio simple, tomando tres muestras por parcela de los bloques impares y mezclándolas para obtener una muestra compuesta. En total se tomaron 12 muestras, las cuales fueron analizadas en el laboratorio (Salgado-García *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación del rendimiento de forraje verde

El maíz forrajero para ser ensilado debe cortarse a 2/3 de la línea de leche del grano cuando el elote alcanza un estado masoso (González-Castañeda *et al.*, 2006). Bajo esta condición pueden obtenerse rendimientos de 70 a 80 t ha⁻¹ de forraje verde, equivalentes a 18.5 t de materia seca (Figuroa-Viramontes *et al.*, 2010). La variable de respuesta evaluada fue el rendimiento en kilogramos de forraje obtenidos por cada tratamiento, el cual se determinó mediante el corte y pesado de una cantidad de forraje dentro del área útil de cada parcela. Así, los

rendimientos estimados promedio en el experimento fueron: tratamiento 1 (50 %) de 74.3 t ha⁻¹; del tratamiento 2 (100 %) de 77.3 t ha⁻¹; del tratamiento 3 (150 %) de 70.6 t ha⁻¹; y del tratamiento testigo (100 %) de 75.4 t ha⁻¹. De acuerdo con el análisis de varianza, para esta variable no existió diferencia significativa (P>0.05) entre los tratamientos. Por lo anterior, en términos de producción de forraje verde se presentaron diferencias, ya que en el tratamiento de abonado con EBL al 100 % de necesidades de N se obtuvo en promedio un excedente de producción de 1.94 t ha⁻¹ con respecto al tratamiento en el que se dosificó fertilizante químico que reportó en promedio un menor rendimiento. Respecto a las variables morfológicas analizadas de los muestreos de plantas individuales, los resultados obtenidos no mostraron diferencias estadísticas significativas (P≥0.05) (Cuadro 3).

Los resultados en los análisis de suelo antes y al finalizar el experimento mostraron que no hubo cambio significativo en el nitrógeno total y amoniacal; sin embargo, los nitratos sí cambiaron a una clasificación media, con base en el parámetro establecido (Cuadro 4; Vázquez, 1999). Puede decirse que esta técnica puede formar parte de un modelo alternativo de aplicación de nutrimentos para la producción de cultivos.

CONCLUSIONES

El equipo aplicador de EBL funcionó con una uniformidad superior a 90 % en su dosificación. El rendimiento final de maíz forrajero reportó diferencias numéricas (P>0.05) de 1.94 t ha⁻¹ en el tratamiento dos (100%), su-

Cuadro 2. Días calendario de aplicación e inyección real (N total) por tratamiento realizada durante el mes de Mayo.

Días	9		10		11		12		16		Aplicación total	
	Cantidad de nitrógeno total a aplicar											
	2.6		2.4		2.1		2.3		2.6			
	l	g	l	g	l	g	l	g	l	g	l	G
T-1	1486	3865	1486	3568	-	-	-	-	-	-	2972	7433
T-2	1486	3865	1486	3568	1735	3644	1690	3887	-	-	6397	14964
T-3	1486	3865	1486	3568	1735	3644	1690	3887	2971	7724	9368	22688
T-4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	15000	--	15000
Total	4458	115 95	4458	10704	3470	7288	3380	7774	2971	7724	--	--

perior al tratamiento de aplicación de fertilizante químico. El rendimiento obtenido con los tratamientos donde se dosificaron las mismas necesidades de N y superiores, a base de EBL, determinan que el rendimiento del cultivo puede superarse utilizando únicamente fertilizantes químicos y posiblemente aplicando la mitad de nitrógeno, con base en la dosis de EBL.

LITERATURA CITADA

Akar T., Kaplan M., Sagir N., Gelebur A. 2014. Effects of different liquid-manure treatments on yield and quality parameters of second-crop silage corn under reduced tillage conditions. *Romanian Agricultural Research* 3: 193-203.

Annicchiarico G., Caternolo G., Rossi E., Martiniello P. 2011. Effect of manure vs. fertilizer inputs on productivity of forage crop models. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8: 1893-1913.

Costa M., Shigaki F., Alves B., Kleinman P., Pereira M. 2014. Swine manure application methods effects on ammonia volatilization, forage quality, and yield in the Pre-Amazon Region of Brazil. *Chilean Journal of Agricultural Research* 74(3): 311-318.

Dell C.J., Meisinger J.J., Beegle D.B. 2011. Subsurface application of manures slurries for conservation tillage and pasture soils and their impact on the nitrogen balance. *J. Environ. Qual* 40: 352-361.

Figueroa-Viramontes U., Cueto-Wong J.A., Delgado J.A., Núñez-Hernández G., Reta-Sánchez D.G., Quiroga-Garza H.M., Faz-Contreras R., Márquez-Rojas J.L. 2010. Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 28(4): 361-369.

González Castañeda F., Peña Ramos A., Núñez Hernández G. 2006. Etapas de corte, producción y calidad forrajera de híbridos de maíz de diferente ciclo biológico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(2): 103-107.

Krueger E.S., Baker J.M., Ochsner T.E., Wente C.D., Feyereisen G.W., Reicosky D.C. 2013. On-farm environmental assessment of corn silage production systems receiving liquid dairy manure. *Journal of Soil and Water Conservation* 68(6): 438-449.

López Martínez J.D., Martínez Parada P.E., Vázquez Vázquez C., Salazar Sosa E., Zúñiga Tarango R. 2010. Producción de maíz forrajero con labranza, fertilización orgánica e inorgánica. *Revista Científica UDO Agrícola* 10(1): 55-59.

Luna-Anguiano J., Silos-Córdova S.G., Salazar-Meléndez E., Trujillo

Cuadro 3. Promedios de las variables analizadas en los muestreos de plantas.

Tratamientos	Altura de plantas (m)	Diámetro de tallos (cm)	Número de hojas	Por planta individual	
				Peso fresco (g)	Peso seco (g)
T1	3.17a	9.83a	13.00a	2383.5a	569.4a
T2	3.26a	8.67a	13.67a	1944.9a	558.5a
T3	2.68a	9.50a	13.33a	2793.5a	507.6a
T4 (testigo)	2.19a	8.50a	12.00a	2335.4a	582.8a
Dif	11.765	13.324	39.694	1319.5	367.86

Las medias con la misma letra (a) no presentan diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 4. Análisis químico del suelo al inicio y al concluir el estudio.

Etapa de experimento	N total (%)	N-NH ₄ (ppm)	N-NO ₃ (ppm)
		0.09-0.15	11.0-20.0
Inicio	0.1	11.16	7.67
Conclusión	0.12	16.30	14.7
Clasificación	Medio	Medio	Bajo a Medio

Herrada U., Alvarado-Arroyo R.A. 2014. Producción de maíz forrajero abonado con efluentes líquidos de un biodigestor en la región lagunera. Memoria del XXXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. División III Aprovechamiento del Recurso Suelo. Chihuahua, México. 101-105.

Matsi T. 2012. Liquid cattle manure application to soil and its effect on crop growth, yield, composition, and on soil properties. Ch. 6. In: *Soil Fertility Improvement and Integrated Nutrient Management-A Global Perspective*. Joann Whalen (Ed.). InTech 97-118.

SAGARPA. 2015. Agenda Técnica Agrícola de Estado de México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2da. Edición. México. 288p.

Salgado García S., Nuñez Escobar R. 2010. Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. Colegio de Postgraduados/BBA. México. 158p.

Salgado-García S., Palma-López D.J., Castelán-Estrada M., Lagunes-Espinoza L.C., Ortiz-Laurel H. 2013. Manual para muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Tabasco, México. 100p.

Sanford G.R., Posner J.L., Schuler R.T., Baldock J.O. 2008. Effect of dairy slurry application on soil compaction and corn (*Zea mays* L.) yield in Southern Wisconsin. *Soil & Tillage Research*. 100(1-2): 42-53.

Trejo-Escareño H.I., Salazar-Sosa E., López-Martínez J.D., Vázquez-Vázquez C. 2013. Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(5): 727-738.

Vázquez A., A. 1999. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. 2da. Edición, Chapingo, México. 32p.