

Análisis de dosis de fertilizante líquido aplicado por camiones cisterna en entornos agrícolas del norte de Santa Fe

Analysis of liquid fertilizer doses applied by tanker trucks in agricultural environments in northern Santa Fe

Presentación: 30/10/2025

Francisco Dominguez

Facultad Regional Reconquista Universidad Tecnológica Nacional (FRRq UTN), Parque Industrial Reconquista, Calle 44 1000, Reconquista, Santa Fe, Argentina

Estación Experimental Agropecuaria Reconquista, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (EEA Reconquista, INTA), Ruta Nacional N° 11 km 773, Reconquista, Santa Fe, Argentina
fdominguez22467@comunidad.frrq.utn.edu.ar

Lucas Damián Snaider

Facultad Regional Reconquista Universidad Tecnológica Nacional (FRRq UTN), Parque Industrial Reconquista, Calle 44 1000, Reconquista, Santa Fe, Argentina

Estación Experimental Agropecuaria Reconquista, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (EEA Reconquista, INTA), Ruta Nacional N° 11 km 773, Reconquista, Santa Fe, Argentina
lsnaider2324@comunidad.frrq.utn.edu.ar

Resumen

Este trabajo analiza la aplicación de fertilizante líquido (digestato) con camiones cisterna en campos agrícolas del norte de Santa Fe. El objetivo fue evaluar diferentes metodologías de medición de dosis aplicadas y su uniformidad, proponiendo un protocolo de medición que permita validar y mejorar la práctica. Se compararon dos disposiciones de bandejas colectoras: una con bandejas pequeñas en mayor número y otra con bandejas grandes en menor cantidad, complementadas con datos de GPS para estimar la dosis global promedio. Los resultados indicaron que las bandejas pequeñas ofrecieron valores más cercanos al promedio global y menor error, evidenciando mayor exactitud. En cuanto a la distribución transversal, los coeficientes de variación no mostraron tendencias claras, por lo que se requieren nuevas mediciones. El protocolo constituye un aporte metodológico para optimizar la gestión de la fertilización orgánica líquida.

Palabras clave: Digestato, Fertilización Líquida, Medición de Dosis, Uniformidad de Aplicación.

Abstract

This study analyzes the application of liquid fertilizer (digestate) using tanker trucks in agricultural fields in northern Santa Fe. The objective was to evaluate different methodologies for measuring applied doses and their uniformity, proposing a measurement protocol that allows for the validation and improvement of the practice. Two collection tray arrangements were compared: one with a greater number of small trays and another with a smaller number of large trays, complemented by GPS data to estimate the average overall dose. The results indicated that the small trays offered values closer to the overall average and lower error, demonstrating greater accuracy. Regarding cross-sectional distribution, the coefficients of variation did not show clear trends, so further measurements are required. The protocol constitutes a methodological contribution to optimize the management of liquid organic fertilization.

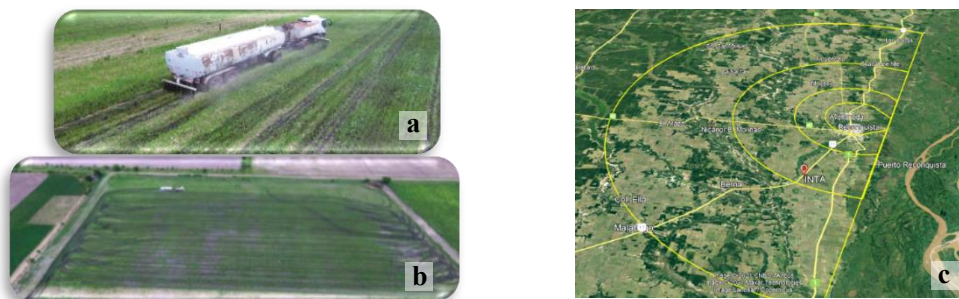
Keywords: Digestate, Liquid Fertilization, Dose measurement, Application Uniformity.

1. Introducción

En el norte de la provincia de Santa Fe se observa un auge en la utilización de prácticas productivas agropecuarias tendientes al uso de residuos orgánicos, provenientes de otros sistemas productivos, como fertilizantes para tierras destinadas a producción agropecuaria (figuras 1a y 1b). En gran parte, los residuos utilizados son líquidos y se aplican de manera directa a los lotes de producción. Este tipo de prácticas productivas son parte de un nuevo enfoque en agricultura, representando una excelente posibilidad de reducción de costos y de desarrollo de economía circular que colabora en una transición hacia sistemas productivos socio-ambientalmente responsables. Diversos ensayos agronómicos llevados adelante en la zona demuestran que muchos de estos productos líquidos presentan excelentes propiedades para ser utilizados como fertilizantes. Mieres et al. 2023 analizaron la aplicación de digerido en suelos agrícolas y ganaderos de Santa Fe, mostrando mejoras en la fertilidad y la productividad forrajera. También se detectaron mejoras en los niveles disponibles de N, P y K (Nitrógeno, Fósforo y Potasio, respectivamente) en suelo y aumentos en el rendimiento de trigo y soja de segunda (Mieres et al., 2021). En entornos de producción ganadera las mejoras se hicieron presentes dado que la aplicación de digestato permitió una mayor productividad en alfalfa y disponibilidad de nutrientes en el suelo (Mieres et al., 2024).

En la región existe una planta productora de biogás a partir de biodigestores que como residuo genera un producto llamado “digestato”. Este producto presenta excelentes propiedades como fertilizante orgánico (Mieres et al., 2021) y es utilizado en zonas rurales cercanas a su área de influencia (figura 1c). Se sabe que para que la logística de traslado del producto a los campos sea viable económicamente la zona de utilización agrícola debe encontrarse en un radio no mayor a los 40 km de radio respecto del punto de producción del desecho industrial. De acuerdo con la capacidad de producción de digerido de la planta y la realidad productiva actual, existen 150.000 hectáreas potenciales que podrían aprovechar los beneficios de la fertilización con este tipo de subproductos industriales.

El hecho de que la aplicación de estos abonos se encuentre en un rápido crecimiento, provocó que el desarrollo de las tecnologías relacionadas no acompañe el ímpetu de los productores que ven los beneficios de su uso. Los sistemas actuales de aplicación mecanizada de abonos orgánicos a campo necesitan ser mejorados, tanto en lo que respecta a la manera en la que estos abonos son aplicados al terreno, así como también el grado de precisión y adaptabilidad que se logra en su dosificación. En este sentido, en la Facultad Regional Reconquista de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) se viene trabajando en el proyecto PID: “Desarrollo de alternativas de mecanización para distribución y aplicación de abonos orgánicos líquidos en sistemas agropecuarios” (AMECRQ0010130), en concordancia también se vienen realizando trabajos relacionados a la temática en la Estación Experimental Agropecuaria Reconquista de INTA (EEA Reconquista), y en vinculación con la Facultad Regional Reconquista de la UTN. En nuestra zona se realizan aplicaciones de digestato mediante el uso de camiones cisterna adaptados para realizar un regado superficial en el terreno, con una escasa tecnología para el control de la dosis y uniformidad de aplicación poco controladas, además del hecho de no ser herramientas pensadas para su uso en agricultura (figura 1a).



Figuras 1a, 1b y 1c. Aplicación de digestato como fertilizante en el Norte de Santa Fe

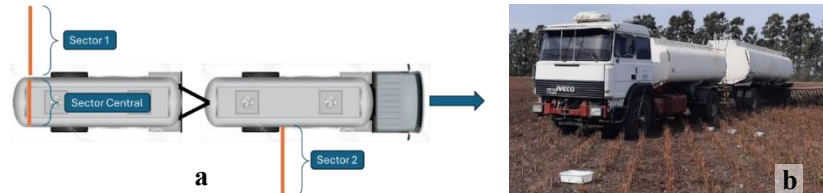
Una de las problemáticas de los métodos de aplicación actuales radica en que no son conocidas con exactitud las dosis que se aplican en los lotes y tampoco es fiable el método que se utiliza para controlarla. Si bien se fijan dosis objetivo de aplicación que rondan entre los 18.000 y 40.000 litros por hectárea (Mieres et al., 2024), actualmente no existen mediciones objetivas para comprobar la dosis efectivamente aplicada. Por otra parte, la uniformidad de la dosis aplicada en la superficie del terreno tampoco es conocida ni ha sido estudiada.

Analizar la dosis aplicada en diferentes momentos durante el trabajo del camión aplicador en el campo es uno de los objetivos de este trabajo. También se pretende establecer un protocolo de medición que a futuro nos permita tener resultados comparativos.

2. Materiales y métodos

Este ensayo se realizó en el campo de la EEA Reconquista de INTA. El lote en el que se realizó la medición es plano y se encontraba con rastrojo de algodón al momento del ensayo. Se tomaron mediciones de 2 camiones aplicadores de digestato con sistemas regadores de 7,5 m de ancho de regado efectivo, con velocidades de avance de entre 7 y 10 km/h. En su paso por el lugar trabajado los camiones realizaban una pasada de “ida” recorriendo toda la longitud del lote de sur a norte, seguida de una pasada de “vuelta” paralela a la anterior recorriendo la longitud del lote de norte a sur.

Los camiones aplicadores analizados tienen la construcción funcional general que se muestra en la figura 2a.



Figuras 2a y 2b. Camión aplicador

Para la determinación de las dosis aplicadas, en diferentes puntos se dispusieron bandejas de captación de área superficial conocida y se midió el volumen de fluido captado por cada bandeja al pasar el camión aplicador por sobre ellas. En la figura 2b y 3c se observa el camión aplicador pasando por uno de los puntos de medición con las bandejas de captación colocadas. Se determinó la dosis aplicada en el área específica de las bandejas colectoras según la ecuación (1).

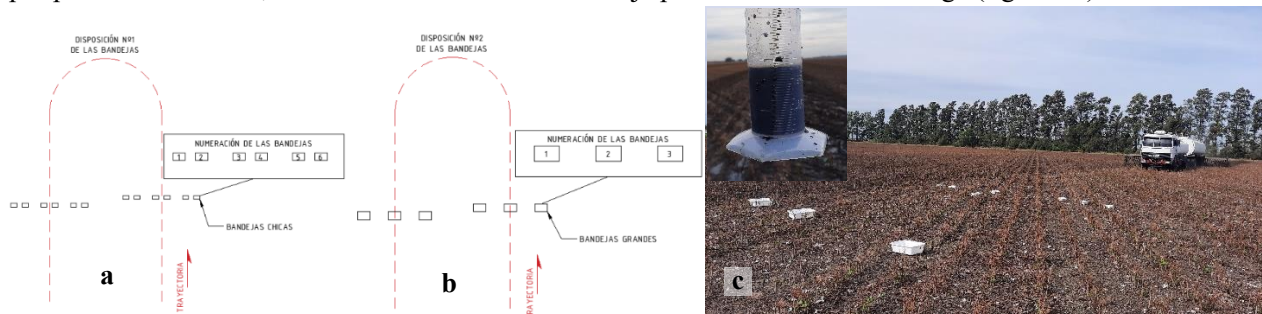
$$\text{Dosis} \left[\frac{\text{l}}{\text{ha}} \right] = \frac{\text{Volumen captado}}{\text{Área de captación de la bandeja}} \quad (1)$$

En este trabajo se hicieron mediciones con diferentes tamaños y cantidades de bandejas, distribuidas en una línea recta transversalmente a la dirección de avance del camión aplicador (figuras 3a y 3b). Las bandejas usadas son de un diseño prismático trapezoidal donde su cara inferior es más pequeña que la superior, la cual se encuentra abierta. En concreto, se utilizaron dos tipos de bandejas:

- Bandejas Chicas: de 28 x 20 cm, con un área de captación de 0,056 m² c/u.
- Bandejas Grandes: de 38,5 x 27 cm, con un área de captación de 0,104 m² c/u.

Se colocaron bandejas en las disposiciones que se aprecian en la figura 3a (bandejas chicas) y 3b (bandejas grandes). Para cada una de las disposiciones adoptadas se tomaron mediciones en dos puntos de la trayectoria del camión, uno en el trayecto de “ida” y otro en el de “vuelta”. Repitiéndose esta medición en 2 camiones.

La disposición N°1 corresponde a una medición con 6 bandejas chicas por punto de medición con una distribución de 2 bandejas para cada sector de descarga del camión (figura 3a), mientras que para la disposición N°2 se tiene a una medición con 3 bandejas grandes por punto de medición, con una distribución de 1 bandeja por cada sector de descarga (figura 3b).



Figuras 3a, 3b y 3c. Disposición de las bandejas de medición y medición de volúmenes captados.

Mediante probetas calibradas de 500 ml se realizó la medición del volumen de digestato colectado por cada bandeja (figura 3c).

Por otra parte, se colocó sobre el camión un sistema de traqueo (seguimiento satelital) de trayectoria mediante el uso de GPS. Luego se determinó la longitud total de la trayectoria. Con la longitud total de la trayectoria, el ancho de regado y la cantidad de litros totales disponibles en los tanques del camión se determinó la dosis total promedio global mediante la ecuación (2).

$$\text{Dosis promedio global} \left[\frac{l}{ha} \right] = \frac{\text{Volumen total de líquido descargado}}{\text{Longitud total de la trayectoria} \cdot \text{Ancho de regado del camión}} \quad (2)$$

3. Resultados y discusión

Los resultados de volúmenes registrados en las aplicaciones se encuentran resumidos en la Tabla 1. Los valores para la determinación de la dosis promedio global registrados son los que se muestran en la Tabla 2. Donde la longitud de la trayectoria se extrajo del seguimiento GPS, el ancho de labor fue medido de manera directa y el volumen total fue provisto desde el lugar de carga del camión en la planta productora de digestato.

Tabla 1. Volúmenes medidos en las bandejas colectoras según disposiciones.

		Volumen medido				
		Número de bandeja	IDA (Medición 1)	VUELTA (Medición 1)	IDA (Medición 2)	VUELTA (Medición 2)
			[ml]	[ml]	[ml]	[ml]
Bandejas chicas (Disposición N° 1)	Sector 1	1	135	85	165	90
		2	90	65	170	55
	Sector central	3	105	120	95	205
		4	120	115	50	90
	Sector 2	5	.*	75	175	215
		6	135	135	45	260
	Promedio	N/A	117	99	117	153
Bandejas grandes (Disposición N° 2)	Sector 1	1	110	95	225	160
	Sector central	2	100	105	165	220
	Sector 2	3	155	115	720	235
	Promedio	N/A	122	105	370	205

*Las celdas que no poseen datos “-” representan mediciones que no pudieron ser realizadas, consecuentemente estos datos fueron despreciados a la hora de realizar los cálculos.

Tabla 2. Datos registrados para determinación de dosis promedio global.

Medición	Longitud de Trayectoria [m]	Ancho de Regado [m]	Volumen total [l]
1	1.727,5	7,5	29.000
2	1.628	7,5	29.000

Para el análisis de los datos se tomaron los valores medidos y se procesaron según las ecuaciones (1) y (2). La dosis aplicada es la relación entre el volumen de fertilizante recolectado por la bandeja y la superficie de captación. Teniendo en cuenta las unidades de las magnitudes físicas la dosis se determina según la ecuación (3).

$$\text{Dosis} \left[\frac{l}{ha} \right] = \frac{100.000 * V}{S} \quad (3)$$

Donde:

V: es el volumen captado por la bandeja y medido con la probeta en [ml]

S: es el área de la boca de la bandeja en [cm²]

100.000: es una constante de conversión

Mediante las ecuaciones (2) y (3) se procesaron los valores de las mediciones obteniendo los resultados de dosis medida que se muestran en la Tabla 3. Por otra parte, se determinó el coeficiente de variación transversal de la dosis teniendo en cuenta la ecuación (4).

$$\text{Coeficiente de variación transversal} [\%] = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (4)$$

Donde:

σ: desviación estándar de la dosis en la disposición de bandejas de cada punto de medición

̄x: Media de la dosis en la disposición de bandejas de cada punto de medición

Tabla 3. Resumen de dosis aplicadas según las mediciones de cada bandeja.

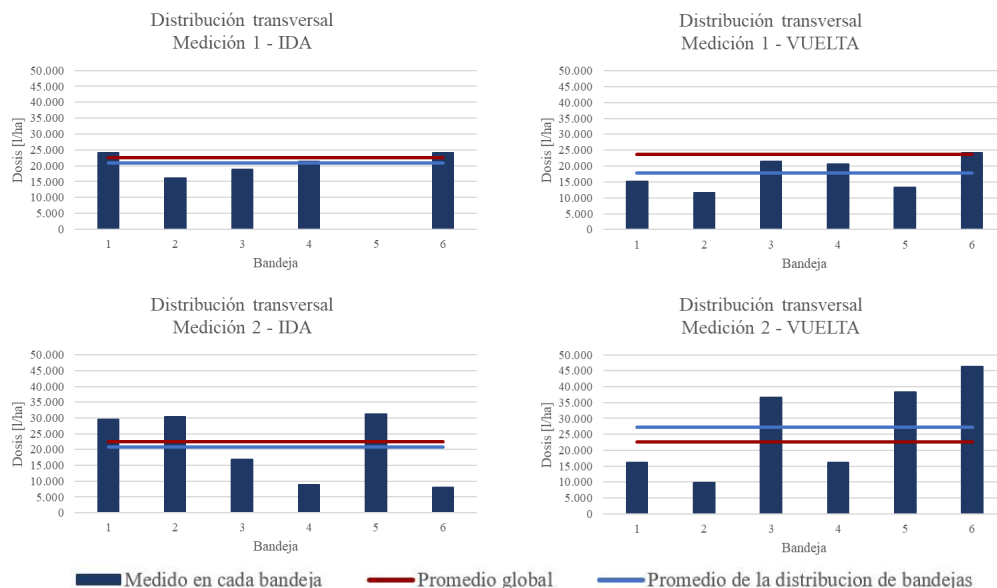
		Dosis aplicada					
		Número de bandeja	Unidad	Medición 1		Medición 2	
				IDA	VUELTA	IDA	VUELTA
Bandejas chicas (Disposición N° 1)	Sector 1	1	l/ha	24.107	15.179	29.464	16.071
		2		16.071	11.607	30.357	9.821
	Sector central	3		18.750	21.429	16.964	36.607
		4		21.429	20.536	8.929	16.071
	Sector 2	5		-	13.393	31.250	38.393
		6		24.107	24.107	8.036	46.429
	Promedio	N/A		20.893	17.708	20.833	27.232
	Coefficiente de variación transversal	N/A		-	17%	28%	52%
	Promedio Medido por Bandejas	N/A	l/ha	19.301		24.033	
Bandejas grandes (Disposición N° 2)	Sector 1	1	l/ha	10.582	9.139	21.645	15.392
	Sector central	2		9.620	10.101	15.873	21.164
	Sector 2	3		14.911	11.063	69.264	22.607
	Promedio	N/A		11.704	10.101	35.594	19.721
	Coefficiente de variación transversal	N/A	-	24%	10%	82%	19%
	Promedio Medido por Bandejas	N/A	l/ha	10.903		27.658	
Dosis global	Promedio global	N/A	l/ha	22.520		23.751	

Tabla 4. Diferencias porcentuales entre las dosis medidas por bandejas y las dosis promedio globales.

		Medición 1		Medición 2	
		IDA	VUELTA	IDA	VUELTA
Bandejas chicas (Disposición N° 1)	Comparación entre el promedio medido por bandejas y el promedio global	-7,2%	-21,4%	-12,3%	+14,7%
	Comparación entre el promedio de la repetición y el promedio global	-14,3%		1,2%	
Bandejas grandes (Disposición N° 2)	Comparación entre el promedio medido por bandejas y el promedio global	-48,0%	-55,1%	49,9%	-17,0%
	Comparación entre el promedio de la repetición y el promedio global	-51,6%		16,4%	

Analizando los resultados de la tabla 4 se observa que el uso de la disposición N° 1 presenta una diferencia menor con respecto al promedio global que la disposición N° 2, es decir que la disposición con bandejas chicas evidencia más exactitud que la disposición con bandejas grandes. La explicación se podría adjudicar al hecho de que en la disposición N° 2 las bandejas están más puntualizadas en las zonas donde se recolecta el fertilizante y se vuelve más propenso a errores de captación debidos a la baja uniformidad de funcionamiento del sistema distribuidor de fertilizante a lo largo del ancho de regado total.

Gráfico 1. Comparativa gráfica de las dosis aplicadas en cada bandeja con respecto al promedio global y por cada medición de ida y vuelta.



Teniendo en cuenta que la metodología de las bandejas pequeñas nos arroja resultados más próximos al promedio global se muestra en el gráfico 1 una comparativa de las dosis aplicadas en cada bandeja con respecto al promedio global y por cada medición de ida y vuelta. Lo que nos presenta una idea del grado de desuniformidad que muestra esta forma de aplicación de fertilizante en el terreno y deja planteada la clara necesidad de avanzar a futuro con más mediciones para analizar la uniformidad en la dosis aplicada.

En lo referente a la uniformidad de la aplicación, no se obtuvieron resultados concluyentes con las muestras obtenidas entre los dos métodos, para obtener un valor numérico de la uniformidad a futuro se plantearán más ensayos.

4. Conclusiones

Podemos concluir que para las dosis aplicadas de digestato, los valores rondan los 23.000 [l/ha] (tabla 3), la cual representa una dosis más cercana a los valores mínimos de aplicación usados agronómicamente.

Ahora bien, para el caso de las disposiciones, si bien el trabajar con bandejas pequeñas requiere de una mayor cantidad de estas y un mayor número de mediciones, se obtienen resultados de las dosis aplicadas con mayor exactitud que empleando bandejas grandes.

Con respecto a la uniformidad de la distribución transversal no se obtuvieron resultados concluyentes debido a que el coeficiente de variación (tabla 3) en las mediciones realizadas no presenta una clara tendencia hacia alguno de los métodos planteados.

A futuro se proyectan más ensayos para poder recopilar más datos y obtener resultados más concluyentes. Tomando la metodología de 6 bandejas por punto de medición como protocolo establecido y aumentando la cantidad de repeticiones de las mediciones.

5. Agradecimientos

Se agradece la gestión realizada por la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Reconquista (UTN-FRRq) y del Instituto Nacional de Tecnología Agrícola – Estación Experimental Reconquista de INTA por proporcionar los fondos, los recursos y la predisposición de su personal para la realización del presente trabajo.

Referencias bibliográficas

Mieres, L., Brach, M. A., Sandoval, M., Castro, C. G., & Leonhardt, M. O. (2023). *Experiencias en abonado de suelos agrícolas y ganaderos con digerido en Santa Fe*. En K. García, P. Monetta, P. F. Rizzo, N. Sosa, & B. Young (Comps.), *Estudio del impacto ambiental, gestión y tratamiento de residuos y efluentes sobre sistemas agropecuarios y agroindustriales para su valorización agronómica: Resultados obtenidos 2019-2022* (pp. 131–135). Ediciones INTA.

Mieres Venturini, L., Brach, A., & Sandoval, M. (2021). *Abonado de trigo y soja con digerido proveniente de biodigestores*. Voces y Ecos, 42, 50–54. INTA EEA Reconquista.

Mieres, L. N., Spontón, J. M., & Lorenzini, H. (2024, septiembre). *Producción de forraje de alfalfa bajo estrategias de fertilización con digerido en Santa Fe, Argentina*. En 47° Congreso Argentino de Producción Animal (Revista Argentina de Producción Animal, Supl. 1, pp. 357-359). Asociación Argentina de Producción Animal. <https://www.researchgate.net/publication/389778022>