

## Sistemas de transporte de urea y su efecto sobre la calidad física y de su aplicación por proyección

Effects of urea transportation systems on its physical and field application quality

Sistemas de transporte de ureia e seu efeito na qualidade física e na sua aplicação por projeção

*Tourn, Santiago Néstor<sup>1</sup>; Merani, Víctor<sup>2</sup>; Mur, Matilde<sup>2</sup>; Platz, Pedro<sup>1</sup>; Guillino, Facundo<sup>2</sup>; Vázquez, Juan Manuel<sup>2</sup>; Larriou, Luciano<sup>2</sup>; Giambelluca, Laura<sup>2</sup>; Balbuena, Roberto<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata

stourn@mdp.edu.ar

**D.O.I.:** <https://doi.org/10.35305/agro38.e015>

**Recibido:** 03/08/2021 **Aceptado:** 28/10/2021

### Resumen

La producción agrícola depende en gran parte del uso de fertilizantes, estos generalmente se aplican en forma sólida por proyección y su transporte puede afectar la calidad física y de su aplicación, afectando la eficiencia de uso y el rendimiento de los cultivos. El objetivo fue evaluar el efecto de dos formas de transportar fertilizante, (tornillo sinfín y cinta transportadora), sobre la calidad física del fertilizante y de su aplicación en el terreno. Se hipotetizó que el sistema de transporte mediante tornillo sinfín afecta la calidad física de la urea y, en consecuencia, su calidad de aplicación en el terreno, respecto a la cinta transportadora. El trabajo se realizó en septiembre del año 2020, se utilizó fertilizante urea y dos sistemas de transporte, tornillo sinfín tradicional y cinta transportadora. Se tomaron muestras de fertilizante antes y después de pasar por los sistemas de transporte y se evaluó la densidad aparente, granulometría y dureza. El fertilizante transportado fue aplicado con una fertilizadora de doble discos y se le evaluó la uniformidad de distribución de las dosis en el terreno. El sistema de transporte por tornillo sinfín provocó una disminución en la densidad aparente y dureza del fertilizante, generando más cantidad de partículas finas (<2mm). Esto afectó su distribución en el terreno generando, para una misma configuración de la fertilizadora y ancho de labor, menor calidad de aplicación, es decir coeficientes de variación de la dosis distribuida mayor que cuando se utilizó la cinta transportadora. No se rechazaron las hipótesis planteadas.

**Palabras Clave:** fertilización; coeficiente de variación; nutrición de cultivos, fertilizadoras

### Abstract

Agricultural production depends largely on the use of fertilizers. These are generally broadcast in solid form and their transport can affect its physical quality and therefore, its application, affecting use efficiency and crop yield. The purpose of this research was to evaluate the effect of two ways of transporting the fertilizer, screw and belt conveyor, on both the physical quality of the fertilizer and its application in the field. It was hypothesized that the screw conveyor system would affect the physical quality of urea and, consequently, its field application quality, in comparison to the belt conveyor. The work was carried out in September 2020, using urea fertilizer and two transport systems, a traditional screw conveyor and a belt conveyor. Fertilizer samples were taken before and after passing through the transport systems and the apparent density, granule size and hardness were evaluated. The transported fertilizer was applied with a double disc fertilizer and its field distribution evenness was evaluated. The screw transport system caused a decrease in bulk density and hardness of the fertilizer, resulting in a higher amount of fine particles (<2mm), which in turn affected its distribution in the field. Thus, compared to the belt conveyor, the screw transport system resulted in lower application quality, that is, higher coefficients of distribution rate variations, using the same fertilizer spreader configuration and spread width. The proposed hypothesis was not rejected.

**Keywords:** fertilization; coefficient of variation; crop nutrition, fertilizer spreader

### Resumo

A produção agrícola depende em grande medida da utilização de fertilizantes, estes são geralmente aplicados na forma sólida por projeção e o seu transporte pode afetar a qualidade física e a sua aplicação, afetando a eficiência de utilização e o rendimento das culturas. O objetivo foi avaliar o efeito de duas formas de transporte do adubo, (parafuso sem-fim e correia transportadora), na qualidade física do fertilizante e sua aplicação no solo. Foi levantada a hipótese de que o sistema de transporte por meio de parafuso sem-fim afeta a qualidade física da ureia e, conseqüentemente, sua qualidade de aplicação no solo, em relação à correia transportadora. O trabalho foi realizado em setembro de 2020, utilizando fertilizante ureia e dois sistemas de transporte, parafuso sem-fim e correia transportadora. Amostras de fertilizantes foram coletadas antes e após a passagem pelos sistemas de transporte e foram avaliadas a densidade aparente, granulometria e dureza. O fertilizante transportado foi aplicado com fertilizadora com duplo disco e foi avaliada a uniformidade da distribuição das doses no terreno. O sistema de transporte de parafuso sem fim causou diminuição na densidade aparente e na dureza do adubo, gerando maior quantidade de partículas finas (<2mm). Isso afetou sua distribuição no terreno, gerando, para a mesma configuração da fertilizadora e largura de trabalho, menor qualidade de aplicação, ou seja, coeficientes de variação da dose distribuída maiores do que quando foi utilizada a correia transportadora. As hipóteses levantadas não foram rejeitadas.

**Palavras chave:** fertilização; coeficiente de variação; nutrição de culturas, fertilizadoras

## Introducción

Satisfacer las futuras demandas de productos agrícolas requerirá intensificar el uso de la tierra, esto puede darse por aumentos en los rendimientos de los cultivos producto por un mayor conocimiento de los procesos productivos y, en consecuencia, de un uso más eficiente de los insumos como fertilizantes, plaguicidas, combustible y agua de riego ([Andrade, 2020](#)). No obstante, esto se aleja de la realidad de muchos de los modelos productivos basados en aumentar la rentabilidad económica a partir de diagnosticar las condiciones de suficiencia-deficiencia en relación al rendimiento del cultivo, sin considerar la conservación del reservorio de nutrientes que conduce a la degradación de la salud del suelo ([Cruzate y Casas, 2012](#); [Díaz de Astarloa y Pengue, 2018](#)).

En la región pampeana Argentina, la pérdida de nutrientes del suelo y el uso continuo de siembra directa han provocado incrementos en la respuesta de los cultivos a la adición de nutrientes ([Sainz Rozas et al., 2019](#)). No obstante, su reposición al suelo ha ganado importancia en los últimos años ([Reussi et al., 2018](#); [Sainz Rozas et al., 2019](#)), permitiendo una planificación racional que incrementaría el nivel de los nutrientes deficientes ([Ruiz Diaz et al., 2019](#)). Los nutrientes generalmente deficientes para la producción de cultivos en la región pampeana Argentina han sido el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S) y su deficiencia puede ser suplida total o parcialmente a partir del agregado de fertilizantes inorgánicos ([Sainz Rozas et al., 2019](#)).

En cuanto a fuentes nitrogenadas inorgánicas, la urea (46-0-0) es la fuente sólida más utilizada ([Fertilizar, 2020](#)) por su alta solubilidad y concentración de N. Se presenta en forma de gránulos semi esféricos siendo la proyección mecánica la técnica de aplicación más común. El sistema de distribución más ampliamente utilizado para la proyección es el de doble discos ([Carciochi y Tourn, 2017](#)). Estos, en general, tienden a conformar una distribución con diagrama de tipo trapezoidal o triangular y es necesaria la superposición de pasadas para lograr una mayor uniformidad ([Martinez Peck, 2007](#)). La variación del tamaño de partícula en y entre las partidas de fertilizantes, es el factor físico más influyente en su proyección y hace necesario cambios en la configuración del sistema distribuidor de doble disco para lograr uniformidad aceptable en su aplicación ([Márquez, 2011](#)). Para conseguir una distribución de fertilizante aceptable en el terreno se dispone de dos variables: la velocidad de salida y la dirección de proyección. La velocidad de salida le proporciona al gránulo la energía necesaria para recorrer la trayectoria prevista. La velocidad de proyección, que se puede calcular a partir de la velocidad tangencial del extremo de las paletas, está entre 18 y 30 m s<sup>-1</sup>, según el diámetro y la velocidad rotacional del disco. Los ensayos de laboratorio ponen de manifiesto que la velocidad de proyección resulta afectada por la

inclinación de las paletas, por el frotamiento de las partículas de fertilizante sobre los elementos lanzadores y por la densidad del gránulo, entre otros factores ([Márquez, 2011](#)).

El parámetro de variación más utilizado para caracterizar la uniformidad de distribución es el coeficiente de variación (CV%). Así, distribuciones con CV% por encima de 15% para fuentes nitrogenadas pueden generar zonas donde la aplicación de fertilizante es mayor o menor que la dosis objetivo y generar pérdidas de rendimiento ([Miles et al., 2015](#); [Carciochi y Tourn, 2017](#)). En este sentido Santos ([2019](#)) reportó pérdidas de más 1,0 t ha<sup>-1</sup> en maíz (*Zea mays* L.) cuando los niveles de CV% de distribución de N aumentaban de 22 a 45, que en esa oportunidad representó una pérdida de 150 dólares ha<sup>-1</sup>. En Argentina, Tourn *et al.* ([2019](#)), luego de un relevamiento de más de 100 máquinas fertilizadoras por proyección, han reportado que en el 90% de los casos los niveles de variación de N en forma de urea superaron el nivel recomendado de <15% de CV% ([Botta et al., 2001](#); [Miles et al., 2015](#)) y que se debía a problemas de ajustes de los sistemas de distribución y calidades muy variables de la granulometría de urea. Por su parte, Morsy *et al.*, ([2012](#)) expresaron que las variables físicas de los fertilizante como su densidad, tamaño de la partícula, forma de la partícula y coeficiente de fricción dinámico tendrán un efecto significativo sobre la distancia alcanzada al ser expulsadas en forma centrifuga por los platos de la fertilizadora. Asimismo, que la uniformidad de estas propiedades entre partículas puede beneficiar su distribución. Estas variables físicas sumadas a la dureza de la partícula pueden verse modificadas en los movimientos que sufre el fertilizante desde su manufacturación hasta el punto de aplicación ([Torres Duggan, 2007](#)).

La calidad de las operaciones y procesos efectuados en cada una de las etapas del sistema de distribución de fertilizantes resultan fundamentales y pueden incidir marcadamente en la calidad final del producto. Por lo tanto, una buena calidad en origen del fertilizante, si bien es necesaria, no es suficiente para garantizar la calidad final de aplicación del producto y su adecuado funcionamiento agronómico. Un correcto manejo en los factores de la logística como son transporte, almacenaje, carga y descarga a lo largo de la cadena de abastecimiento también es imprescindible para garantizar un producto de buena calidad ([U.N.I.D.O. y I.F.D.C., 1979](#)). En este punto la carga y descarga es un factor importante de la logística que puede dañar el fertilizante, la mayoría de los sistemas de traspaso y movimiento de la masa de fertilizante se realizan por medio de sistemas de tornillo sinfín, los mismos pueden ocasionar importantes daños visibles como roturas y generación de polvo y daños invisibles como fisuras y reducción de la dureza de la partícula. Sin embargo, en los últimos años en Argentina se han adoptado otros sistemas de transporte alternativos al tornillo sinfín basados en el uso de cintas transportadoras con tabiques, lo que generaría menor impacto en los gránulos y en la calidad de su aplicación por proyección. Sin embargo, se registra muy poca evidencia científica sobre cómo el transporte de fertilizante afecta su calidad y su distribución por proyección en el suelo. Conocer el impacto del transporte del fertilizante sobre su calidad física y su posterior aplicación se presentaría como una importante herramienta al momento de adquirir un equipo de sistema de transporte y/o ajustar los equipos fertilizadores para lograr un eficiente uso de los nutrientes aplicados al suelo.

Por lo expuesto, se plantean las siguientes hipótesis: a) el movimiento del fertilizante urea por tornillo sinfín reduce el tamaño de las partículas y la resistencia al impacto (dureza) respecto al movimiento alternativo por cintas y b) el cambio en las propiedades físicas del fertilizante urea al usar tornillo sinfín disminuye su calidad de aplicación en el terreno. Para probar estas hipótesis, se planteó el objetivo de evaluar el efecto de dos sistemas de transporte, tornillo sinfín y cinta transportadora, sobre la calidad física del fertilizante urea y su impacto sobre el perfil de distribución del fertilizante con una máquina por proyección de doble disco.

## Materiales y Métodos

### Sitio Experimental

El ensayo se llevó a cabo en septiembre de 2020 en la Unidad Integrada Balcarce (FCA-UNMdP-INTA)  $37^{\circ}45'09''$  S;  $58^{\circ}18'48''$  O; 140 msnm, ([Figura 1](#)). Se evaluaron dos sistemas de transporte: por tornillo sinfín (Sinfín) marca Metalpaz (Armstrong, Santa Fe, Argentina), con un tubo de 8 m de largo 0,2 m de diámetro y mando hidráulico. 2) y cinta transportadora (Cinta) marca Luxion (Marcos Juárez, Córdoba, Argentina) montada sobre camión con una capacidad de 12.000 L y cuatro compartimentos. Para la valoración del perfil de distribución, luego del pasaje por los sistemas de transporte, se utilizó una máquina fertilizadora marca Fertec (Marcos Juárez, Córdoba, Argentina), modelo Serie 6 de doble disco con dos paletas por disco de distinto largo con regulación de su posición relativa y posible modificación concéntrica del punto de caída del fertilizante sobre los discos.

**Figura 1.** Localización geográfica del ensayo.



### Diseño experimental y determinaciones

En una primer etapa se utilizó un diseño completamente aleatorizado, se evaluó la calidad final del fertilizante y se establecieron 3 factores de tratamientos respecto al transporte de la urea (46-0-0; granulada provista por YPF Agro): a) sin efecto del sistema de transporte (condiciones en las que fue recibido el material) (Tolva), b) sistema de transporte Sinfín y c) sistema de transporte por Cinta. Cada factor de tratamiento tuvo 6 repeticiones. En una segunda etapa se realizó el análisis de la uniformidad de distribución transversal del fertilizante sobre el terreno sobre dos tratamientos de los evaluados en la etapa 1 (b y c) con 3 repeticiones de la uniformidad de distribución de la urea con la máquina fertilizadora. Este tipo de diseño es el citado en la norma ISO 5690/1 ([1985](#)). Las muestras de urea fueron tomadas en el carro tolva previamente al pasaje por los sistemas de transporte. Para su recolección, se utilizó un calador de granos de 1,8 m de largo con aberturas de 10 cm cada 5 cm. Asimismo, se tomaron muestras en la descarga del sistema de transporte de los materiales ubicados en distintas tolvas a la salida de los mismos. Los dos mecanismos, Sinfín y Cinta, trabajaron en condiciones recomendadas por fabricante de descarga y las muestras fueron tomadas luego de un tiempo de circulación del material por los sistemas. En cada sitio de muestreo se tomaron 6 muestras de cada material de 2 kg cada una, representativas del volumen total. Se

rotularon y se almacenaron en condiciones adecuadas para luego ser procesadas ([Melgar y Camozzi, 2002](#)).

Las determinaciones físicas sobre las muestras fueron:

**Densidad aparente:** se determinó mediante el peso de 1 l de volumen de fertilizante. Para ello se utilizaron probetas graduadas de un 1 l con una escala de 0,01 l y un error máximo de 0,1 %. Se tomó una alícuota representativa de la muestra total extraída, se completó la probeta hasta el volumen descripto y se pesó, previamente haberse descontado el peso de la probeta (tara). Se realizaron dos mediciones por muestra y se utilizó una balanza granataria de 0,01 g de peso mínimo. Los resultados se expresaron en  $\text{g cm}^{-3}$  ([Gowariker et al., 2009](#)).

**Distribución del tamaño de partícula:** se determinó mediante tamizados con baterías de tamices con aperturas de diámetros nominales según norma ISO 565 y ASTM. Se utilizaron 4 tamices, malla ASTM 4 (4,760 mm), malla ASTM 6 (3,360 mm), malla ASTM 10 (2,000 mm) y malla ASTM 20 (0,841 mm). Se agregó una alícuota representativa de 0,5 kg y se agitó manualmente con la batería apoyada sobre una mesa realizando 30 movimientos laterales de 30 cm para cada lado ([U.N.I.D.O. y I.F.D.C., 1979](#)). Luego se pesó la cantidad de fertilizante remanente sobre cada tamiz. Adicionalmente se determinó la proporción de polvo ( $< 0,841$  mm) y signos de apelmazamiento o material extraño ( $> 4,760$  mm). Los resultados se expresaron como proporción de masa retenida sobre cada tamiz respecto al total.

**Dureza:** determinada a través de la resistencia a la trituración de los gránulos, que es la fuerza mínima requerida para triturar gránulos individuales. Se midió aplicando presión a los gránulos individuales de un rango especificado (20 partículas por rango) y tomando nota de la presión requerida para fracturar cada gránulo, utilizando un durómetro de mano. Las partículas de 2,36 a 2,80 mm de diámetro con una resistencia al aplastamiento inferior a  $1,5 \text{ kg cm}^{-2}$  tienden a fracturar fácilmente y forman polvo durante la manipulación. Las partículas con una resistencia a la trituración de aproximadamente  $1,5$  a  $2,5 \text{ kg cm}^{-2}$  necesitarían precauciones especiales de manipulación, mientras que aquellas con una resistencia al aplastamiento superior a  $2,5 \text{ kg cm}^{-2}$  pueden prescindir de precauciones especiales. Como la resistencia al aplastamiento aumenta significativamente con el tamaño de las partículas, se deben considerar gránulos de igual tamaño para comparar la resistencia al aplastamiento ([Hofstee, 1995](#); [Gowariker et al., 2009](#)).

La evaluación de la calidad de aplicación de fertilizante sobre el terreno se realizó analizando la uniformidad de distribución transversal del fertilizante, que es la variable de calidad de aplicación más afectada para las características del fertilizante. Para ello se utilizó una adaptación de la metodología citada en la norma ([ISO 5690/1, 1985](#)). Se colocaron tres líneas de 50 bandejas colectoras cada una, equidistantes entre sí y transversales al sentido de avance de la máquina fertilizadora, abarcando un ancho definido previamente por el fabricante de la máquina fertilizadora. Se realizaron 2 pasadas en el mismo sentido para definir el perfil de distribución de la máquina y el comportamiento de cada disco distribuidor, se estimó el peso medio, el desvío estándar ([Ecuación 1](#)) y el CV% ([Ecuación 2](#)).

$$DE = \sqrt{\frac{\sum_1^N (xi - X)^2}{N}} \quad \text{ecuación 1}$$

Donde DE (que es el desvío estándar de la media de la cantidad de fertilizante recolectado en las bandejas de cada línea), xi, el peso registrado en cada bandeja, X, la media aritmética de los pesos recogidos en cada línea de bandejas y N, el número total de bandejas (N).

$$CV\% = \frac{DE}{X} * 100$$

*ecuación 2*

Dónde CV% es el coeficiente de variación porcentual de la distribución del fertilizante en el terreno, DE el desvío estándar de la media de la cantidad de fertilizante recolectado en las bandejas de cada línea) y X la media aritmética de los pesos recogidos en cada línea de bandejas.

Cada línea de bandeja se consideró una repetición. Este procedimiento se realizó para cada sistema de transporte, cargando la tolva de la máquina fertilizadora con cada uno de ellos y evaluando luego el efecto sobre el perfil de distribución en cada caso. Se determinó en cada situación el mayor ancho efectivo de trabajo con el mejor valor de coeficiente de variación. La dosis utilizada fue de 200 kg ha<sup>-1</sup>, fijada previamente según manual de usuario de la fertilizadora. Ésta se utilizó con la configuración acorde a las recomendaciones de la fábrica para ese tipo de fertilizante. Previo a la realización de las pasadas definitivas, y a modo de eventualmente necesitar ajustar los parámetros del equipo fertilizador para lograr el menor CV% de distribución de urea, se realizaron 2 pasadas de prueba. Durante la realización del ensayo, se evaluaron cada 1 minuto las condiciones ambientales de temperatura media (°C), humedad relativa (%), velocidad media del viento (km h<sup>-1</sup>) y velocidad máxima del viento (km h<sup>-1</sup>). Se identificaron y relacionaron los parámetros ambientales con el momento preciso de trabajo de la máquina fertilizadora en cada situación, con el objetivo de reconocer posibles interferencias de las variables ambientales sobre la proyección de las partículas de fertilizante. Se utilizó una estación meteorológica Davis Vantage Pro.

#### Análisis Estadístico

Las variables bajo estudio fueron analizadas con el software estadístico INFOSTAT ([Di Rienzo et al., 2008](#)). Se realizó análisis de la varianza y se utilizó el test de Tukey para la comparación de medias cuando fue necesario, con un nivel de significancia p<0.05. Para el procesamiento de la información de uniformidad de distribución transversal se utilizó el software Adulanco 3.1.

#### Resultados, Discusión

Las condiciones ambientales durante el ensayo se resumen en la [Tabla 1](#). Los niveles de velocidad del viento media y máxima fueron adecuados y no generaron un corrimiento del material aplicado. La temperatura y la humedad relativa no presentaron valores que puedan afectar la fluidez y proyección del fertilizante urea ([U.N.I.D.O. y I.F.D.C., 1979](#)).

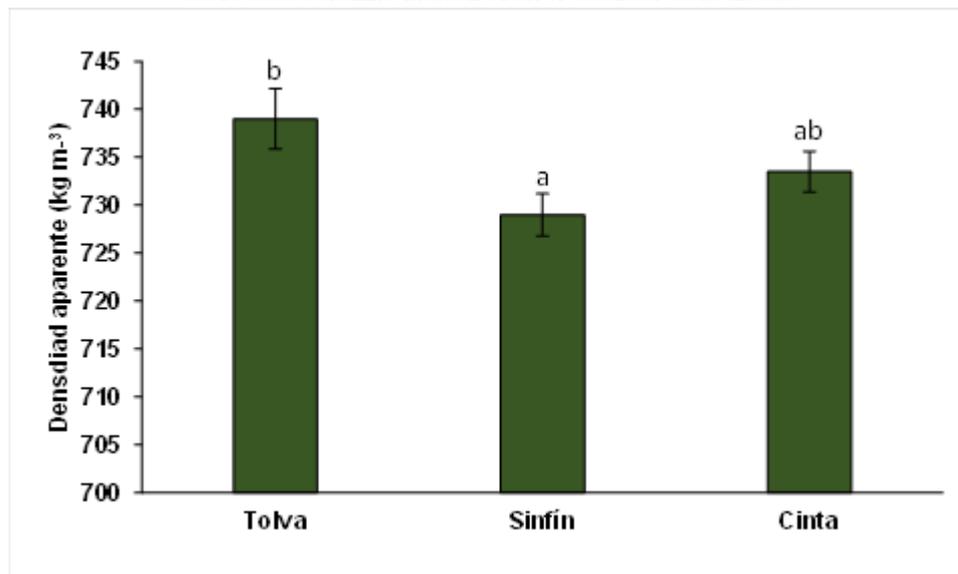
Pasadas	T °C	HR (%)	VMax (km h <sup>-1</sup> )	VM (km h <sup>-1</sup> )
S1	14,8	65,8	12,6	6,0
S2	17,0	57,4	13,8	6,7
C1	17,4	53,0	13,5	7,7
C2	15,1	56,4	13,8	7,0

**Tabla 1.** Condiciones ambientales durante el día del ensayo: Temperatura media (T °C); Humedad Relativa (HR); Velocidad media del viento (Vm); Velocidad máxima del viento (VM). S1 y S2, pasadas con material trasvasado con Sinfín; C1 y C2, pasadas con material trasvasado con cinta.

## Densidad aparente:

La densidad aparente sufrió una disminución entre la muestra obtenida en la tolva y las muestras luego del pasaje por cada uno de los sistemas de transporte ([Figura 2](#)). La muestra obtenida a la salida del sistema Sinfín presentó diferencias estadísticas significativas con el fertilizante de origen. Mientras que la muestra a la salida del sistema Cinta no se diferenció de la muestra obtenida en tolva quedando en una posición intermedia entre ésta y el Sinfín. Esto podría deberse, en parte, por el daño que se genera sobre los granos de fertilizante en su transporte y movimiento lo cual reduce el tamaño de las partículas generando su reordenamiento. La densidad aparente es dependiente del tamaño de las partículas. Así, cuando la masa está constituida por partículas de más de 2 tamaños, disminuye cada vez que disminuye el tamaño de las partículas en casi todas las situaciones que la mezcla de partículas posea más de un 20-30 % de partículas medias o finas ([Jones, 1983](#); [Koltermann y Gorelick, 1995](#); [Westman y Hugill, 1999](#); [Dvorkin y Gutierrez, 2001](#)).

**Figura 2.** Densidad aparente ( $\text{kg m}^{-3}$ ) del fertilizante en los diferentes lugares de muestreo: Tolva, Sinfín y Cinta. Letras iguales entre lugares de muestreo indican que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). Barras verticales sobre cada columna indican el error estándar de la media.



## Tamaño de partículas

Las fracciones del fertilizante fueron afectadas por los diferentes sistemas de transporte ([Tabla 2](#)). En la fracción más gruesa,  $>4,76$  mm, el sistema Cinta no presentó diferencias significativas con el fertilizante de la Tolva. Contrariamente en el sistema Sinfín no se encontraron gránulos  $>4,76$  mm lo que permite suponer que este sistema rompió estos gránulos transformándolos en fracciones de menor tamaño. Las fracciones 4,76-3,36 mm y 3,36-2,00 mm no presentaron diferencias significativas entre ninguno de los tres puntos de muestreo, pero en las fracciones 2,00-0,84 mm y  $<0,84$  mm Sinfín fue el que presentó las mayores proporciones ( $p < 0,05$ ) ([Tabla 2](#)). Estas modificaciones en los tamaños de partículas confirman la mayor agresión por parte del sistema de tornillo sinfín y pueden explicar, como ya se mencionó, la reducción en los valores de densidad aparente de las muestras tomadas luego del pasaje por este sistema ([Hofstee, 1995](#)).

La legislación vigente en la Argentina Resolución N°273/95 ([SENASA, 1995](#)) establece que los fertilizantes granulados que se comercialicen, deberán cumplir con los siguientes parámetros de

tamaño de partículas: el 80 % de las mismas deben quedar retenidas en tres tamices consecutivos (>4,76; 4,76-3,36 y 3,36-2,00 mm) (Norma ASTM). No sobrepasar el 2 % de polvo (malla ASTM 20) y como máximo el 1.5 % retenido en malla ASTM 4. La malla ASTM 20 y ASTM 4 corresponden a tamaños de abertura de 0,841 y 4,7 mm, respectivamente ([Torres Duggan, 2007](#)).

Zonas de muestreo	Fracción de fertilizantes (mm)				
	>4,76	4,76-3,36	3,36-2,00	2,00-1,00	<1
	----- % -----				
Tolva	0,04 a	19,92 ab	75,81 a	4,17 ab	0,05 a
Sinfín	-	19,14 a	75,69 a	4,97 b	0,18 b
Cinta	0,03 a	21,80 a	74,83 a	3,30 a	0,03 a

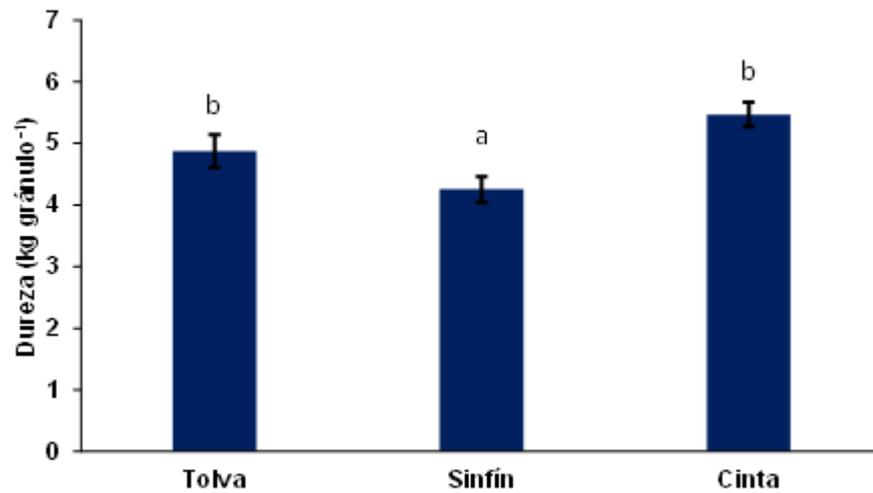
**Tabla 2.** Tamaño de partícula (mm) en cada lugar de muestreo: Tolva, Sinfín y Cinta. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los lugares de muestreo para cada fracción de fertilizante.

Los resultados muestran que el fertilizante se mantuvo dentro de los estándares solicitados por la ley en todo momento, aun después de sufrir daños en el traspaso por los sistemas de transporte. Pese a esto, el Sinfín (1 pasada) aumentó el contenido de polvo en un 260 % y la fracción 2,00-1,00 mm en un 20 %. Estos valores pueden aumentar en forma significativa en el caso de que se realice más de un movimiento del fertilizante, llegando a quedar fuera de estándar y comprometiendo posteriormente su uniformidad de distribución.

#### Dureza del granulo de fertilizante

En este ensayo, el fertilizante utilizado arrojó una dureza promedio de aproximadamente 4,9 kg granulo<sup>-1</sup> (muestra de la tolva) que al pasar por el sistema de transporte por cinta no presentó diferencias respecto a los valores de la Tolva, pero la muestra transportada Sinfín mostró una dureza menor, acercándose a los 4 kg granulo<sup>-1</sup> ([Figura 3](#)). La dureza incide directamente en el alcance de la partícula, ya que de esta dependerá la velocidad de funcionamiento de los discos. Los productos más duros pueden usarse con discos de alta velocidad (> 800 rpm). Los fertilizantes blandos deben esparcirse a velocidades de disco más lentas, por debajo de 800 rpm, lo que resulta en anchos de esparcido menores. La velocidad específica se determina como la velocidad máxima del disco a la que no se observan fracturas o roturas de partículas. La urea puede presentar valores entre 1,5 y 4 kg granulo<sup>-1</sup> ([Hofstee, 1995](#); [Fulton y Port, 2016](#)) pero estos valores pueden variar en función del fabricante y la partida. En este ensayo la velocidad de giro de los discos fue de 740 rpm.

**Figura 3.** Dureza del fertilizante (kg gránulo-1) en los diferentes lugares de muestreo: Tolva, Sinfín y Cinta. Letras iguales sobre las columnas indican que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los lugares de muestreo. Barras verticales sobre cada columna indican el error estándar de la media.



Se han registrado diferentes niveles de daño en materiales transportados por tornillos sinfín (Bragachini *et al.*, 2003; Angelovič *et al.*, 2013), pero principalmente en semillas. En ellos se mencionan no solamente daños de rotura sino también daños invisibles (Piñeyro, 2017) que en el fertilizante podrían ocasionar fisuras o grietas en los granos que disminuirían su resistencia. Por otro lado, como se aprecia en la [Tabla 3](#), el fertilizante transportado por el sinfín no solo sufre una modificación en el tamaño de sus granos, sino también en la dureza que es un parámetro directamente relacionado con su tamaño (Gowariker *et al.*, 2009). En este sentido, fertilizantes con menor tamaño de granos son más susceptibles a la rotura por las paletas al ser distribuidos, reduciendo así el ancho de trabajo. El fertilizante transportado por sinfín posee las menores proporciones de granos gruesos >2 mm sin diferencias significativas (94,8% del Sinfín respecto a 95,8% y 96,7% de la Tolva y la Cinta, respectivamente) y las mayores proporciones de granos finos <2 mm con diferencias significativas (5,2% en el Sinfín, 4,2% en la Tolva y 3,3% en la Cinta) ([Tabla 2](#)) Sin embargo, en todos los casos se cumple con la proporción mínima de partícula mayores a 2mm. Asimismo, en la [Tabla 3](#) se puede apreciar cómo a medida que se redujo el tamaño de partícula disminuyó su dureza.

Zonas de muestreo	Fracción de Fertilizante (mm)			
	>4,76	4,76-3,36	3,36-2,00	2,00-1,00
	----- Dureza (kg gránulo <sup>-1</sup> ) -----			
Tolva	8,25 a	7,30 a	4,41 ab	1,99 a
Sinfín	-	7,59 a	3,56 a	1,68 a
Cinta	8,37 a	6,90 a	5,20 b	2,15 a

**Tabla 3** Dureza de las partículas de fertilizante (kg gránulo<sup>-1</sup>) para las distintas fracciones y zonas de muestreo.

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los lugares de muestreo para cada fracción de fertilizante.

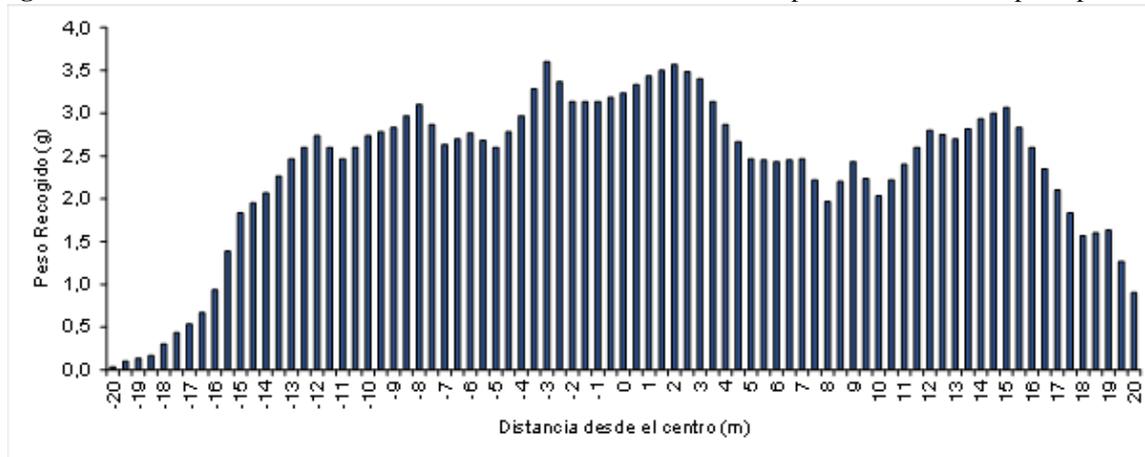
### Uniformidad de distribución

En una segunda etapa del ensayo se procedió a la evaluación de la uniformidad de distribución transversal con los materiales transportados por ambos sistemas (Cinta y Sinfín). Esta distribución puede variar en función de la dureza de las partículas, su tamaño, densidad y la velocidad del disco. Los primeros dos parámetros pueden sufrir alteraciones, como ya se ha observado ([Tablas 2 y 3](#)),

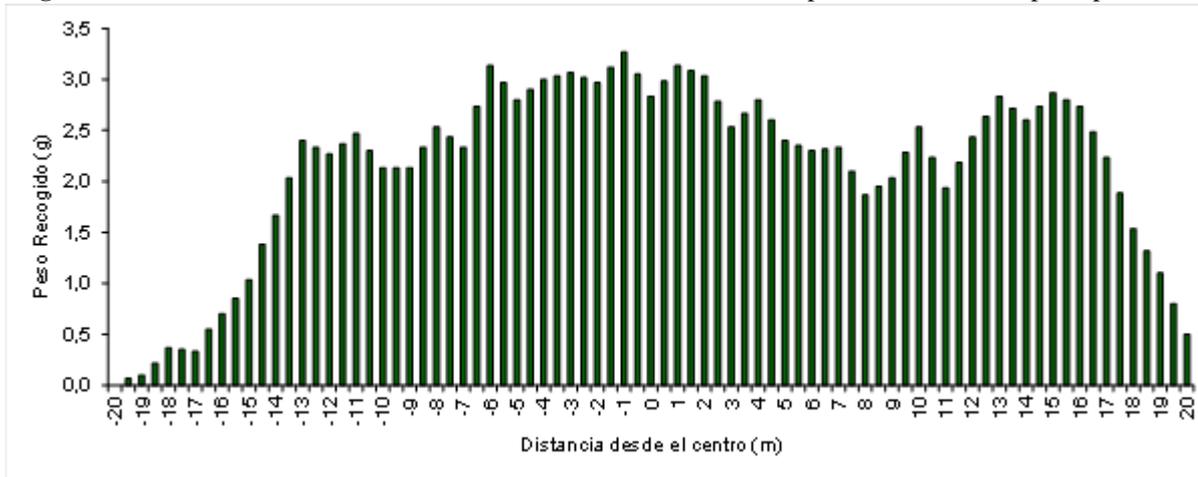
en función del sistema de transporte que sea utilizado. Las partículas más chicas poseen menor alcance y las partículas de menor dureza sufren rotura con velocidades de disco elevadas lo que obliga a reducir las velocidades con la consecuente disminución del ancho de trabajo ([Tourn et al., 2019](#)).

En las [Figura 4](#) y [Figura 5](#) se puede observar el perfil de distribución transversal originado por la urea transportada con Cinta y con Sinfín, respectivamente. En estos se observa una distribución uniforme del sector izquierdo y una distribución con una pequeña depresión de lado derecho. Esta heterogeneidad de la distribución fue propia de la máquina distribuidora (asimetría en su sistema de conducción de fertilizante a los discos) y no fue posible su corrección completa a campo, por lo que se decidió trabajar con el sector izquierdo en la evaluación de la superposición de pasadas para el cálculo de ancho de trabajo efectivo.

**Figura 4:** Perfil de distribución transversal de fertilizadora Fertec Serie 6 para sistema de transporte por Cinta.



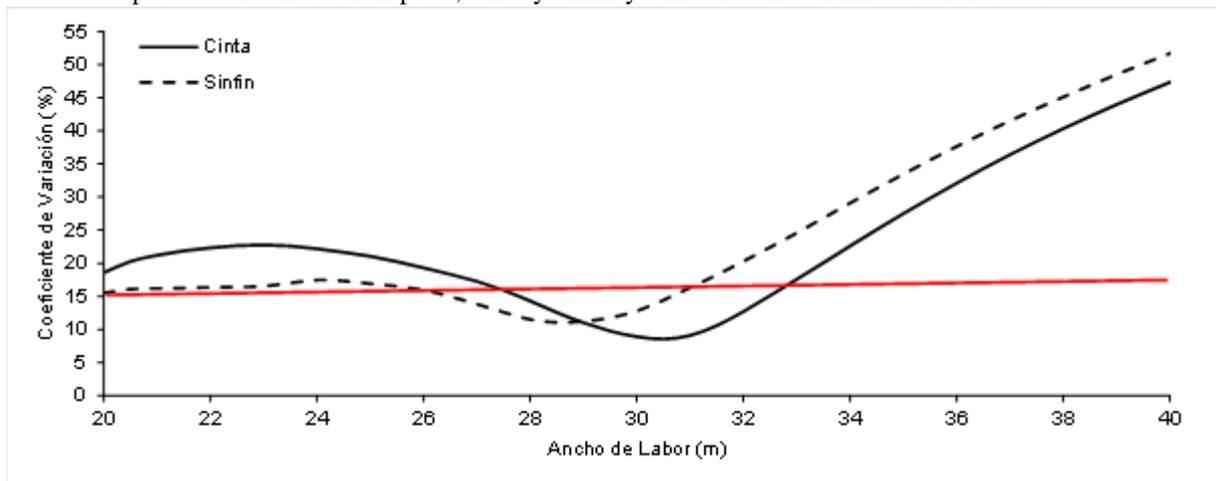
**Figura 5:** Perfil de distribución transversal de fertilizadora Fertec Serie 6 para sistema de transporte por Sinfín.



En la [Figura 6](#) se muestra los cambios en los CV% en función del ancho de trabajo efectivo para los fertilizantes transportados con el sistema de Cinta y con Sinfín, respectivamente y utilizando como referencia solo los valores para el sector izquierdo. Se puede apreciar que con el sistema de Cinta se logró el mayor ancho de labor con el menor CV%, 30 m con un CV% de 8,8, mientras que con el sistema Sinfín se logró un ancho de 28,5 m con un CV% de 11,04. Esto era esperable y se puede explicar en función de los daños que se generaron sobre las partículas de fertilizante en

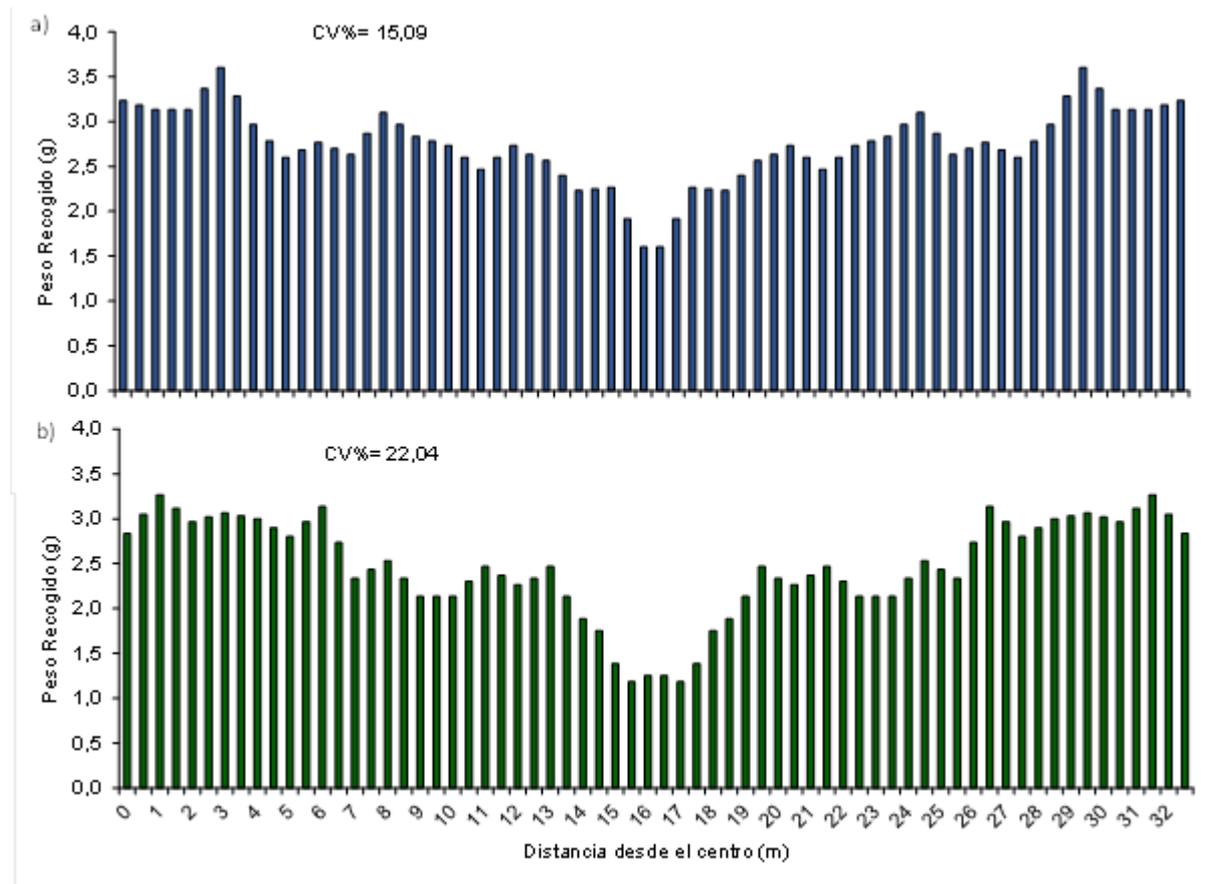
los respectivos transportes ([Tabla 2](#)). Con el sistema Sinfín se observó modificación de la dureza y la granulometría de las partículas respecto a Cinta ([Tablas 2 y 3](#), [Figura 3](#)), viéndose aumento de fracciones más pequeñas y de menor dureza, en consecuencia, se observó una reducción en el alcance de los granos de fertilizante proyectados y consecuentemente a una disminución del ancho efectivo de trabajo ([Figura 7](#)).

**Figura 6:** Simulación del coeficiente variación de la distribución de fertilizante urea en función del ancho de labor para dos sistema de transporte, Cinta y Sinfín y utilizando una fertilizadora Fertec Serie 6.



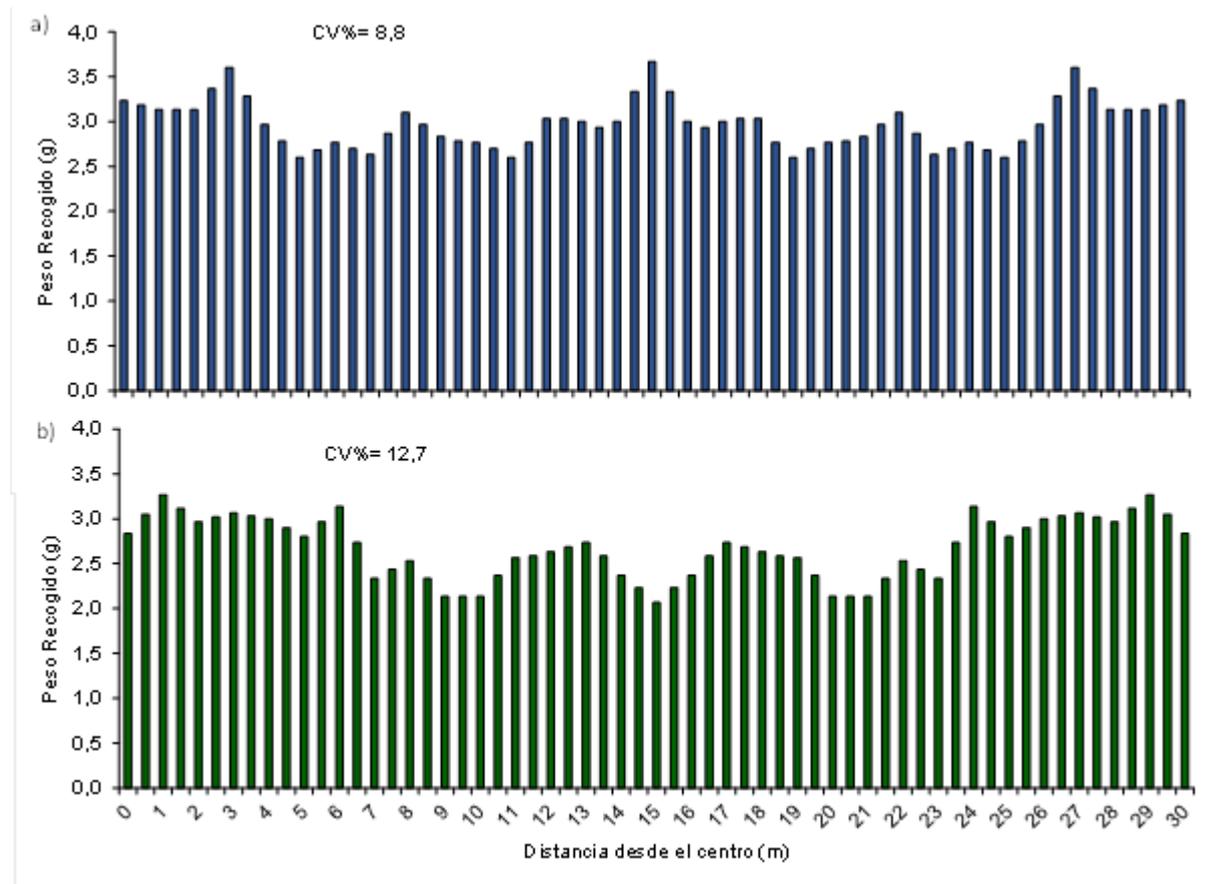
Línea roja marca límite de CV (%) aceptable para no generar pérdidas de rendimiento con fertilizantes nitrogenados ([Botta et al., 2001](#)). Pese a estos valores de CV% y ancho de trabajo, la bibliografía menciona fertilizaciones uniformes y segura para no perder rendimiento a aquellas con valores menores a 15 CV% ([Márquez, 2011](#)). Es por ello que se realizaron los gráficos de superposición entre pasadas para ambos sistemas de transporte de fertilizante, superponiendo disco izquierdo en un trabajo de ida y vuelta con el mayor ancho efectivo obtenido para un 15% de CV, que en este caso corresponde a la cinta transportadora ([Figura 7](#)).

**Figura 7.** Superposiciones de pasadas con el lado izquierdo de la máquina fertilizadora Fertec Serie 6 con urea transportada por Cinta a) y Sinfín b), en un trabajo ida y vuelta, para un ancho efectivo de 32,5 m.



Se puede observar en la [Figura 7](#) que el trabajo en ida y vuelta para un ancho efectivo de 32,5 m, presenta una pequeña depresión en la zona de superposición de pasadas, en ambos sistemas de transporte. Sin embargo, para el sistema Sinfín la diferencia entre los valores más bajos y los más altos fue de 216 % en tanto que, en el sistema Cinta, esta diferencia fue de aproximadamente 174 %. Estas diferencias pueden ser disminuidas trabajando con anchos efectivos menores, tal como se observa en la [Figura 8](#) con 30 m para ambos sistemas. Las diferencias entre posiciones para este ancho son de 42 % para el sistema de Cinta y 73 % para Sinfín, asimismo, los CV% para este ancho disminuyeron a 8,8 % y 12,7% respectivamente. Como se puede observar ([Figura 8](#)), si bien las diferencias no son muy notorias, siempre el sistema Cinta presentó mejores resultados que el sistema Sinfín y ante condiciones originales de urea (colocada en el campo) de calidad más baja se podrían lograr peores calidades en su aplicación y, más aún, si el transporte es mediante un tornillo sinfín. Esto podría provocar pérdidas de rendimiento de los cultivos fertilizados con menor calidad ([Tourn et al., 2019](#)). Esta información indica la importancia de realizar un correcta trazabilidad del fertilizante desde que sale del destino y llega al lote y de la importancia del correcto manejo del fertilizante para evitar disminuir su calidad. Es necesario generar más información del efecto que puede generar la pérdida de calidad del fertilizante sobre su calidad de aplicación y sobre la productividad de los cultivos.

**Figura 8:** Superposiciones de pasadas con el lado izquierdo de la máquina fertilizadora Fertec Serie 6 con urea transportada por Cinta a) y Sinfín b), en un trabajo ida y vuelta, para un ancho efectivo de 30 m.



## Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos y para las condiciones del ensayo no se encontraron evidencias suficientes para rechazar las hipótesis planteadas, dado que el movimiento del fertilizante urea por tornillo sinfín redujo el tamaño de las partículas y la resistencia al impacto (dureza) respecto al movimiento alternativo por cintas y tales cambios en su calidad disminuyeron su calidad de aplicación en el terreno.

## Referencias

ANDRADE, F. H. (2020) *Los desafíos de la agricultura global*. 1ra Ed. Am. Ciudad de Buenos Aires: INTA Ediciones.

ANGELOVIĆ, M. (2013) Effect of Manipulation Technique on the Grains Quality in, 46(2), 431-436.

BOTTA, G. y DAGOSTINO, C. (2001) Máquinas para la fertilización y abonos. ISBN 987-523-125-4. Ed Forrajes & Agrobussines Journal. 104p.

BRAGACHINI, M.; VON MARTINI, A. y MÉNDEZ, A. (2003) *Influencia de la cosecha sobre la calidad de los granos*. Disponible en:

[https://www.deere.com.ar/common/docs/services\\_and\\_support/tips/combindes/cs048\\_calidadgranoscosecha\\_anexo.pdf](https://www.deere.com.ar/common/docs/services_and_support/tips/combindes/cs048_calidadgranoscosecha_anexo.pdf)

CARCIOCHI, W. y TOURN, S. (2017) Características físicas de los fertilizantes y calibración de fertilizadoras. Archivo agronómico #16. IPNI Canadá. Disponible en

[http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/232593f37bc0e8820325826f005590f2/\\$file/aa16.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/232593f37bc0e8820325826f005590f2/$file/aa16.pdf)

CRUZATE, G. A. y CASAS, R. R. (2012). Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina, *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, IAH 6, 7-14.

DÍAZ DE ASTARLOA, D. A. y PENGUE, W. A.. (2018). Nutrients Metabolism of Agricultural Production in Argentina: NPK Input and Output Flows from 1961 to 2015, *Ecological Economics*, 147(January), 74-83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.01.001>

DVORKIN, J. y GUTIERREZ, M. A. (2001). Grain sorting, porosity, and elasticity, *Geophysics*, 5(1), 1-19.

FERTILIZAR, ASOCIACIÓN CIVIL (2020) *Evolución Mercado de Fertilizantes Argentino 2020*. Disponible en: <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2021/03/Evolución-Mercado2020.pdf>.

FULTON, J. P. y PORT, K. (2016) Physical Properties of Granular Fertilizers and Impact on Spreading, *Ohio State University Extension*, p. 9. Disponible en: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/fabe-5501>.

GOWARIKER, V.; KRISHNAMURTHY, V.; GOWARIKER, S.; DHANORKAR, M. y PARANJAPE, K. (2009). The Fertilizer Encyclopedia (1st ed.) Wiley. Retrieved from <https://www.periego.com/bock/2783577/the-fertilizer-encyclopedia-pdf> (Original work published 2009).

HOFSTEE, J. W. (1995) Handling and spreading of fertilizers: Part 4, the reciprocating spout type fertilizer spreader, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 9-24. doi: <https://doi.org/10.1006/jaer.1995.1059>

ISO 5690/1 (1985) International Standard ISO 5690/1, *International organization for standardization*, 1(I), 13p.

JONES, C. A. (1983) Effect of Soil Texture on Critical Bulk Densities for Root Growth<sup>1</sup>, *Soil Science Society of America Journal*, 47(6), 1208p. doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700060029x>

KOLTERMANN, C. E. y GORELICK, S. M. (1995). Derived Petrophysical Models for Porosity, *Water Resources*, 31(12), 3283-3297.

MÁRQUEZ, L. (2011). La tecnología de las abonadoras de proyección frente a la dosificación variable de los abonos minerales. Part II, *Agrotécnica*, abril, 36-44.

MARTINEZ PECK, R. (2007). Regulación de fertilizadoras a platillos, *Fertilizar 2007*. 7(3), 18-22.

MELGAR, R. y CAMOZZI, M.E. Guía 2002. Fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. INTA. 259 p.

GRAFTON, M. C.; IZQUIERDO, D. A.; YULE, I. J.; WILLIS, L. A. y MANNING, M. J. (2015). The effect of field conditions on in-field spread patterns from twin disk spreaders. In *2015 ASABE annual international meeting*. (1p). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

MORSY, H. A.; PALIWAL, J.; ABOUELMAGD, A.; HEDIA, H., y ISMAIL, Z. (2012). Some Properties of Fertilizers in Relation to Particle Motion In The Hopper and on the Distributor disc.

PIÑEYRO, C. J. (2017). *Daños en el grano de soja generados por el proceso de cosecha y postcosecha*. Universidad Nacional de La Plata.

REUSSI CALVO, N.I.; SAINZ ROZAS, H.; WYNGAARD, N. y ECHEVERRÍA, H. (2018). ¿Cuánto ganamos con un diagnóstico correcto de nitrógeno?. *Visión rural N 115* INTA. 28-30.

DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M., y ROBLEDO, C. W. (2008). *INFOSTAT (NO. 2008)*. GRUPO INFOSTAT. FCA, Universidad Nacional De Cordoba. <https://www.infostat.com.ar/>.

RUIZ DIAZ, D.; HANSEL, F.; PRESTON, P. y STAMMER, A. (2019). Manejo de la fertilización de cultivos en el medio oeste de EE.UU. Simposio de fertilidad 2019. Rosario, Santa Fe. Argentina.



SAINZ ROZAS, H.; EYHERABIDE, M.; LARREA, G.; MARTÍNEZ CUESTA, N.; ANGELINI, H.; REUSSI CALVO, N. y WYNGAARD, N. (2020). Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. *Área de investigación y desarrollo tecnológico*, 8(9), 12.

SANTOS, J. (2019) *Uniformidad de Distribución de Urea por proyección con distintas fertilizadoras y su efecto sobre la producción de grano de maíz*. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce. Argentina.

SENSA (1995) Resolución 273/1995. Fertilizantes y mezclas granuladas parámetros de calidad física. Fecha de sanción Diciembre de 1995. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%3%b3n-273-1995-31470>

TORRES DUGGAN, M. (2007) Calidad de fertilizantes: ¿Cuáles son las principales propiedades y atributos que determinan su valor agronómico? Presentado en el simposio de "Fertilidad 2007". IPNI Cono Sur / Fertilizar ac. Rosario, 10 y 11 de mayo del 2007. 12p.

TOURN S.N.; SANTOS J.I.; TRUEBA M.; LASAGA R., MARTINEZ D. y CARCIOCHI W. (2019). Regulación de fertilizadoras: con la dosis no alcanza. Facultad de ciencias agrarias de Balcarce (UNMDP) Simposio Fertilidad 2019. Fertilizar. 314. 67-72.

U.N.I.D.O., (United Nations Industrial Development Organization) Y I.F.D.C., (International Fertilizer Development Center) (1979) Fertilizer manual.pdf. Vienna, Austria; Alabama, Usa.

WESTMAN, E. y HUGILL, H. R. (1999) The Packing of Particle, *Defense*, (1), 767-779.

---

TOURN, S. N., MERANI, V., MUR, M., PLATZ, P., GUILLINO, F., VÁZQUEZ, J. M., LARRIEU, L., GIAMBELLUCA, L., y BALBUENA, R. (2021). Sistemas de transporte de urea y su efecto sobre la calidad física y de su aplicación por proyección. *Ciencias Agronómicas*, (38), e015.

<https://doi.org/10.35305/agro38.e015>

Copyright (c) 2021 Santiago Néstor Tourn, Víctor Merani, Matilde Mur, Pedro Platz, Facundo Guillino, Juan Manuel Vázquez, Luciano Larrieu, Laura Giambelluca, Roberto Balbuena



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).