

# **TRABAJO FINAL DE CARRERA**



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**

## **Incidencia de la distribución de cajas para la evaluación de la uniformidad de aplicación de fertilizadoras centrífugas**

**Alumno:** López, Roberto Oscar

**Legajo:** 27092/6

**Correo electrónico:** robertolopezagro@gmail.com

**Teléfono:** 2352 41 6597

**Director:** Ing. Agr. Merani, Víctor

**Co-Director:** Ing. Agr. Ferro, Daniel

**Fecha de presentación:** Abril 2022

**Modalidad:** Investigación sobre una temática específica.

## ÍNDICE

Resumen .....	3
Introducción .....	4
Importancia de la fertilización .....	4
Tendencias en el consumo de fertilizantes a nivel mundial y nacional.....	5
El valor de la fertilización en lo productivo .....	7
Características de los fertilizantes y formas de aplicación .....	10
Métodos de evaluación en la aplicación de fertilizantes sólidos.....	13
Hipótesis.....	16
Objetivos.....	16
Materiales y métodos.....	17
Localización del ensayo .....	17
Equipo fertilizador.....	17
Fertilizantes ensayados.....	17
Evaluaciones físicas de los fertilizantes .....	17
Evaluaciones de la distribución transversal del fertilizante.....	18
Diseño experimental .....	20
Preparación del equipo fertilizador.....	20
Condiciones climáticas .....	21
Resultados y Discusión .....	22
Evaluaciones físicas de los fertilizantes .....	22
Evaluaciones de la distribución transversal del fertilizante.....	23
Urea granulada (Ancho Labor: 32 m).....	24
Nitrodoble (Ancho Labor: 40 m) .....	36
Sulfán (Ancho Labor: 22 m) .....	48
Comparación entre fertilizantes .....	60
Conclusiones .....	62
Bibliografía.....	63

## **Resumen**

La fertilización es una práctica importante en la actividad agraria, que consiste en reponer a los suelos aquellos nutrientes que se van agotando por la propia extracción de los cultivos o por cuestiones de manejo. Los fertilizantes representan uno de los principales insumos en la producción agropecuaria, por lo que el uso eficiente es justificado. Una fertilización excesiva puede provocar costos ambientales, además de generar gastos innecesarios. Del mismo modo, una fertilización insuficiente acarrea no sólo una reducción en el rendimiento del cultivo sino también una pérdida de la fertilidad del suelo. El presente trabajo se evalúa la aplicación de fertilizantes sólidos en forma eficiente en una fertilizadora de proyección. Para ello se basa en las características propias y más importantes de tres fertilizantes sólidos ensayados en este caso (tamaño, densidad y dureza), la norma asociada (ISO 5690-1) con sus modificaciones y los parámetros estadísticos más importantes para estimar la calidad de aplicación a través del método de la evaluación de los perfiles de distribución y su posterior procesamiento en un software utilizando cajas colectoras. Se determina una configuración determinada de ellos en cada uno de los casos y se procede a realizar recomendaciones pertinentes para poder hacer el trabajo de manera más eficiente en el campo. Queda demostrado de esta manera que la regulación de la máquina es una tarea sencilla, de bajo costo que puede garantizar un ancho de labor efectivo, con un bajo nivel de variación de la dosis y con uniformidad de aplicación. También queda en evidencia la compatibilidad de la cantidad de cajas necesarias para hacer las determinaciones, con las realmente ofrecidas por las empresas fabricantes de fertilizadoras.

## **Introducción**

### **Importancia de la fertilización**

El incremento de la producción y el rendimiento de los cultivos ocurrido en los últimos años a escala global son atribuidos al mejoramiento genético, al manejo de plagas y enfermedades, la conservación del suelo y a las prácticas culturales. En este sentido, la aplicación de fertilizantes ha aumentado considerablemente (Campos et al., 2012).

Desde inicios del siglo XIX, la población mundial ha aumentado un 550 %. Este importante incremento viene exigiendo un constante reto a la agricultura en cuanto a producir más alimentos, tanto en cantidad como en calidad. Según ANFFE (2008), para poder alcanzar este objetivo existen dos alternativas posibles:

La primera es aumentar la superficie de los cultivos, la cual conlleva serias limitaciones relacionadas con el impacto ambiental y al avance de la frontera agrícola.

La segunda alternativa consiste en proporcionar a los suelos fuentes de nutrientes adicionales en formas asimilables por las plantas. Esta última opción ha demostrado ser la más factible en el corto plazo, incrementando los rendimientos de las cosechas y logrando obtener productos de mayor calidad.

Según Gowariker et al., (2009), un fertilizante es cualquier material sólido o líquido natural o de síntesis, que se agrega al suelo para suministrar uno o más nutrientes esenciales para el correcto desarrollo y crecimiento de las plantas. En un sentido amplio, son productos que mejoran directamente los niveles nutricionales o modifican las propiedades químicas y físicas del suelo como las enmiendas, para aumentar indirectamente el crecimiento, el rendimiento y la calidad de los cultivos. El término es aplicado generalmente a los productos fabricados comercialmente, distintos a la cal o al yeso.

En nuestro país, la legislación vigente define a los fertilizantes como “todo producto que incorporado al suelo o aplicado a los vegetales o sus partes, tiene la capacidad de suministrar en forma directa o indirecta sustancias requeridas por aquellos para su nutrición, estimular su crecimiento, aumentar su productividad o mejorar la calidad de la producción” (Decreto Nacional 4830/73 de la Ley N° 20466, Art. 3).

## **Tendencias en el consumo de fertilizantes a nivel mundial y nacional**

La nutrición balanceada es el camino indicado para lograr mayores rendimientos y a su vez poder avanzar hacia una mayor sustentabilidad ambiental y cuidado de los suelos en los sistemas productivos (FAO, 2015).

La FAO (2016) en su informe “Tendencias y perspectivas mundiales de los fertilizantes para 2019”, afirma que el uso de fertilizantes ha superado las 200 millones de toneladas (Mt) y seguirá aumentando la capacidad global de producción de fertilizantes, de productos intermedios y materias primas relacionadas a una tasa anual del 1,6 %.

A medida que el potencial de producción de fertilizantes supere su capacidad de uso, el balance potencial mundial (cantidad disponible sobre demanda real) va a crecer para el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), los tres principales fertilizantes del suelo cuya participación es del 60 % para los nitrogenados, 20 % para los fosforados y 20 % para los potásicos (Calzada y D’Angelo, 2021).

El uso mundial de nitrógeno, el elemento básico entre los fertilizantes, ha aumentado un 1,2 % anual desde el 2015 al 2019, el fosfato un 2 % y el potasio un 2,5 % para el mismo período. El estudio no da previsiones en cuanto al precio futuro, pero se indica que los mismos van en aumento junto con la demanda de los productos (FAO, 2016)

Durante el período 2006-2016 el consumo mundial de fertilizantes creció a una tasa promedio anual del 1,8 % y la producción a una tasa promedio anual del 2,3 % (FAO, 2016). Entre los principales países productores, se encuentran: Rusia, Canadá y China que se acercan a la mitad de las exportaciones globales de fertilizantes (alrededor del 40 %), que totalizan más de 100 Mt. En este sentido, los nitrogenados son los fertilizantes más exportados en Rusia. Por su parte, en Canadá se destaca la producción de potásicos, siendo los demás fertilizantes marginales en su exportación. Finalmente, China concentra sus exportaciones en potásicos, exportando también nitrogenados en menor medida. (Calzada et al., 2021).

La IFA (Asociación Internacional de la industria de los Fertilizantes) registró para el 2017-2018, una demanda de 187 Mt de fertilizantes, lo que representa un crecimiento del 1,3 % con respecto al período anterior (Gallegos Cedillo, 2019). Esta

demanda, sin embargo, ha disminuido por diversos factores tales como: climas desfavorables, depreciación de la moneda en países consumidores, conflictos geopolíticos y avances en la eficiencia del uso de los fertilizantes en países desarrollados como China. Aunque en 2019-2020 la demanda tuvo un repunte del 1,6 % (191,4 Mt), debido principalmente a la mejora de los precios de los cereales, mayoritariamente. Sin embargo, en la actualidad esto dista realmente de ser lo esperado. El Sistema de Información del Mercado Agrícola (AMIS) analizó la fuerte tendencia alcista de los fertilizantes que impacta sobre la producción agropecuaria global. Los precios de los fertilizantes han aumentado considerablemente durante el último año, lo que ejerce una mayor presión al alza sobre los alimentos. Durante octubre del 2021 los precios de la urea y del fosfato diamónico (DAP) aumentaron un 145 % y 90 % respectivamente frente al 2020. En el mismo sentido, el precio del gas natural, que es un insumo clave para la producción de fertilizantes, aumentó un 180 %. Entre las razones de la suba se encuentra una demanda más fuerte y costos de producción de los insumos más altos, también sumado a que las perspectivas de los precios de los fertilizantes son difíciles de predecir, aunque hay indicios de que al menos podrían mantenerse altos durante los próximos seis meses. Lo que sucede es que los costos del gas natural o el petróleo muestran pocas señales de tendencia bajista en el futuro cercano (AMIS, 2021).

En la Argentina, durante los últimos 30 años el consumo de fertilizantes se ha incrementado desde 300 mil t en 1990 hasta 4,6 Mt en el año 2019, que fue el máximo registro de consumo. La tendencia de crecimiento siempre fue positiva hasta el año 2008, cuando por razones climáticas y macroeconómicas, el volumen se ha estancado. Actualmente, el consumo volvió a alcanzar los valores de la campaña 2007 y 2011 (CIAFA, 2020).

Según la Bolsa de Comercio de Rosario (BCR, 2021), en Argentina se consumieron 5,3 Mt de fertilizantes durante el año 2020. Casi el 56 % fueron nitrogenados (urea, nitrato de amonio calcáreo) y el 36 % fosforados (fosfato monoamónico y el fosfato diamónico, más conocidos como MAP y DAP).

Como se mencionó anteriormente, el aumento del precio del petróleo y el gas natural limitó la oferta y presionó los precios de insumos fundamentales de la producción de granos, cuya capacidad para adquirir agroquímicos cayó casi a la mitad. En este

escenario, los resultados de la campaña de granos 2021/22 serán clave para el país, no solamente por su peso y el movimiento económico que genera en el interior, sino también porque serán los responsables del grueso de las divisas que ingresen a partir de las exportaciones de sus cadenas. Si bien hoy los precios de los *commodities* agrícolas se encuentran en precios históricamente altos, cuestión beneficiosa tanto para el productor como para la Argentina, la escalada en los valores de los insumos se erige como un problema considerable que no deja de erosionar la relación insumo/producto afectando los márgenes de rentabilidad, principalmente referidos a los costos directos fijos de la actividad (Melo, 2021).

### **El valor de la fertilización en lo productivo**

Las prácticas de fertilización y encalado ocupan un lugar destacado en el sector, siendo responsable de aproximadamente el 50 % de las ganancias de productividad de los cultivos, lo que requiere que deban realizarse de la manera más eficiente posible. Para lograr esto, corresponde al agricultor aplicar conceptos básicos que involucran la eficiencia de fertilizantes y correctivos agrícolas y su comportamiento en el suelo, las plantas y el ambiente, con el fin de maximizar el rendimiento de la inversión (Lopes y Guilherme, 1992).

Los cultivos extensivos (trigo, cebada, maíz, soja, sorgo y girasol) explican el 88 % del consumo total de fertilizantes en el país durante toda la campaña. El trigo y maíz son los cultivos que más fertilizante demandan en relación a la superficie sembrada, 6,5 y 7,1 Millones de hectáreas (Mha) respectivamente. En consecuencia, ha habido un salto tecnológico notable en cuanto a la forma de producir trigo en los últimos 5 años en la región pampeana, lo que ha llevado a un aumento en los rendimientos objetivos promedios del productor. A su vez, hay buenas expectativas de producción para la temporada de maíz 2020/21. Esto no significa que sean los cultivos que más exportan, ya que la soja, extrae igual o mayor cantidad, y se fertiliza en un 62 % del área sembrada de 17,2 Mha en forma subóptima, principalmente en fósforo. Sembrar sin fertilizante en los suelos que están por debajo de los niveles críticos de este nutriente se traduce en pérdidas de rendimiento importantes (Pussetto, 2020). Relacionado a ello, Rozas et al. (2012) se refieren a la concentración de fósforo asimilable en suelos agrícolas de las regiones pampeanas y extra pampeanas y estiman que alrededor del 70 % de los cultivos agrícolas se siembran en suelos que

requieren del aporte de fósforo por fertilización. Se evidencia un deterioro en cuanto a la concentración disponible de este nutriente, que se explica por el mayor uso agrícola de los suelos y por la baja reposición, que oscila entre un 40 % y 50 % de lo extraído.

Convertir los nutrientes en cultivos sigue siendo la clave para mejorar la rentabilidad de los mismos y también es una herramienta básica para mejorar la sostenibilidad del suelo. Sin embargo, el concepto para fertilizar siempre ha sido extractivista y con escasa reposición de los cationes básicos (calcio, magnesio y potasio). Esto ha afectado directamente al rendimiento de los cultivos e indirectamente a las propiedades físicas y químicas del suelo, relacionadas con el estado de salud del mismo tales como: disminución de la materia orgánica y del pH perjudicando la disponibilidad de otros nutrientes como el fósforo (P) y el molibdeno (Mo) y modificando la actividad microbiana; alteración de la densidad aparente y estabilidad de los agregados, aumento de los riesgos de erosión. En los últimos años la deficiencia nutricional de los suelos se ha incrementado en forma considerable (Sainz Rozas et al., 2019). También resulta cada vez más común encontrar suelos más ácidos y con deficiencias de nutrientes en la región Pampeana. Esto es causado por la intensificación productiva, aumento de la tecnología, el monocultivo de soja y la falta de reposición. En algunas zonas al este de Buenos Aires y centro-norte de Santa Fe los suelos presentan niveles de pH por debajo de 6. Si bien estos niveles no serían limitantes para la mayoría de los cultivos, algunos procesos del suelo como la mineralización de N podrían verse afectados (Sainz Rozas et al., 2019). La acidificación no sólo acarrea deficiencias de nutrientes básicos, sino que también produce perjuicios como la reducción de la disponibilidad de fósforo y molibdeno, la actividad de microorganismos responsables de la nitrificación y fijación simbiótica de N (Vázquez, 2010). Estos perjuicios pueden revertirse con la aplicación de enmiendas básicas como las calizas o conchillas que aportan Ca, o las dolomitas que suministran Ca y Mg (Vázquez et al., 2012).

La deficiencia de los mencionados nutrientes afecta varios procesos metabólicos de las plantas, tales como la respiración, la síntesis de clorofila y proteínas. En este aspecto, resulta fundamental realizar una fertilización eficiente para no afectar el rinde y la calidad de la producción, así como también ajustar las metodologías de diagnóstico de requerimiento de nutrientes que permitan diseñar estrategias de

fertilización acordes que compensen la extracción de los cultivos (Echeverría y García, 2015).

Es importante tener en cuenta que tanto las deficiencias como los excesos de nutrientes complejizan el manejo de los cultivos. Es importante ajustar las metodologías de diagnóstico de requerimiento de nutrientes que permitan diseñar estrategias de fertilización acordes que compensen la extracción de los cultivos (Echeverría et al., 2015). Sin embargo, la aplicación de estos productos sin criterio alguno causa problemas ambientales que tienen altos costos económicos y energéticos (Serrano et al., 2011; Serrano et al., 2014).

Una fertilización desequilibrada puede causar inestabilidades importantes, señalando que la mayoría de los insumos derivan de fuentes no renovables y la creciente demanda y escasez de las reservas han incrementado los costos a lo largo de los años (Santos et al., 2012).

Los criterios más importantes para fertilizar son: la reposición, la suficiencia y la construcción o mantenimiento. En el primer caso los nutrientes que son extraídos durante el ciclo del cultivo son repuestos antes de la campaña siguiente. Para el segundo caso, se debe conocer la disponibilidad de los nutrientes mediante un análisis de suelo y compararlo con un nivel crítico según diversos estudios relacionados. Solo se fertiliza cuando los valores se encuentran por debajo de ese nivel crítico. El último caso se trata de una combinación de los dos anteriores. Cuando la disponibilidad del nutriente se encuentra por debajo del umbral, se fertiliza con una cantidad superior a la que se va a extraer según el tipo de cultivo que se trate para que la disponibilidad aumente. Cuando la disponibilidad se encuentra en valores similares al nivel crítico, la fertilización se realiza para reponer la extracción del cultivo de modo de lograr un mantenimiento de la disponibilidad del mismo. La diferencia más importante con el criterio de suficiencia se encuentra cuando el suelo está por encima del nivel crítico. En este caso se fertiliza menos que lo que extrae el cultivo mientras que según el criterio de suficiencia no se fertilizaría (Salvagiotti y Gerster, 2003; Salvagiotti et al., 2005; Vázquez, 2019).

Con el crecimiento de la agricultura de precisión asociada con la aplicación de insumos a tasas variables, surge la necesidad de evaluar el comportamiento de la distribución de fertilizantes (Reynaldo et al., 2016).

## Características de los fertilizantes y formas de aplicación

Los fertilizantes pueden ser: sólidos, líquidos y gaseosos. Los fertilizantes sólidos granulados son los más usados, presentan ventajas al no tener que diluirse ni mezclarse, presentan menor absorción dérmica y menos deriva. Respecto a los líquidos y gaseosos, de escasa difusión para cultivos extensivos (Parish, 2002).

Al momento de elegir un fertilizante se deben tener en cuenta ciertas características físicas diferenciales que están directamente relacionadas con la calidad de aplicación. Estas diferencias pueden generar variaciones notables en la distribución lograda con respecto a la esperada y en consecuencia se modifique la dosis aplicada por unidad de superficie. Según Carciochi y Tourn (2017) las características de los productos fertilizantes más importantes son:

- *Granulometría y densidad aparente:* ambas determinan el peso de la partícula. Las mismas relacionan el peso con el tamaño. Este es el principal factor que afecta a la distribución de los fertilizantes ya que la principal técnica de aplicación que predomina en el país es por proyección del material. Las partículas más grandes y más densas son arrojadas por el distribuidor a una mayor distancia, en comparación con las más pequeñas (Rodríguez y Duggan, 2012). Esto es debido a que la fuerza centrífuga sobre las partículas es proporcional a la masa de las mismas (Morsy et al., 2012). El tamaño de partícula es determinado por el Número de Tamaño Guía o SGN (Size Guide Number). Conocer este valor es importante a la hora de evaluar la aptitud de los fertilizantes para el mezclado físico (UNIDO y IFDC, 1979). Si las diferencias granulométricas son sustanciales, responderán en forma diferencial a las fuerzas y acciones mecánicas a las que están sometidos durante el mezclado, almacenamiento, transporte y aplicación, también tendrán mayor tendencia a la segregación, principalmente la segregación balística que genera diferencias en las trayectorias de las partículas al abandonar el disco (Duggan, 2007).
- *Dureza:* indica la fuerza que se debe aplicar para romper las partículas del fertilizante. Esta ruptura afecta la densidad *bulk* (densidad relativa) y al tamaño de la misma. Esto impacta sobre el almacenamiento, transporte y distribución del producto. A menor dureza, mayor es la eventualidad de

formación de polvillo durante el manipuleo y la aplicación (Rodríguez y Duggan, 2012). Una partícula debe tener alta dureza para disminuir la posibilidad de rotura durante todo el proceso Hofstee (1992). La dureza también se relaciona con la distancia que pueden alcanzar las partículas aplicadas, determinada en parte por la velocidad del disco distribuidor (UNIDO y IFDC, 1979).

- *Forma*: la forma de las partículas puede variar entre los fertilizantes. Esta puede ser esférica, cúbica, rectangular o irregular. A mayor esfericidad de la misma, mayor es la distancia que puede alcanzar, debido a que mejora su aerodinamicidad (Morsy et al., 2012). Las otras formas son más propensas a segregarse, principalmente las irregulares. Sin embargo, la diferencia de tamaño tiene mucho más impacto en la distancia de aplicación y la segregación que la forma de las mismas.
- *Higroscopicidad y humedad crítica relativa (HCR)*: la higroscopicidad es la capacidad que tienen los fertilizantes de absorber la humedad bajo determinadas condiciones. La mayoría de los fertilizantes son higroscópicos debido a su alta solubilidad en agua (UNIDO y IFDC, 1979). Mientras mayor sea, más fácilmente se humedece en consecuencia, sus partículas se vuelven blandas y se apelmazan. Esto afecta la fluidez y por ende se deteriora la calidad de su esparcimiento. Una solución para este tipo de problemas es agregar anti-apelmazantes que recubren al gránulo, el cual reduce la tasa de absorción de humedad del producto. La humedad crítica relativa (HCR) es la humedad relativa del ambiente (determinada a 30°C) a partir de la cual un fertilizante comienza a absorber humedad del medio que lo rodea (UNIDO y IFDC, 1979). Es una propiedad muy importante para evaluar fuentes a emplear en mezclas físicas en cuanto a su compatibilidad de uso.

Con respecto a la forma de aplicación de fertilizantes en estado sólido, éste puede realizarse con tres sistemas:

- Sistema gravitacional
- Sistema de proyección o centrífugo
- Sistema con asistencia neumática

En las máquinas con sistema gravitacional el producto se deposita por caída libre desde una tolva por medio de un mecanismo dosificador característico. Entre estos diseños se ha generalizado el uso del sistema chevrón, que ha reemplazado gradualmente a los rodillos acanalados. Poseen una adecuada distribución, pero reducida capacidad de trabajo debido al ancho de labor. Usualmente el tamaño de la tolva es limitante en aplicaciones que necesitan elevadas dosis por hectárea. Por otro lado, la aplicación del fertilizante junto con la labor de siembra dificulta el trabajo de la sembradora, por problemas de penetración de la máquina, adecuación de la dosis de fertilizante y semilla, reducción de la capacidad de trabajo del conjunto, aumento del esfuerzo de tracción, movimiento de terrones que modifican la uniformidad de ubicación de la semilla en profundidad (Balbuena et al., 2015).

La técnica de aplicación por proyección del material predomina en Argentina. En el mercado se observa una importante y diversa cantidad de máquinas para la aplicación de fertilizantes granulados por proyección y los sistemas más usados son los de doble discos (alimentación de discos gravimétrica o por cinta/cadena) y difusores neumáticos (Carciochi y Tourn, 2016). Las primeras, constan de dos discos con aletas que reciben el fertilizante y lo proyectan por fuerza centrífuga (bidisco), se los llama generalmente fertilizadoras centrífugas. Su forma de aplicación es al voleo, con un ancho de esparcido que es variable y que se encuentra afectado por factores propios de la maquina (velocidad de giro de los discos, diámetro de los mismos, largo y ángulo de las paletas, altura de aplicación y ángulo de salida de la partícula) y del fertilizante (tamaño, forma, dureza y densidad) (Aloe y Toribio, 2008).

En las fertilizadoras neumáticas, el fertilizante baja de la tolva por presión (la tolva se encuentra presurizada) y gravedad, luego es dosificado por un conjunto de rodillos y arrastrado por una corriente de aire generada por ventiladores centrífugos. El transporte es a través de tuberías adosadas a un botalón hasta los difusores que provocan la distribución del material en el terreno (Tourn et al., 2019).

La principal diferencia en la distribución en ambos mecanismos está en la proyección del material. En las fertilizadoras centrífugas la partícula del fertilizante recorre una distancia lateral y luego cae por gravedad. Esto genera que la trayectoria de la partícula pueda modificarse debido al viento o al canopeo del

cultivo. Su adopción es debida a su precio reducido, fácil mantenimiento, alta velocidad de avance y gran ancho de labor (Cerqueria de Luz, 2010).

En cambio, en las máquinas neumáticas, la proyección de la partícula es hacia abajo formando un ángulo de 45-50° con respecto al suelo. Este tipo de trayectoria disminuye el tiempo en que la partícula está expuesta al viento y se ve menos afectada por el canopeo (Parish, 2002). También permite la aplicación de fertilizantes con tamaño de partícula variable, manteniendo la uniformidad de distribución (Márquez, 2011).

En general, la calibración de la dosis en las fertilizadoras resulta simple de llevar a cabo, y si bien se registran ineficiencias, la uniformidad de distribución del fertilizante sobre el terreno (UD) es el punto clave al momento de planificar una aplicación de calidad. En este sentido, las fertilizadoras centrífugas presentan más posibilidades de corrección respecto a las neumáticas (Carciochi y Tourn, 2017). Según Ortiz-Cañavate (2003), estos equipos tienen fácil regulación y alta capacidad operativa, en la mayoría de los discos que se utilizan como lanzadores, utilizando la potencia generada a través de la toma de fuerza del tractor para lanzar las partículas a una distancia considerable, aumentando así el ancho de aplicación. Se busca la mejor configuración operativa para aplicar cada producto con un ancho de trabajo y un CV aceptable (Farret et al., 2008). Estas máquinas tienden a generar un perfil de distribución trapezoidal/triangular y es necesaria la superposición de pasadas para lograr una mayor uniformidad en la distribución del fertilizante (Martínez Peck, 2007). En este sentido, la variación del tamaño de partícula en los fertilizantes es el factor físico más influyente en las máquinas centrífugas y hace necesario cambios en la configuración del sistema distribuidor para lograr uniformidad en su aplicación (Farret, 2005, Marquez, 2011). Actualmente, existe un gran desconocimiento acerca este parámetro y esto puede generar zonas del lote con sub o sobre aplicación de producto (Tourn et al, 2019).

### **Métodos de evaluación en la aplicación de fertilizantes sólidos**

Existen normas estandarizadas como la ISO 5690/1 o la ASAE S341.2. Ambas establecen las condiciones de trabajo, producto a ser probado y la metodología que se establecerá. De acuerdo con las mencionadas normas, se determina el ancho efectivo en función del coeficiente de variación (CV%). Sin embargo, ninguno de los

estándares establece un valor de referencia (Werner et al., 2007). De esta manera, el parámetro más utilizado para evaluar la calidad de distribución de la aplicación es este coeficiente, que expresa la desviación típica de una muestra y su media aritmética. Se consideran aceptables valores iguales o menores al 25 % (Botta et al., 2001). Por encima de dicho porcentaje, se pueden manifestar franjas de respuesta diferencial en los cultivos por baja eficiencia en la aplicación. Esto genera pérdidas de productividad, afectando al sistema en forma económica y ambiental (Carciochi y Tourn, 2017).

Lo primero que se debe evaluar y corregir es el ancho efectivo de trabajo. Cada tipo de máquina tiene su perfil de distribución característico. Para determinar el ancho efectivo se utilizan cajas de dimensiones específicas ubicadas en línea recta (transversal al avance), separadas a intervalos regulares y haciendo entre 1 a 4 pasadas con la fertilizadora en un solo sentido. Se debe tomar registro de la cantidad de fertilizante recuperado en cada una de las cajas. Actualmente se utilizan planillas de cálculo o aplicaciones como la Adulanço 3.1 (Molin, 2009), donde se cargan los datos obtenidos para poder observar los perfiles de distribución y sus CV% para una forma y ancho de trabajo determinado. De esta forma, se hacen los ajustes necesarios para corregir los perfiles y lograr una aplicación uniforme (Balbuena et al., 2015).

En el caso de las fertilizadoras centrífugas, donde se debe hacer superposición de pasadas debido a las proyecciones que puede alcanzar cada partícula, es imprescindible hacer una caracterización del ancho de esparcido en esas condiciones. Sin embargo, en la práctica, estas evaluaciones son poco frecuentes y producen errores en la superposición que afectan a la uniformidad y al perfil de distribución. Sumado a ello, en general, las regulaciones de este tipo de máquinas se hacen para alcanzar el máximo ancho de trabajo posible y en consecuencia la distribución es desuniforme. Es importante remarcar que la prestación y capacidad de trabajo dependen de aspectos básicos de diseño y regulación de los órganos activos (Martínez Peck, 2007). Las principales características de diseño de los órganos de trabajo son el diámetro interno/externo del disco, su forma, la velocidad de giro, número y forma de las paletas, longitud de las mismas, la forma de alimentación de los discos, la distancia entre ellos y las posibilidades de regulación

de estos factores para poder corregir los patrones de distribución (Aloe y Toribio, 2008).

En el caso de las fertilizadoras neumáticas, su ancho de trabajo es fijo y las regulaciones son más sencillas, sin embargo, son máquinas más costosas (Martínez Peck, 2020).

La dosis a aplicar está directamente relacionada con el flujo de salida del material de la tolva y es inversamente proporcional al ancho efectivo y a la velocidad de trabajo (Márquez, 2011). En la práctica se calibra una sola vez y se trata de hacer la aplicación lo más uniforme posible, pero las condiciones ambientales son determinantes, debido a la variabilidad del comportamiento de las partículas, principalmente en las máquinas de proyección (Tourn et al., 2019).

Es importante regular las máquinas, es una actividad sencilla, de bajo costo, que puede garantizar un ancho de labor efectivo y óptimo con un bajo CV% de la dosis objetivo en el terreno. Para la evaluación del ancho efectivo de trabajo se usa la metodología descrita en la norma ISO 5690-1 (1985). Sin embargo, el procedimiento detallado en la mencionada norma es difícil de llevar a cabo en el campo ya que se necesitan equipos, recursos y métodos complejos para los productores (Primo et al., 2008). Habitualmente las fábricas nacionales no ofrecen junto a la máquina fertilizadora un número de cajas de calibración del ancho de trabajo efectivo adecuado, estas oscilan entre 9 a 11, en algunas empresas llegan a 15 unidades. Hawken (2019) recomienda un mínimo de 20 colectores para que no existan diferencias significativas durante los ensayos de calibración y puesta a punto según las normas más utilizadas. Por otra parte, tampoco se incluye una balanza precisa para la pequeña cantidad de fertilizante que se recolecta en los extremos de la distribución, haciendo inexacta la determinación del ancho de cobertura efectivo. En ciertos casos, se ofrece un equipo básico a costos elevados, siendo escasos los proveedores que lo entregan como un accesorio dentro del costo de adquisición de la fertilizadora. En otras situaciones, en las máquinas de gran ancho de esparcido, se requiere un número elevado de cajas para realizar la calibración lo cual resulta poco práctico de llevar a cabo (Balbuena et al., 2015).

En síntesis, resulta conveniente realizar un gráfico con las determinaciones de peso para establecer las características del patrón de distribución para efectuar las

regulaciones pertinentes. También se debe considerar que existen soluciones de compromiso que permiten corregir parcialmente los inconvenientes mencionados, ya que lo más importante es que se cuantifique y establezca la forma o patrón de distribución (Balbuena et al., 2015).

Además de la metodología detallada, existen software de uso gratuito que grafican los datos ingresados y establecen la variación del CV% en función del ancho de trabajo efectivo y simulan el pasaje del conjunto y la distribución del fertilizante con distinto grado de solapamiento entre pasadas, (trabajo alternado y/o continuo) (Balbuena et al., 2015).

La distribución de un fertilizante sobre el terreno varía con el tipo de producto, las condiciones ambientales, el equipo aplicador, el nivel tecnológico de la máquina y el operario (Tourn et al., 2019). Es necesario conocer las propiedades del producto, y tener en cuenta que existen importantes diferencias entre fertilizantes e incluso entre partidas. Por otra parte, debe conocerse el funcionamiento de la fertilizadora y saber que pueden realizarse regulaciones en la misma para mejorar la distribución. Es por esto que, se requiere la calibración de forma periódica (Carciochi y Tourn, 2017).

### **Hipótesis**

- La reducción en el número de cajas que se colocan para evaluar el patrón de distribución de fertilizantes no afecta los valores de coeficiente de variación en forma significativa para un mismo ancho de labor
- El número de cajas mínimo para alcanzar resultados similares en un ancho de labor definido depende del tipo de fertilizante
- Los datos obtenidos no presentan variaciones entre 2 repeticiones de cajas sucesivas

### **Objetivos**

- Evaluar la relación entre el número de cajas utilizadas para la evaluación de uniformidad en la aplicación de fertilizantes
- Identificar el número mínimo de cajas necesarias a fin de obtener valores de CV% lo más cercanos a la realidad en diferentes fertilizantes
- Evaluar la dispersión de datos entre dos juegos de cajas paralelas

## **Materiales y métodos**

### **Localización del ensayo**

El ensayo se realizó el 21 de enero del 2021 en la Unidad Integrada Balcarce (INTA – Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Mar del Plata) cuyas coordenadas geográficas son 37°45'30" S 58°17'49"O, sobre un lote uniforme de 100 metros (m) por 75 m.

### **Equipo fertilizador**

El equipo fertilizador fue una máquina Fertec Serie 6 con mando mecánico de la cinta dosificadora y una capacidad de tolva de 5000 litros (L). Se realizaron mediciones y ajustes en el sistema de distribución para asegurar la simetría del armado. La misma fue arrastrada por un tractor John Deere 5410.

### **Fertilizantes ensayados**

Los fertilizantes utilizados para el ensayo fueron los siguientes:

- Urea granulada, (46-0-0), proveedor Nutrien
- Nitrodoble, (27-0-0 + 6 % CaO + 4 % Mg), proveedor Yara
- Sulfán, (24-0-0 + 6 % S + 10 % CaO), proveedor Yara

### **Evaluaciones físicas de los fertilizantes**

Las evaluaciones llevadas a cabo son las exigidas por la legislación vigente en el país para este tipo de productos, considerando las metodologías descriptas en el manual de fertilizantes (UNIDO y IFDC, 1998) con sus correspondientes adaptaciones para cada caso. Las determinaciones fueron las siguientes:

- *Distribución del tamaño de partícula:* se determinó mediante tamizados con batería de tamices con aperturas de diámetros nominales según la norma ISO 565 y ASTM (American Society for Testing and Materials). Se utilizaron 4 tamices, malla ASTM 4 (4760 µm; 4,76 mm), malla ASTM 6 (3360 µm; 3,36 mm), malla ASTM 10 (2000 µm; 2,0 mm) y malla ASTM 20 (841 µm; 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. Luego se pesó la cantidad de

fertilizante remanente sobre cada tamiz. Los resultados se expresaron como proporción de masa retenida sobre cada tamiz respecto al total.

- *Densidad aparente:* se determinó mediante el peso de 1 L de volumen de fertilizante. Para ello se utilizaron probetas graduadas de 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 descrito y se pesó, previamente se debe descontar 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  $\text{kg m}^{-3}$ .
- *Dureza:* se determinó a través de la resistencia a la trituración de los gránulos, que es la fuerza mínima requerida para triturar gránulos individuales. Se mide aplicando presión a los gránulos individuales de un rango específico y tomando nota de la presión requerida para fracturar cada gránulo. 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 fracturarse fácilmente y forman polvo durante la manipulación. Las partículas con una resistencia a la trituración de aproximadamente 1,5 a  $2,5 \text{ kg cm}^{-2}$  necesitarán 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 debe considerar gránulos de igual tamaño para comparar la resistencia al aplastamiento.

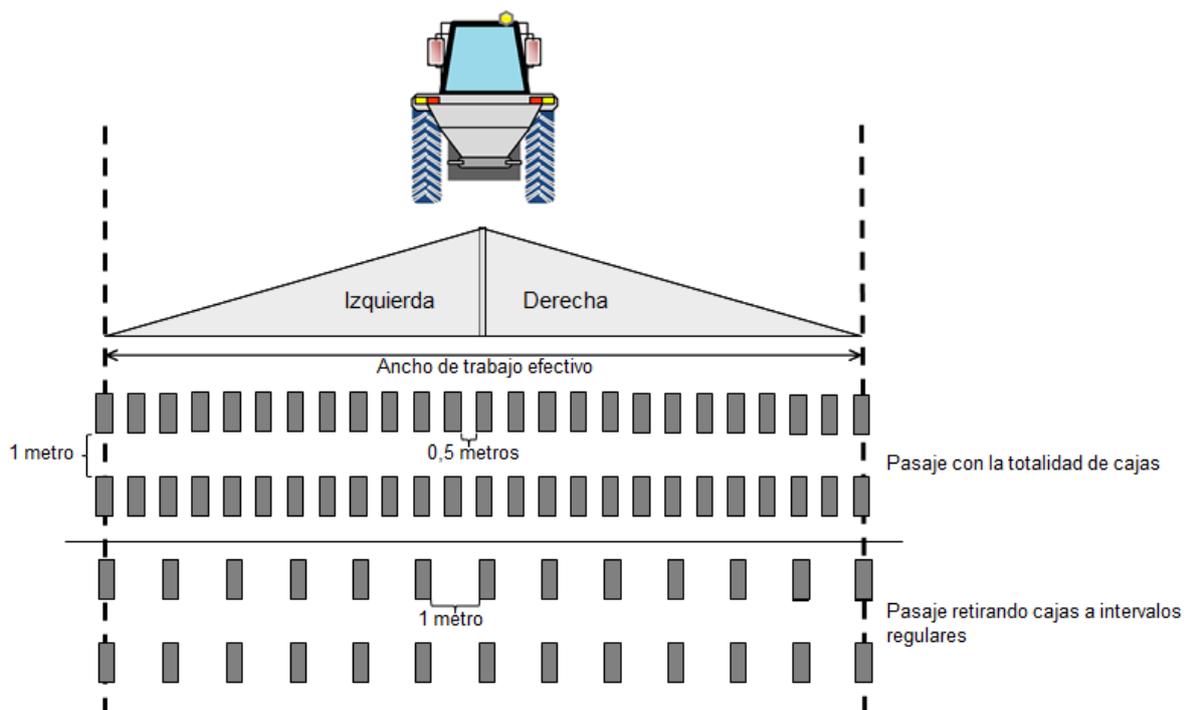
### **Evaluaciones de la distribución transversal del fertilizante**

Para realizarla se utilizó una adaptación de la metodología citada en la norma ISO 5690-1 (1985). Se colocaron dos líneas de bandejas colectoras a una distancia de 1 m entre sí (repeticiones) transversales al sentido de avance con dimensiones de 0,40 m de largo, 0,50 m de ancho y 0,15 m de profundidad, dejando espacio para el pasaje de los neumáticos y cubriendo toda el área de aplicación en el terreno como se observa en la Figura N° 1. Dentro de cada bandeja se colocó goma espuma para disminuir los rebotes de las partículas (Whitney et al., 1987; Milan y Gadanha Junior, 1996). El objetivo fue abarcar un ancho definido previamente por el fabricante según el tipo de producto evaluado, siendo de 32 m para urea, 40 m para Nitrodoble y 22 m para Sulfán. Fueron elegidas dosis agrónomicamente recomendadas para cada

producto analizado, en este caso  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ . Se realizaron 3 pasadas en el mismo sentido para definir el perfil de distribución de la máquina y el comportamiento de cada disco distribuidor. El material recogido por cada bandeja fue pesado individualmente por lo que se simuló 6 veces el pasaje de la máquina fertilizadora en el mismo sentido.

Los datos recolectados fueron representados en histogramas que relacionan el coeficiente de variación y el ancho de trabajo, simulando 2 formas de trabajo (continuo y alternado). Se analizaron diferentes perfiles de distribución partiendo de un número de cajas máximo para luego descontar cajas a intervalos regulares hasta alcanzar un número de colectores compatibles con los ofrecidos por las empresas fabricantes de fertilizadoras (entre 8 y 15 cajas).

Se utilizó el software Adulanço .3.1 (Molin, 2009). Este programa es adecuado y sencillo de utilizar para el análisis de datos de máquinas fertilizadoras. En una hoja de cálculo, se ingresan los datos y un algoritmo realiza el análisis interpolando los datos del lado derecho e izquierdo del equipo, generando resultados en forma de gráficos y tablas. De esta manera determina el ancho efectivo, tomando como base el coeficiente de variación (Takara y Quequeto, 2014).



*Figura N° 1 – Croquis parcial del diseño experimental llevado a cabo para evaluar la distribución transversal del fertilizante*

A las curvas obtenidas se las analizó tomando en cuenta tres aspectos.

- Se consideró un ancho máximo de trabajo efectivo con un CV% no superior al 20 % para cada fertilizante ensayado. Esto para asegurar uniformidad y mayor rendimiento con el mayor ancho de trabajo de la máquina (Hachuy, 2008).
- Se observó cómo varía el CV% al ir apartando cajas con un ancho de trabajo efectivo determinado.
- Se analizó si los datos recolectados en cada caja varían al realizar 2 repeticiones considerando una misma posición. Esto para poder definir una cantidad de pasajes mínimos para obtener información más certera para la evaluación a campo.

### ***Diseño experimental***

Se realizó un diseño que tomó en cuenta 3 factores: el tipo de fertilizante, el número de cajas y ancho de trabajo efectivo según fertilizante considerando admisible un CV% igual o menor a 20. Una vez realizado el ensayo a campo, se recolectaron las muestras para su posterior procesamiento.

Para el análisis estadístico se utilizaron planillas Excel y se confeccionaron gráficos cartesianos evaluando la dispersión de los datos, con la finalidad de confirmar o rechazar las hipótesis planteadas anteriormente para sacar conclusiones.

### ***Preparación del equipo fertilizador***

El equipo utilizado tiene un sistema de dosificación mecánico, proporcional al avance por rueda de mando, y sistema de distribución impulsado por la toma de potencia (TPP).

Los datos necesarios para la regulación son: dosis a aplicar y peso específico del fertilizante, este peso determina el ancho máximo de trabajo que se puede alcanzar y varía con el tipo de producto. Con este dato se va a la tabla volumétrica adosada a la tolva y se lo relaciona con el ancho de trabajo adecuado al tipo de fertilizante a aplicar para alcanzar la dosis objetivo, que en los tres casos fue de 200 kg ha<sup>-1</sup>. Para corroborar la dosis, se deben quitar los discos, tomar una muestra en bandeja

girando la rueda de mando en sentido contrario al avance y pesando lo recolectado para de esta forma hacer los ajustes necesarios.

La máquina cuenta con 2 discos o platos con un orientador cada uno, los cuales se pueden modificar para alterar el punto de caída. Cada disco tiene 2 paletas, una larga y otra corta. Cambiando el ángulo de ataque de las mismas modificamos el ancho de trabajo. Para cada fertilizante se seleccionaron determinadas posiciones de estos elementos. La potencia rotacional en la toma de potencia fue de 770 revoluciones por minuto (rpm) al régimen estandarizado. Los ajustes que se realizaron para poder alcanzar el objetivo en los tres casos se observan en la Tabla N° 1. La velocidad del conjunto al momento de hacer la aplicación fue de 14 km h<sup>-1</sup>

Tabla N° 1 - Ajustes realizados en el orientador y ambas paletas para ensayar cada fertilizante

Fertilizante	rpm	Punto de caída (Orientador)	Paleta larga	Paleta corta
Urea Granulada	770	7,5	E	6
Nitrodoble	770	6	E	4
Sulfán	770	5	F	5

### Condiciones climáticas

Durante la realización del ensayo, se evaluaron continuamente las condiciones ambientales de temperatura media (°C), humedad relativa (%), velocidad media y máxima del viento (km h<sup>-1</sup>) como se observa en la Figura N° 2. Se identificaron y relacionaron los parámetros ambientales con el momento puntual 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. En relación con esto, las condiciones climáticas fueron las ideales para el ensayo y se descartaron posibles interferencias debido a esta variable.

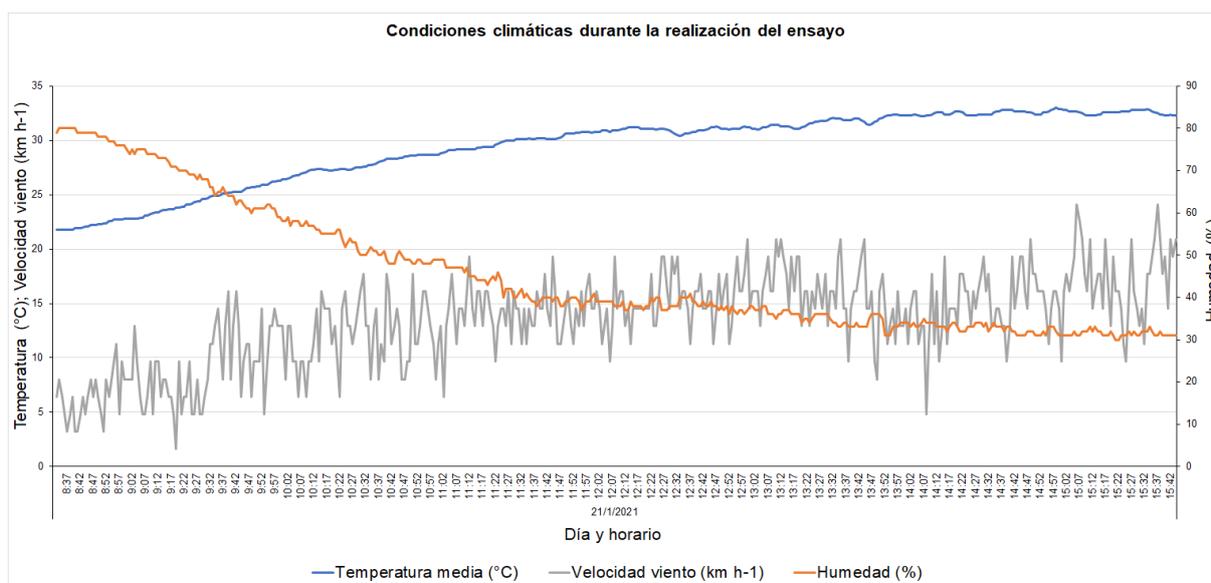


Figura N° 2 - Condiciones ambientales durante el ensayo. Temperatura media (°C), velocidad media del viento (km h<sup>-1</sup>) y humedad relativa (%).

## Resultados y Discusión

### Evaluaciones físicas de los fertilizantes

Los resultados del análisis físico de los fertilizantes se observan en la Tabla N° 2. Estos resultados son necesarios para la caracterización del producto a utilizar, y nos sirven de base para la comparación con los valores encontrados en la bibliografía.

Tabla N° 2. Resultados obtenidos de las evaluaciones físicas de cada uno de los fertilizantes ensayados. Distribución del tamaño de las partículas considerado como porcentaje de gránulos retenidos en cada tamiz según lo define la norma ISO 565 y ASTM; densidad relativa expresada en kg m<sup>-3</sup> y la dureza en kg cm<sup>-2</sup>, respectivamente.

Fertilizante	Distribución de tamaño (%)				Densidad relativa (kg m <sup>-3</sup> )	Dureza (Kg cm <sup>-2</sup> )
	ASTM 4	ASTM 6	ASTM 10	ASTM 20		
Urea granulada	61	32	4	3	750	6,86
Nitrodoble	61	32	6	1	975	8,57
Sulfán	15	75	8	2	1040	10

Con respecto a la distribución del tamaño de partículas se observa que existen diferencias en el porcentaje de producto retenido en cada tamiz en los tres productos. En el caso de la urea y el Nitrodoble presentan la mayor parte de las partículas de tamaño más grande (61 %). Sin embargo, ambos productos son más

heterogéneos en comparación con el Sulfán, que tiene un menor tamaño de partículas pero en mayor proporción (75 %), siendo el más homogéneo de los tres. La diferencia de tamaño es un parámetro importante ya que define el comportamiento de las partículas y su respuesta diferencial a las fuerzas y acciones mecánicas durante el mezclado, almacenamiento, transporte y aplicación del producto (Tourn et al., 2019). Este fenómeno se denomina segregación balística y determina diferencias en las trayectorias del material luego que abandona el disco al ser proyectado (Duggan, 2007).

La densidad relativa también se debe tener en cuenta al momento de evaluar la calidad de aplicación ya que se encuentra directamente relacionada con el tamaño de los agregados (Rodríguez y Duggan, 2012), y definen el peso del producto y por lo tanto el alcance del mismo. Puede observarse que la urea tiene la menor densidad, le sigue el Nitrodoble, y por último el Sulfán que tiene el mayor valor de densidad relativa.

El último parámetro evaluado es la dureza. La urea presentó el menor valor de dureza entre los tres fertilizantes ensayados, esto se debe tener en cuenta ya que los valores muy bajos de dureza tienen una mayor probabilidad de segregación y ruptura de las partículas al ser proyectadas por las paletas, en acuerdo con Hofstee (1992). Estas diferencias se deben a las diversas formulaciones y diámetro de partículas. En otras palabras, valores muy bajos propenden la generación de polvo, en cambio, valores extremadamente altos reducen la velocidad de disolución del nutriente en el suelo (Rodríguez y Duggan, 2012). En conclusión, los parámetros en orden de importancia que ocasionan un impacto directo en la segregación y en la proyección del material son: tamaño, densidad, forma y dureza de la partícula.

### **Evaluaciones de la distribución transversal del fertilizante**

Al igual que Farret et al. (2008), se busca identificar la configuración operativa que mejor se adapte a la aplicación de los diferentes productos sólidos ensayados, determinando el coeficiente de variación (CV%) en el perfil transversal y el ancho de aplicación útil con una fertilizadora centrífuga. Estos gráficos permiten una fácil visualización de la distribución de las partículas en todo el ancho de trabajo, así como también de las variaciones en la masa recolectada. Esto sirve para corregir las diferencias en las cantidades de producto aplicado en cada sector con respecto al

sistema de trabajo elegido (Farret, 2005). Para lograr una uniformidad del trabajo deseable en esta máquina, es necesario determinar el diagrama de distribución y los valores correspondientes al ancho máximo y útil de trabajo, así como también el coeficiente de variación, en este caso 20 % es considerado aceptable para los fertilizantes granulados nitrogenados (Ortiz-Cañavate y Hernánz, 1989; Fulton et al., 2005). Tal como se mencionó anteriormente, las pruebas se llevaron a cabo en condiciones de clima satisfactorio (Figura 2), como ausencia de lluvia, humedad relativa por debajo del 80 %, pero se registraron ráfagas de viento importantes (Norma ISO 5690/1, 1985).

### ***Urea granulada (Ancho Labor: 32 m)***

#### ***Distancia 0,5 m (77 colectores)***

El primer fertilizante ensayado fue la urea granulada con 77 colectores, alcanzando un ancho efectivo máximo de 32 m, con un rango de CV del 18,28 %. El ancho de trabajo obtenido fue superior al alcanzado por Brondani (2015) con el mismo producto y 80 colectores, que fue de 17 m con un CV del 20 %, e igual al ancho logrado por Šima et al. (2011) de 32 m con un CV del 25 %. En el ensayo, la forma de trabajo continuo presentó un CV del 18,13 %, mientras que en el alternado derecho e izquierdo fue del 17,03 y 19,69 % respectivamente. Todos estos valores son considerados aceptables. En la Figura N° 3 se observa el gráfico obtenido luego de cargar los datos en el software Adulanço 3.1. En el eje de las ordenadas tenemos los valores de CV y en el eje de las abscisas el ancho de trabajo efectivo alcanzado para las tres formas de trabajo. Para el ensayo se utilizaron 77 cajas para recolectar el material, adyacentes entre sí, dejando una separación entre las dos centrales para el paso del vehículo y disponiendo una caja entre ambos rodados. Se puede observar tres curvas sinusoides que corresponden a cada forma de trabajo en cuestión, donde la tendencia es que el CV aumenta con respecto al ancho de trabajo. Por convención, se elige el ancho de trabajo máximo con respecto al CV de referencia del 20 %, siendo en este caso un ancho de 32 m.

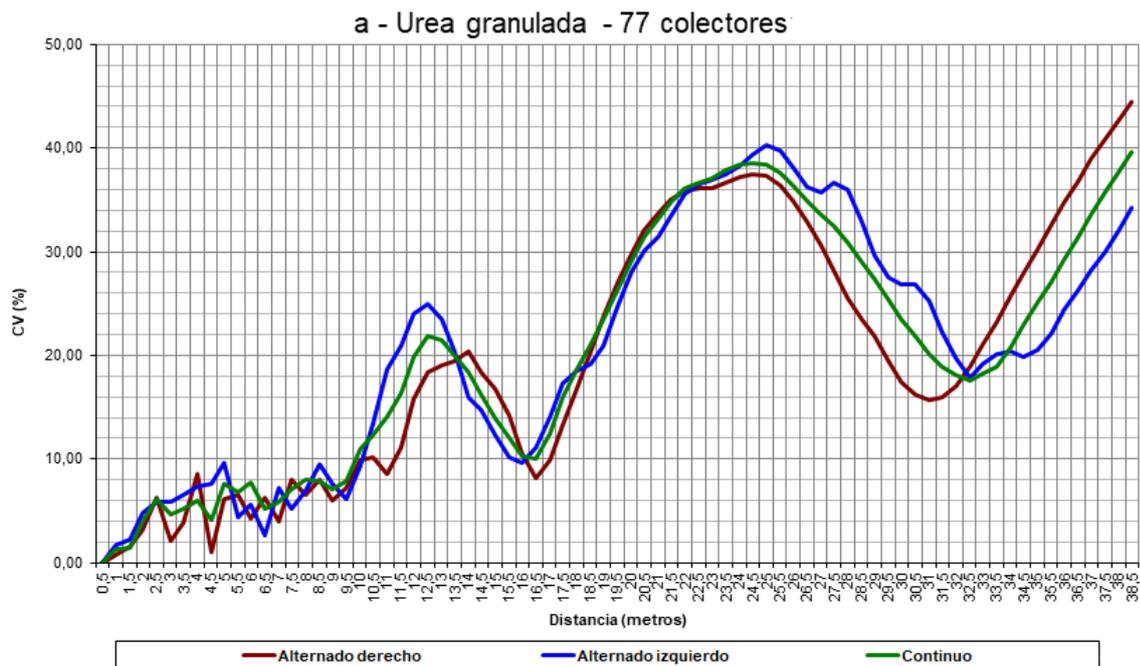
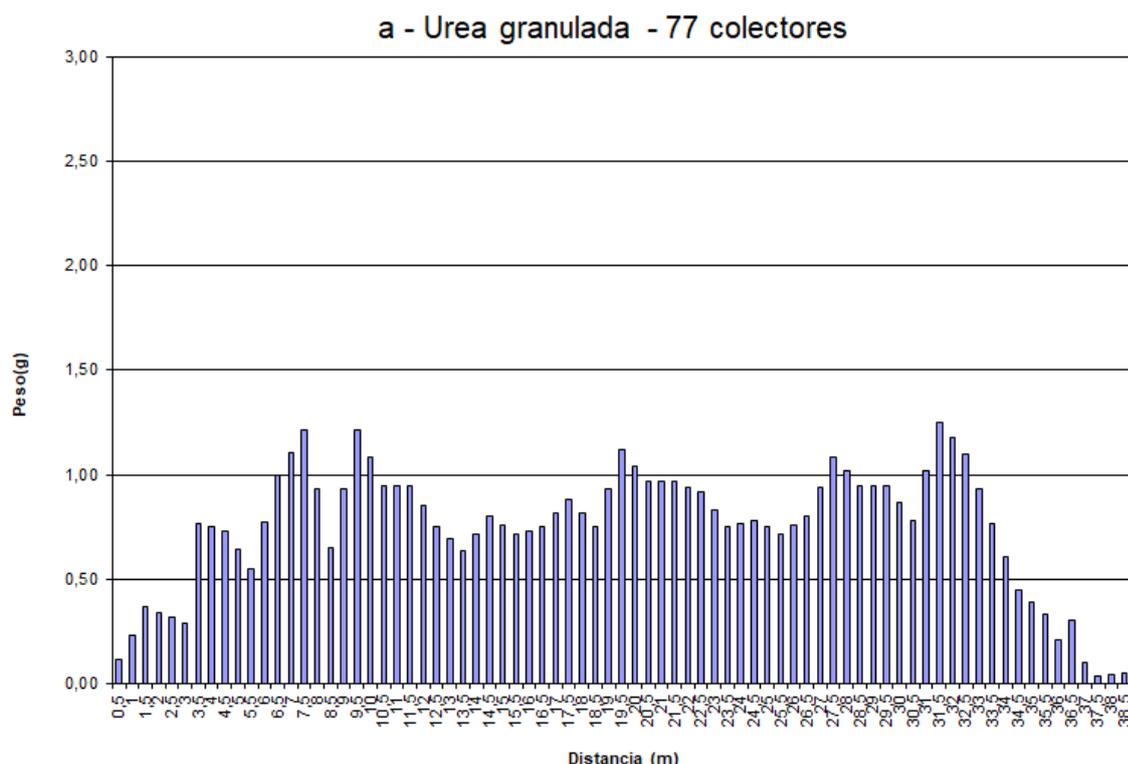


Figura N° 3 –Gráfico del CV% con respecto al ancho de trabajo usando urea granulada con 77 colectores calculado con el software Adulango 3.1. Se visualiza cómo varía el CV% con respecto al ancho de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo).

En la Figura N° 4, se representa el perfil de distribución obtenido con el software. En el eje de las ordenadas tenemos los gramos recolectados del material, y en eje de las abscisas la distancia entre los colectores. Según Ganascini et al. (2016) la falta de simetría del perfil modifica el CV para los diferentes sistemas de trabajo cuando se simula la superposición en el terreno. En la máquina ensayada, el perfil de distribución esperado debe ser triangular o trapezoidal para poder solapar el fertilizante entre pasadas y generar mayor uniformidad en la aplicación. En este caso, se puede visualizar un perfil que presenta tres picos, uno en cada extremo y uno central con dos valles, que corresponden a una distribución de tipo W. Según Fulton et al. (2001) este resultado es previsto con dosis elevadas, debido a que los patrones de distribución esperados se desvían con respecto al deseado cuando se aumenta la cantidad de fertilizante a distribuir.

Para los siguientes análisis se va a considerar un ancho de trabajo máximo de 32 m que se corresponde con el CV estipulado del 20 %.



*Figura N° 4 – Perfil de distribución del fertilizante urea granulada con 77 colectores calculado con el software Adulango 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.*

#### Distancia 1 m (39 colectores)

En el segundo caso, se sacaron cajas a intervalos regulares, dejando 39 colectores distanciados 1 m entre sí para el mismo ancho de trabajo. Se reemplazaron los valores en el software y se calcularon los respectivos coeficientes de variación. Según un estudio de Wilson y Grafton (2019), el patrón de distribución del fertilizante tiene alta correlación con la distancia entre los colectores. Estos autores se basaron en un ensayo donde variaron la distancia de 0,5 a 1 m entre bandejas, sin diferencias significativas en los resultados. Se infiere que a distancias mayores estas tendencias pueden ser iguales sólo si la cantidad de cajas se corresponde según la norma de ensayo que se esté utilizando y que el ancho efectivo sea el mismo (Jones et al., 2008)

Observando la Figura N° 5 y considerando el ancho de trabajo definido de 32 m, el trabajo en forma continua sigue siendo eficiente arrojando un valor de CV aceptable de 20,74 %. En el caso del trabajo alternado derecho e izquierdo, se alcanzan

valores de 19,68 y 23,61 %, respectivamente. En esta última forma de trabajo, los coeficientes empiezan a diferenciarse en ambas direcciones. En este aspecto, se deben evaluar ambos discos ya que la forma de trabajo es en “ida y vuelta”, es decir, que se va a superponer el lado izquierdo con el lado izquierdo en una vuelta y el lado derecho con el derecho en la próxima. Generalmente, en este tipo de trabajo se acentúan más los fallos en la aplicación y es más difícil corregirlos (Milan y Gadanha Junior, 1996).

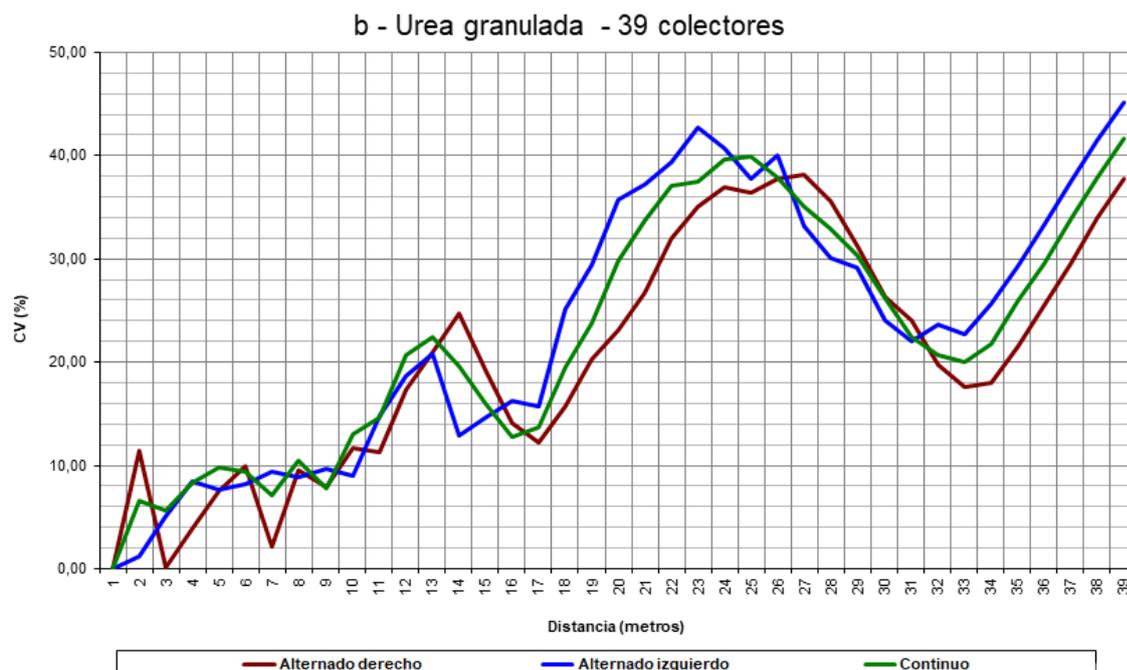
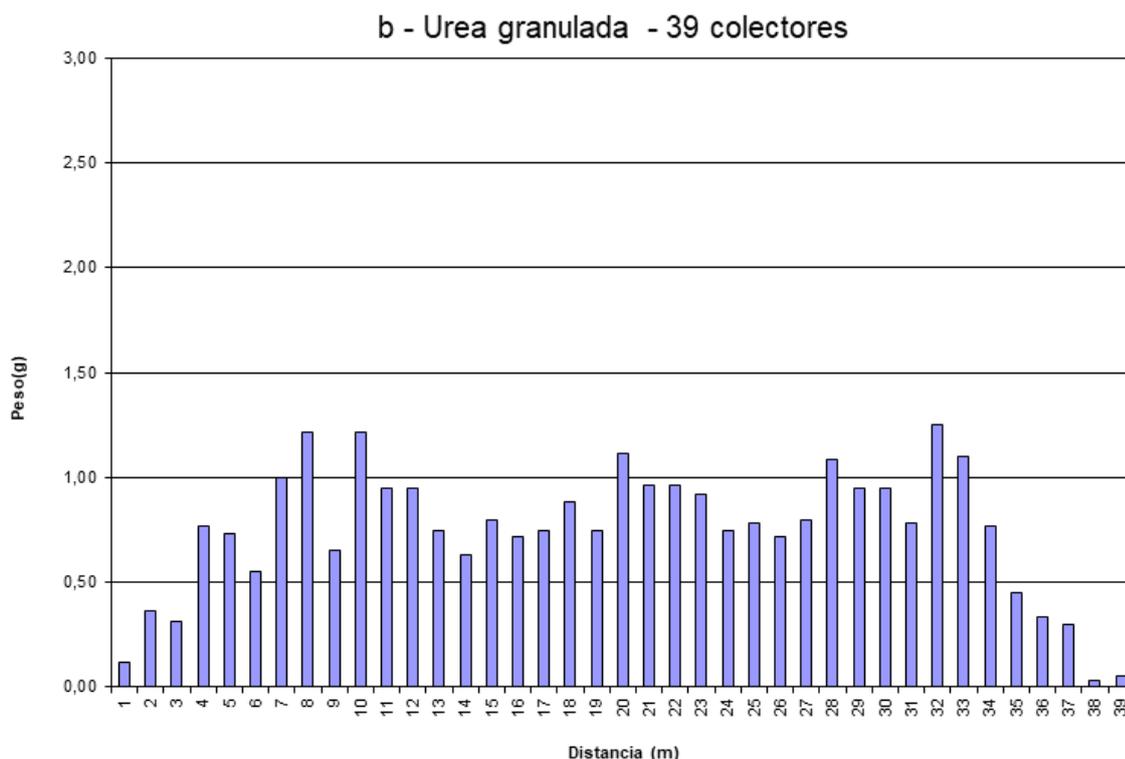


Figura N° 5 – Gráfico del CV% con respecto al ancho de trabajo usando urea granulada con 39 colectores calculado con el software Adulanço 3.1. Se visualiza cómo varía el CV% con respecto al ancho de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo).

Como demuestra el perfil de distribución, el sistema continuo es más ventajoso adoptarlo para su aplicación ya que se superpone lado derecho con lado izquierdo de la deposición de la máquina, estos resultados son similares a los encontrados por Werner et al. (2007) y Takara y Quequeto (2014). Estos autores también llegaron a la conclusión que la forma de trabajo alternada provoca desequilibrios en la aplicación debido a su asimetría en la deposición de producto en el terreno. En la dirección continua de aplicación hay menos variación en el perfil, permaneciendo constante para un rango mayor, aumentando en consecuencia el ancho de trabajo

efectivo. Estas diferencias pueden deberse a múltiples factores que exceden el análisis del presente trabajo, pero pueden estar relacionados con el mantenimiento de los órganos activos, diferencias en los flujos de caída del fertilizante en ambos discos, errores en la regulación, entre otros (Zanetti, 2018). En la Figura N° 6 se observa el perfil de distribución que no presenta diferencias con respecto al visto anteriormente en la Figura N° 4.



*Figura N° 6 – Perfil de distribución del fertilizante urea granulada con 39 colectores calculado con el software Adulanço 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.*

### Distancia 2 m (19 colectores)

En el tercer caso, se evalúan 19 cajas distanciadas 2 m entre ellas y se vuelven a calcular las curvas. El ancho efectivo de 32 m comienza a ser poco eficiente, ya que el CV aumenta en forma considerable en ambas formas de trabajo como se aprecia en la Figura N° 7. Para el caso del trabajo continuo el CV es de 22,99 %, mientras que el alternado derecho e izquierdo es de 30,34 % y 29,25 % respectivamente. Esto afecta en forma directa a la uniformidad de aplicación. Estos resultados son similares a los obtenidos por Šima et al. (2011) que, para un ancho efectivo de 32 m,

el CV fue de alrededor del 25 %. En este escenario, para poder hacer una labor eficiente, se debe disminuir el ancho de trabajo efectivo hasta aproximadamente 18 metros, siendo 14 metros menos de ancho y, en consecuencia, repercute en la capacidad de trabajo del conjunto, pero conserva la uniformidad de aplicación. En la forma de trabajo continua con un ancho efectivo de trabajo de 18 m se tendría un CV del 20,46 %. Situación diferente a la forma de trabajo alternada, donde el perfil derecho arroja un valor del 29,87 % y el izquierdo un 11,39 % y deberíamos llegar a 17 m si se pretende que todos se encuentren por debajo del 20 CV%. Las diferencias entre ambos lados se hacen cada vez más distintivas, difíciles de evaluar y de corregir como definen Molin y Ruiz (1999).

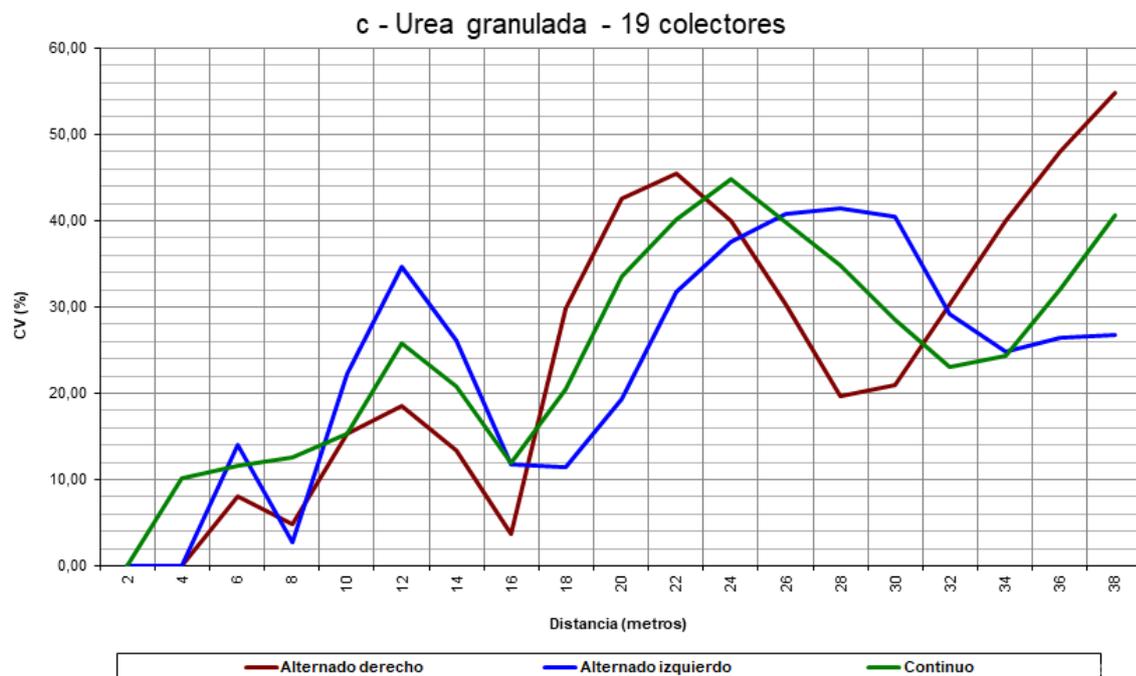
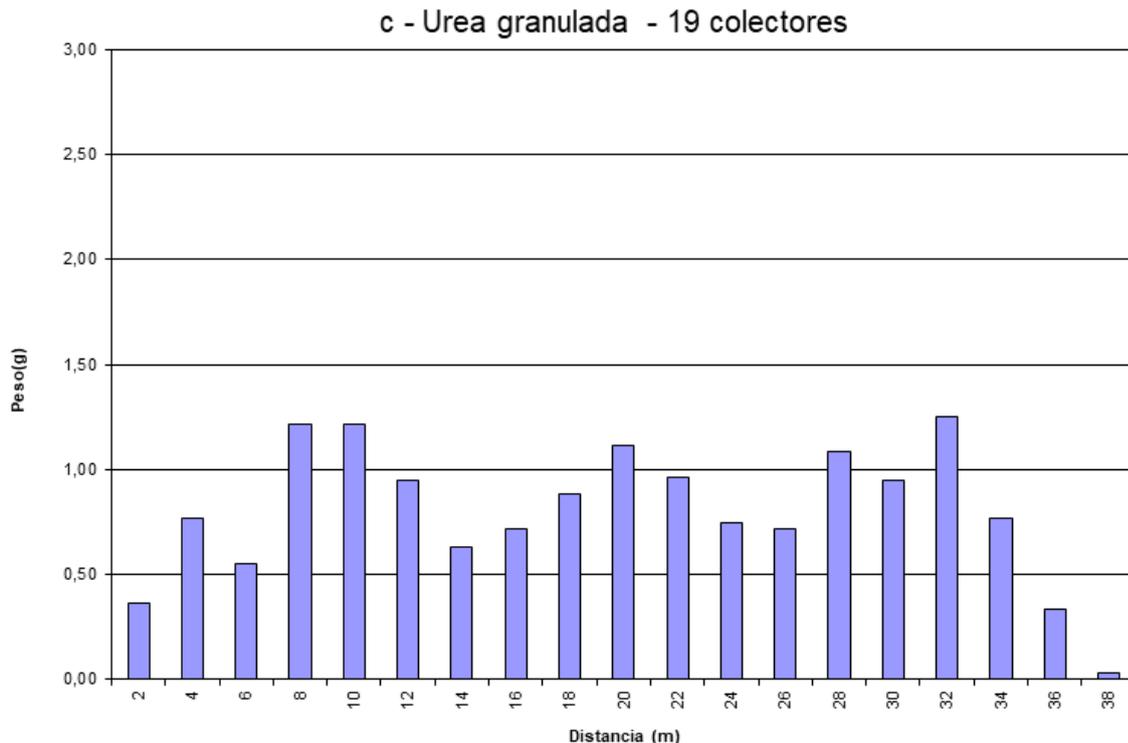


Figura N° 7 –Gráfico del CV con respecto al ancho de trabajo usando urea granulada con 19 colectores calculado con el software Adulanço 3.1. Se visualiza cómo varía el CV con respecto al ancho de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo).

En la Figura N° 8 se observa el perfil de distribución, que no presenta diferencias con respecto a los perfiles analizados anteriormente, se observa la tendencia en W.



*Figura N° 8 – Perfil de distribución del fertilizante urea granulada con 19 colectores calculado con el software Adulanço 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.*

*Distancia 4 m (9 colectores)*

En el último caso, el análisis se redujo a solo 9 cajas distanciadas 4 m en sentido transversal, compatible con la cantidad de unidades que ofrecen algunos fabricantes de fertilizadoras. Se aprecian diferencias y un aumento del CV. Sin embargo, este número de cajas no sería compatible con las evaluaciones para medir la uniformidad de aplicación a campo, ya que según la norma ASABE S341.3 (ASABE, 2009) se requiere un mínimo de 10 cajas colectoras. Esto se adapta a cualquier norma de ensayo, considerando los protocolos de cada una de ellas. En contraposición, Jones et al. (2008) afirman que no se recomienda el método ASAE S341.3 (EE.UU.) porque las bandejas están muy espaciadas en el ancho de trabajo, a intervalos de 3 m, resultando en datos escasos que limitan la capacidad de hacer cálculos precisos del ancho efectivo de trabajo, Estos autores consideran que este procedimiento no explora técnicas de interpolación o ponderación, que se pueden utilizar para todos los otros métodos de prueba que se analizan en dicho trabajo, como la norma ISO 5690/1 utilizada en este caso. También se debe tener en cuenta que estos autores

no utilizaron el software del presente trabajo donde se pondera la cantidad de material obtenido en los colectores ubicados en formas transversal al avance.

Tomando en cuenta los resultados observados en la Figura N° 9, para poder mantener un CV del 20 % y un ancho de trabajo de 32 m, se observan diferencias importantes comparadas con la situación de 19 cajas. En el caso de la forma de trabajo continuo, el CV obtenido es de 19,59 % para un ancho de trabajo de 32 metros. Estos resultados coinciden con los descriptos por Werner et al. (2007) y Takara y Quequeto (2014) que concluyen que la forma de trabajo continua es la más conveniente y con menos variaciones a la hora de trabajar. En el caso de la forma de trabajo alternada derecha e izquierda los valores de CV obtenidos son de 23,70 % y 26,30 %, respectivamente. Si se desea conservar bajo esta forma de trabajo el 20 % de CV definido anteriormente, se debe sacrificar ancho efectivo y por ende capacidad de trabajo. De esta manera, se estaría subestimando el valor del CV y esto tiene implicancia directas en la uniformidad de aplicación. En ambas formas de trabajo, comparando la situación de 19 y 9 colectores, se están subestimando los valores de CV, ya que en el último caso la cantidad de cajas es muy pequeña.

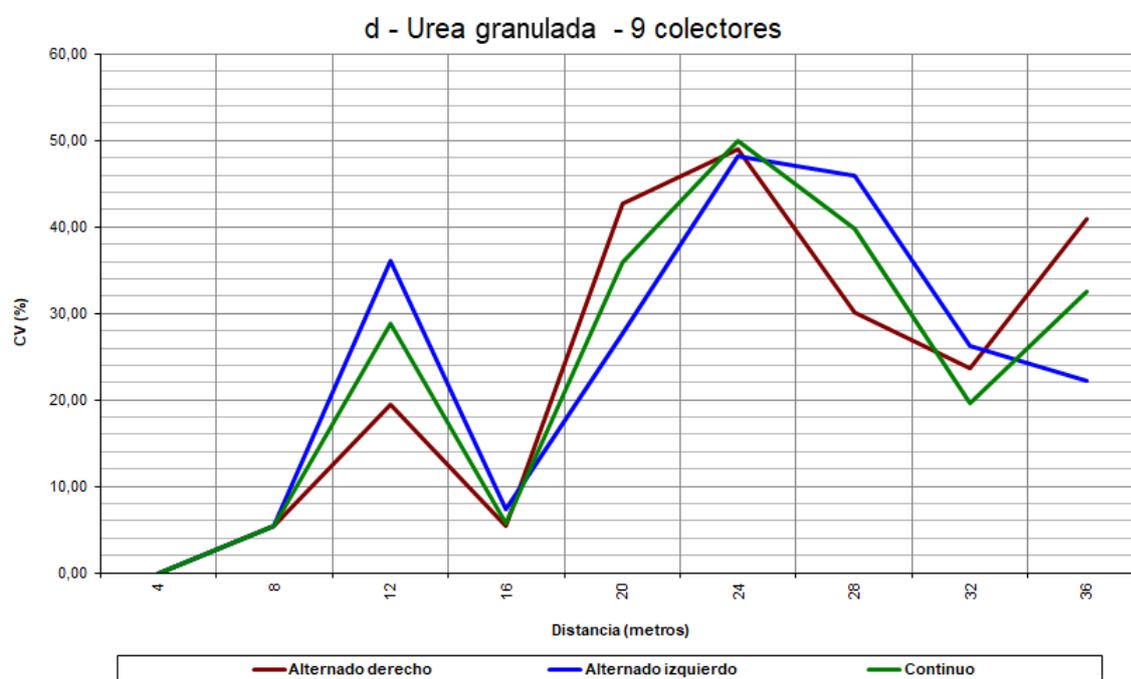
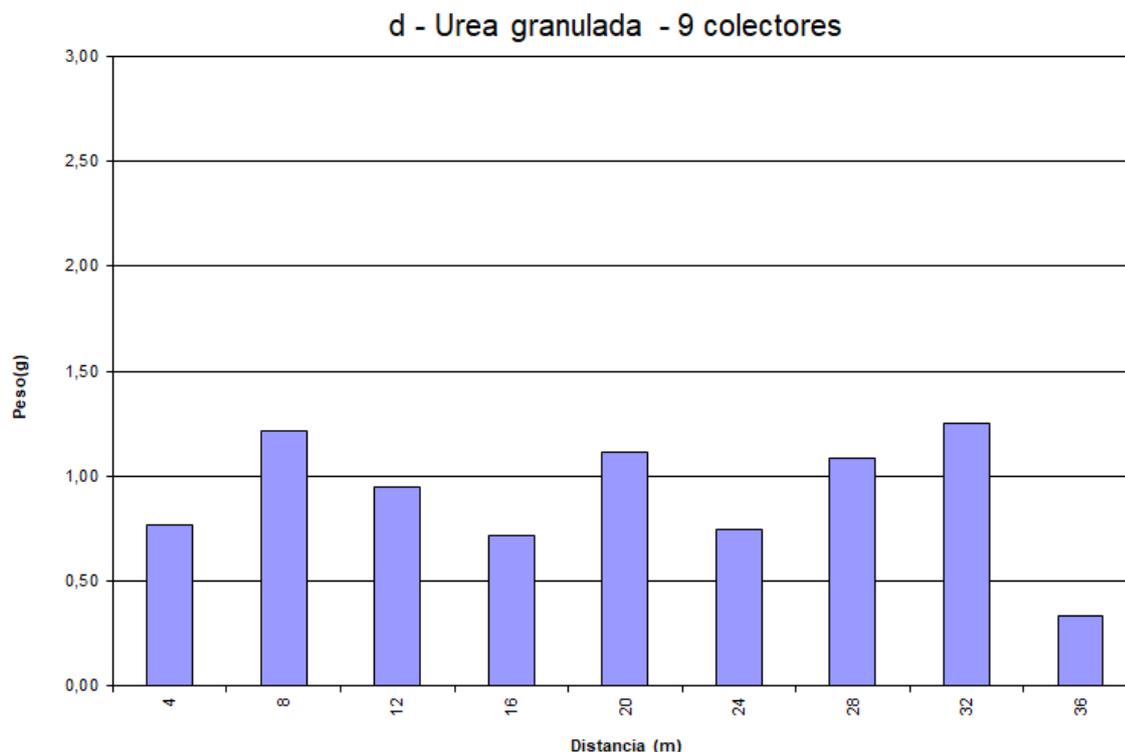


Figura N° 9 –Gráfico del CV% con respecto al ancho de trabajo usando urea granulada con 9 colectores calculado con el software Adulanço 3.1. Se visualiza cómo varía el CV% con respecto al ancho efectivo de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo).

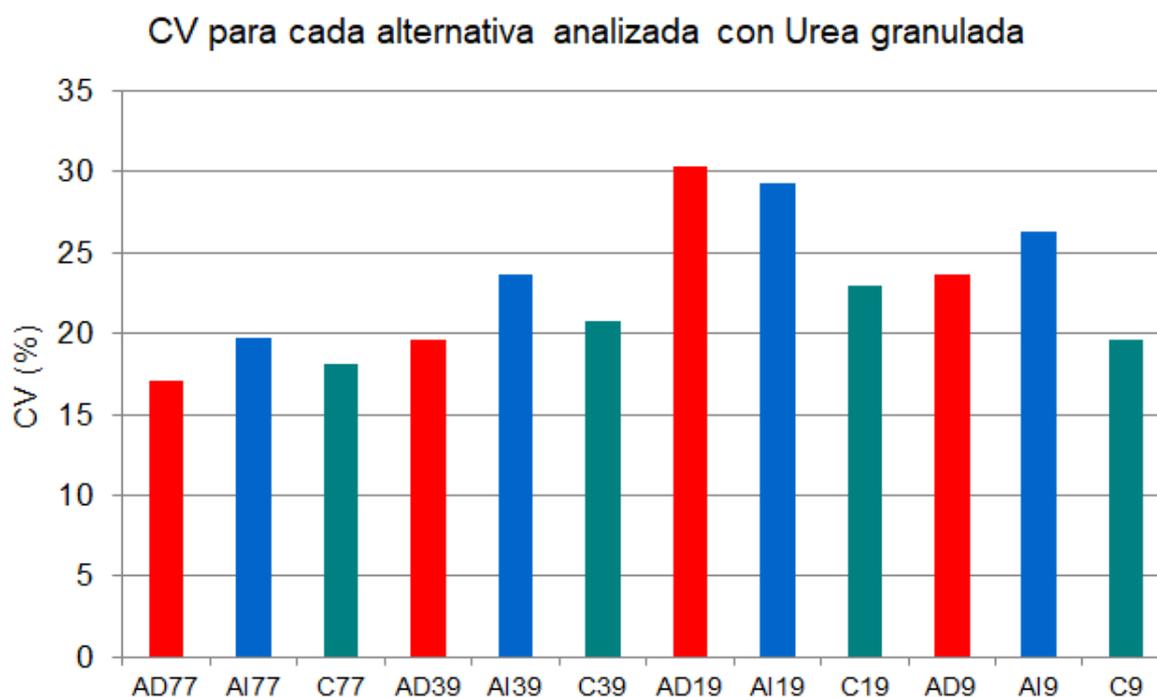
En la Figura N° 10 se visualiza el perfil de distribución, donde las tendencias aún se pueden observar. Se logra visualizar el perfil de distribución de forma W.



*Figura N° 10 – Perfil de distribución del fertilizante urea granulada con 9 colectores calculado con el software Adulanço 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.*

### Comparación entre distancias

Para hacer un análisis comparativo de las cuatro situaciones se confeccionó el gráfico presente en la Figura N° 11, donde se puede apreciar cómo aumenta el CV a medida que disminuye la cantidad de cajas consideradas para un ancho efectivo fijo de 32 m. Se llega a un punto donde el CV es muy elevado y no se aconseja aplicar en forma alternada. La forma de trabajo continua permanece estable en todas las condiciones analizadas como describen Takara y Quequeto (2014).



*Figura N° 11 – Coeficientes de variación (CV%) comparados para las 4 situaciones analizadas con urea granulada para un ancho de trabajo fijo de 32 metros. Referencias: AD: alternado derecho; AI: alternado izquierdo; C: continuo. Considerando 77, 39, 19 y 9 colectores en cada caso.*

En estas condiciones de trabajo se recomienda para un ancho efectivo de 32 m y con un CV menor al 20 % trabajar de forma continua, ya que es el único que se mantiene estable en los 4 escenarios evaluados. En el caso de la forma alternada se aprecian diferencias en ambas direcciones, que pueden deberse a regulaciones propias de la máquina, condiciones del terreno o destreza del operario. En estas circunstancias utilizar 39 colectores distanciados a 1 m entre sí es la mejor alternativa para evaluar la labor con este fertilizante. Esto asociado a que los resultados pueden haber sido debidos particularmente al ensayo realizado, habría que repetirlo en otras condiciones de campo y con el mismo fertilizante para analizar si los parámetros evaluados permanecen estables. En el caso de usar 9 colectores, se aprecian desviaciones importantes en ambas formas de trabajo y según la Norma ASABE, se deben usar como mínimo 10 cajas para que no existan diferencias significativas. Ya que los datos serían escasos y las desviaciones muy importantes como se puede apreciar.

### Repeticiones

Es importante remarcar que, en este método de evaluación del ancho efectivo de trabajo a través del software, las cajas se promedian con sus vecinas. Por convención, la cantidad de material recolectado en cada bandeja se interpola con las bandejas cercanas (Molin, 2009). Se asume independencia entre filas de bandejas, esto quiere decir que la masa que aterriza en una bandeja es independiente de la masa que lo hace en una bandeja ubicada en una fila adyacente. Pero no se debería esperar esa independencia en las bandejas transversales, ya que se aguarda encontrar un perfil de distribución para poder evaluar el trabajo. Este problema de falta de independencia longitudinal entre los colectores afecta a las pruebas que tienen filas adyacentes o filas de bandejas poco espaciadas entre ellas (Jones et al., 2008).

Se ha comprobado que, ubicando las bandejas en espacios más amplios, exceptuando la norma ASAE S341.3 (EEUU), es decir usando menos bandejas para un mismo ancho efectivo, el efecto de independencia entre colectores permanece inalterado si no se consideran distancias importantes entre bandejas (Jones et al., 2008). En este sentido, se procede a realizar el análisis para evaluar la dispersión de los datos entre dos juegos de cajas paralelas y para ello se utiliza una planilla Excel considerando el material recolectado en cada pasada y graficando los mismos en un gráfico de ejes cartesianos.

En la Figura N° 12 se comparan las repeticiones de cajas: en el eje de las "x" tenemos la repetición 1 y en el eje de las "y" la repetición 2.

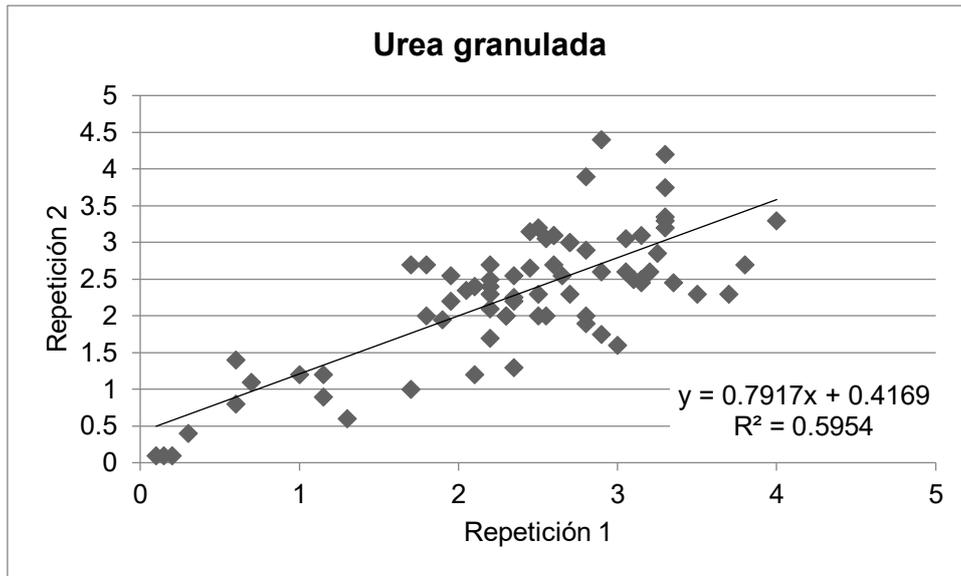


Figura N° 12. Gráfico de dispersión de dos líneas de cajas paralelas para el ensayo de urea granulada.

Puede observarse la variación en el fertilizante recolectado entre las dos filas adyacentes al realizar 6 pasadas, que son las mínimas recomendadas para hacer las evaluaciones de ancho efectivo y uniformidad de aplicación (Yule y Lawrence, 2008). Lo que se espera es que en cada repetición se recolecte la misma cantidad de material en ambas cajas adyacentes que se encuentran distanciadas a 1 m, y que la dispersión entre una y otra caja sea la mínima posible. En este caso la dispersión alcanzada es importante y arroja una pendiente de 0,79. Esto se debe principalmente a que la proyección del material del disco es a través de pulsos y formación de abanicos en el aire. El disco posee dos paletas (una larga y otra corta) y existe un espacio importante donde las partículas que caen sobre el mismo son proyectadas pero no de forma continua. A mayor cantidad de paletas en el disco, esos pulsos disminuyen y la proyección es continua, Este comportamiento también va acompañado por la velocidad del disco, la velocidad de la máquina y la cantidad de abanicos formados y se traduce en una variación en la distribución muy heterogénea. También se asociaría con el valor de dureza que tiene este fertilizante (Tabla N° 1) que puede significar una mayor tendencia a la ruptura de los agregados. Por ello, el  $R^2$  (Coeficiente de correlación) es del 60 %, muy relacionado al azar, por eso se recomienda hacer más de 6 pasajes con la máquina.

### ***Nitrodoble (Ancho Labor: 40 m)***

#### ***Distancia 0,5 m (98 colectores)***

El segundo fertilizante evaluado fue el Nitrodoble, que en las condiciones ensayadas alcanzó un ancho efectivo máximo de 40 m, con un rango de CV del 19,16 %. Con este fertilizante se obtuvo un mayor ancho de trabajo con respecto a la urea debido a que es más denso y, por lo tanto, tiene mayor capacidad de proyección (Tabla N° 1). Este comportamiento fue analizado por Grafton et al. (2015) donde pone énfasis en las características de las partículas como la densidad, el tamaño y la forma cuando se trata de lograr un aumento en el ancho efectivo de esparcimiento.

Los resultados encontrados se expresan en la Figura N° 13. Se observa, para 40 m de ancho efectivo de labor un CV del 18,22 % con la forma de trabajo continuo; mientras que, en la forma de trabajo alternada, evaluando ambas direcciones, nos encontramos con un CV del 19,69 % para el lado derecho y un 19,58 % para el lado izquierdo.

En este caso se utilizaron 98 cajas para recolectar el material, adyacentes entre sí. En este sentido, Šima et al. (2011) en un ensayo con urea, utilizaron 89 cajas en el sentido transversal, obteniendo un ancho efectivo de trabajo de 36 m y CV superior a 30 %. Por otro lado, Primo (2007) utilizó 91 cajas para evaluar el ancho efectivo para aplicar urea con varios CV como referencia (del 12,5 % al 20 %), pero el ancho de trabajo no superó los 18 m. Como base para los siguientes análisis se va a considerar un ancho efectivo de trabajo de 40 m, que es compatible para el producto analizado.

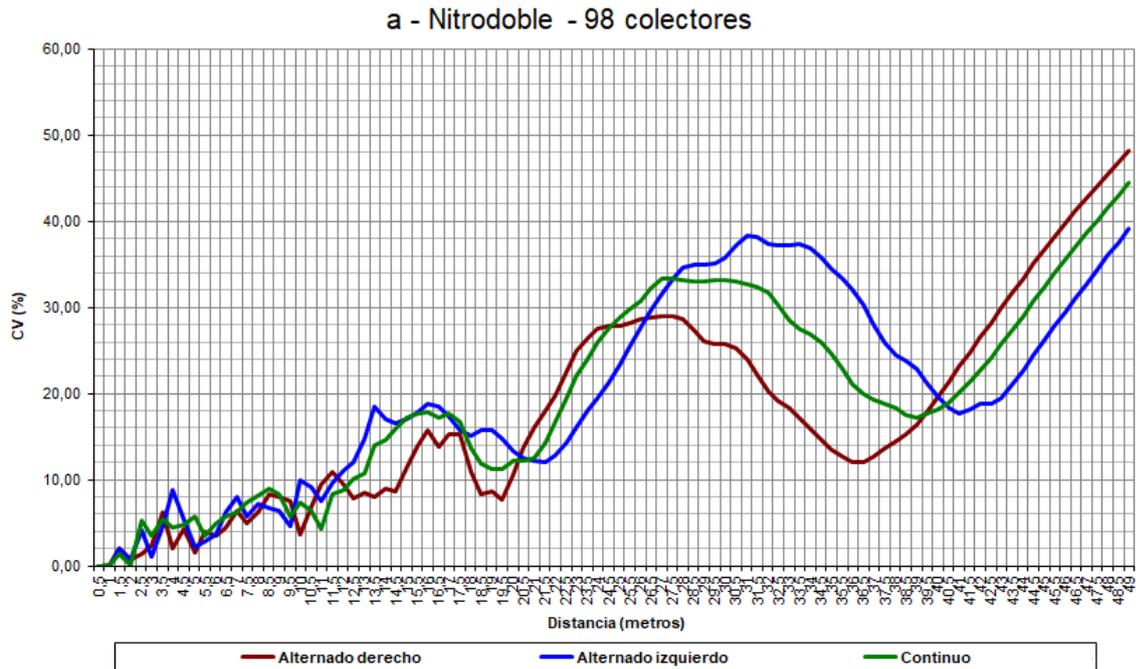
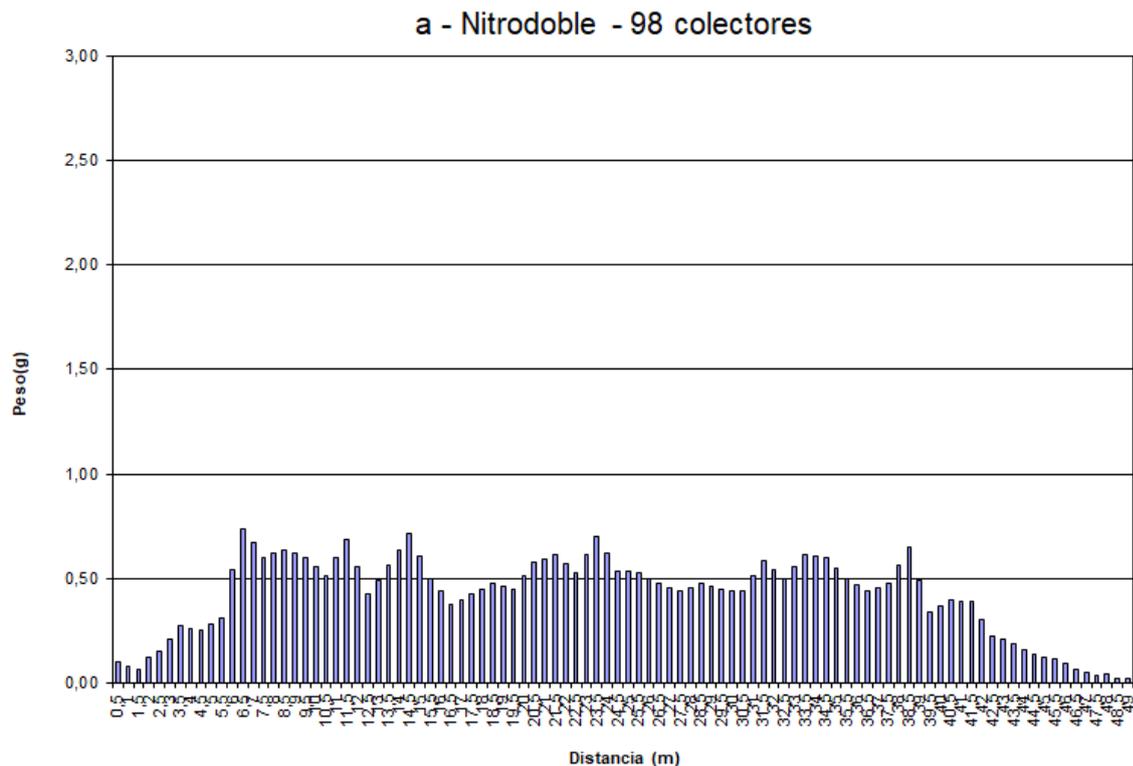


Figura N° 13 –Gráfico del CV% con respecto al ancho de trabajo usando Nitrodoble con 98 colectores calculado con el software Adulanço 3.1. Se visualiza cómo varía el CV% con respecto al ancho de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo).

En la Figura N° 14 se observa el perfil de distribución. Muestra un desequilibrio en relación al centro de la máquina, esto se debe a la desproporcionalidad del producto lanzado a ambos lados de la misma con el distribuidor, liberando más material hacia el lado izquierdo con respecto al derecho donde fue más homogéneo.



*Figura N° 14 – Perfil de distribución del fertilizante Nitrodoble con 98 colectores calculado con el software Adulanzó 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.*

*Distancia 1 m (49 colectores)*

En el segundo caso, se retiran cajas hasta llegar a un total de 49, distanciadas 1 m entre ellas. Se sacan los coeficientes a través del software y se confecciona el gráfico y el perfil de distribución correspondiente. Observando la Figura N°15 y considerando el ancho de trabajo definido anteriormente, el trabajo en continuo sigue teniendo un valor estable y con un CV del 16,23 %, al igual que el trabajo de forma alternada. En este último sin diferencias entre el lado derecho e izquierdo, obteniéndose un CV de 21,85 y 20,46 % respectivamente. No se encuentran diferencias importantes con respecto a la evaluación con el total de las cajas usadas (Figura N°13). Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Thaper (2014), utilizando 49 colectores a 0,8 m de distancia, alcanzando un ancho efectivo de 29 m tanto con urea como con superfosfato triple. Ambos fertilizantes con características físicas disímiles y por ende con un comportamiento balístico diferencial comparado con el Nitrodoble. Es importante considerar que el ancho efectivo de los fertilizantes

varía de acuerdo con la naturaleza y características del material, principalmente a su granulometría (Morsy et al., 2012). En el caso del Nitrodoble, el ancho efectivo fue superior a la urea a pesar de tener el mismo porcentaje de partículas grandes (Tabla N° 1). Esto es debido a que la urea tiende a segregar durante la aplicación, tiene menor densidad relativa y menor dureza, siendo más susceptible a la ruptura durante su manipulación y aplicación (Gavrilović et al., 2018).

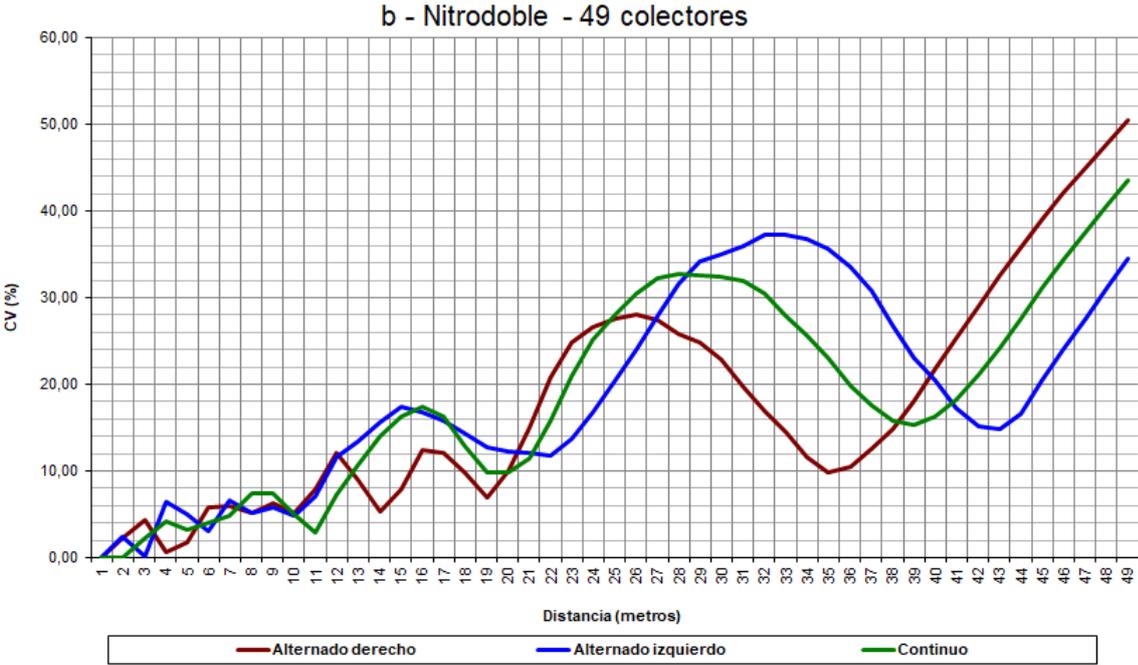
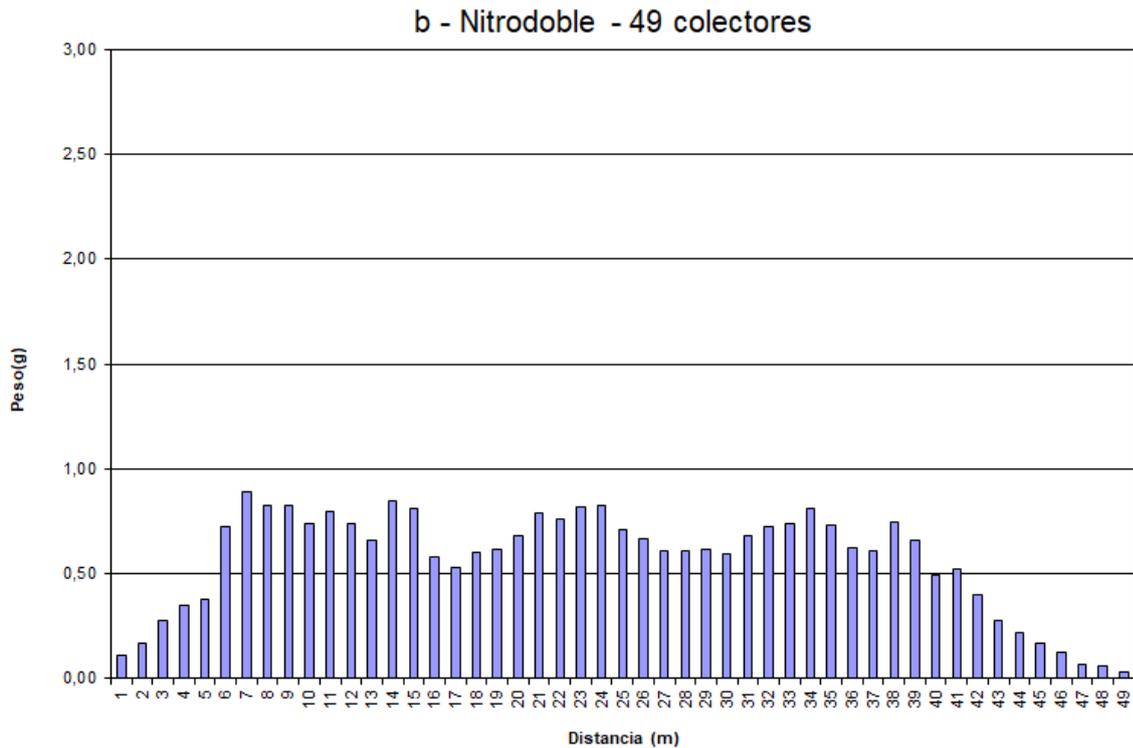


Figura N° 15 –Gráfico del CV% con respecto al ancho de trabajo usando Nitrodoble con 49 colectores calculado con el software Adulanço 3.1. Se visualiza cómo varía el CV% con respecto al ancho de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo).

En la Figura N°16 se observa el perfil de distribución correspondiente a los 49 colectores ensayados y no se observan diferencias con respecto al perfil de distribución con el total de cajas usadas en el primer caso.



*Figura N° 16 – Perfil de distribución del fertilizante Nitrodoble con 49 colectores calculado con el software Adulango 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.*

*Distancia 2 m (25 colectores)*

En el tercer caso, se analizan 25 cajas distanciadas 2 m entre ellas para el mismo ancho evaluado. Como se observa en la Figura N° 17, el ancho efectivo de 40 m permanece sin cambios significativos, con un CV promedio cercano al 20 %. Este ancho efectivo fue similar al obtenido por Tourn y Platz (2019) con el mismo fertilizante, de 42 m.

En este caso, para la forma de trabajo continua, el CV fue de 16,55 %. Y para el alternado derecho e izquierdo fue de 21,24 % y 21,89 %, respectivamente. Sin embargo, estos valores se encuentran cercanos a los óptimos.

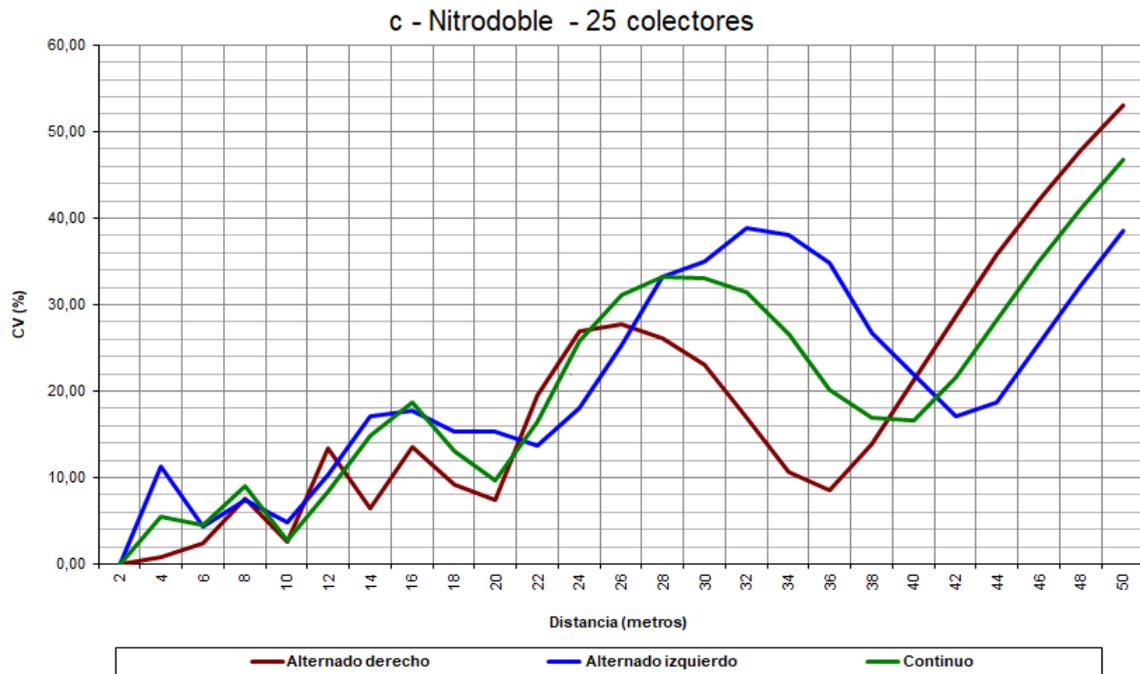
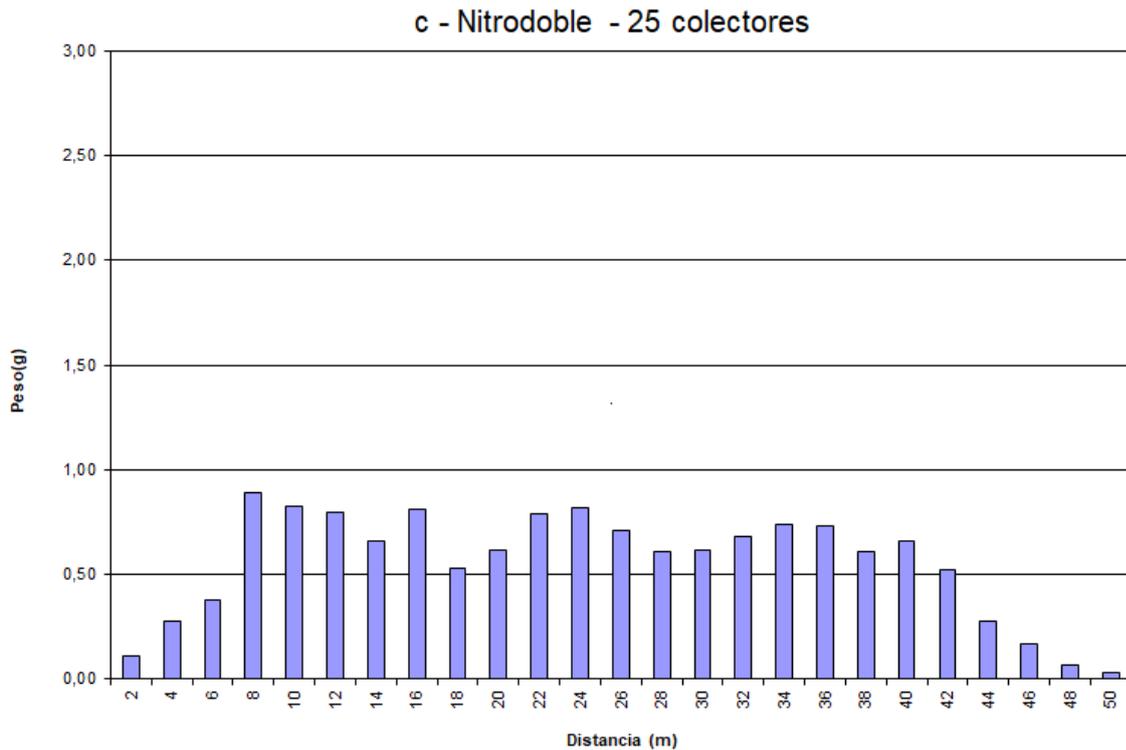


Figura N° 17 –Gráfico del CV% con respecto al ancho de trabajo usando Nitrodoble con 25 colectores calculado con el software Adulanço 3.1. Se visualiza cómo varía el CV% con respecto al ancho de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo).

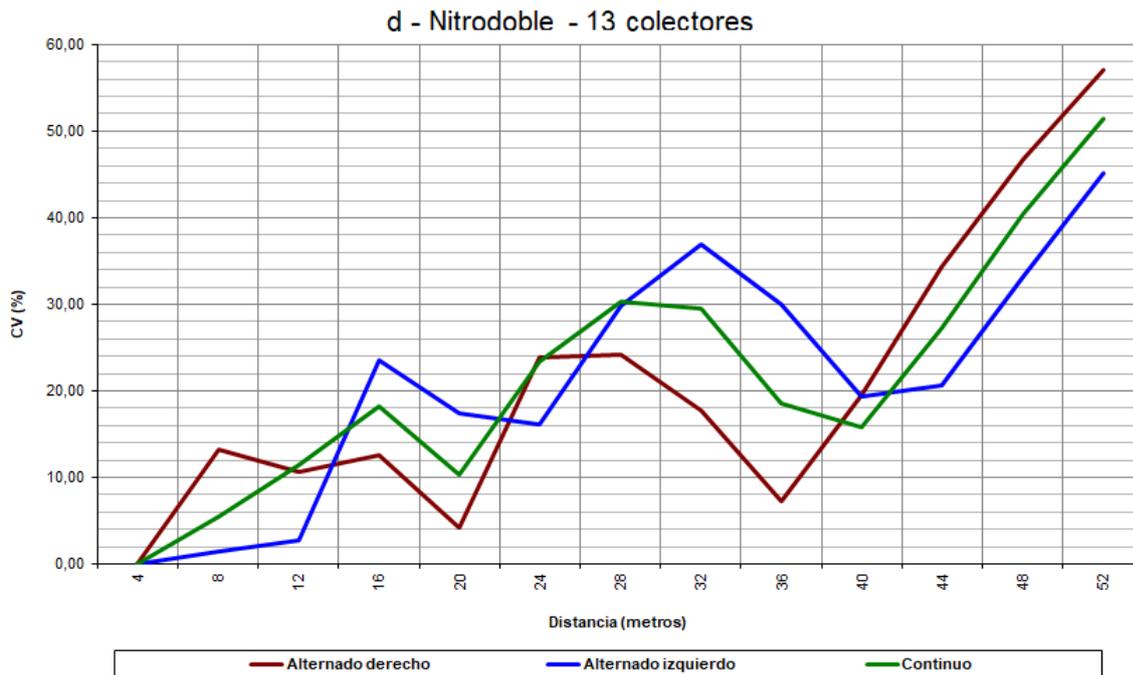
En la Figura N°18 se observa el perfil de distribución, que no presenta diferencias con respecto a los perfiles analizados anteriormente. Se puede apreciar un perfil de distribución en forma de W suavizada con una desuniformidad del lado izquierdo. Tourn et al. (2019), ensayando con urea diversas máquinas y utilizando solamente 25 colectores, encontraron que la mayoría de los perfiles logrados son del tipo W con CV% que oscilan entre 20 y 25 %. Los autores concluyen que es frecuente encontrarse con estas situaciones en el campo debido a la falta de regulaciones y puesta a punto de las máquinas.



*Figura N° 18 – Perfil de distribución del fertilizante Nitrodoble con 49 colectores calculado con el software Adulanço 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.*

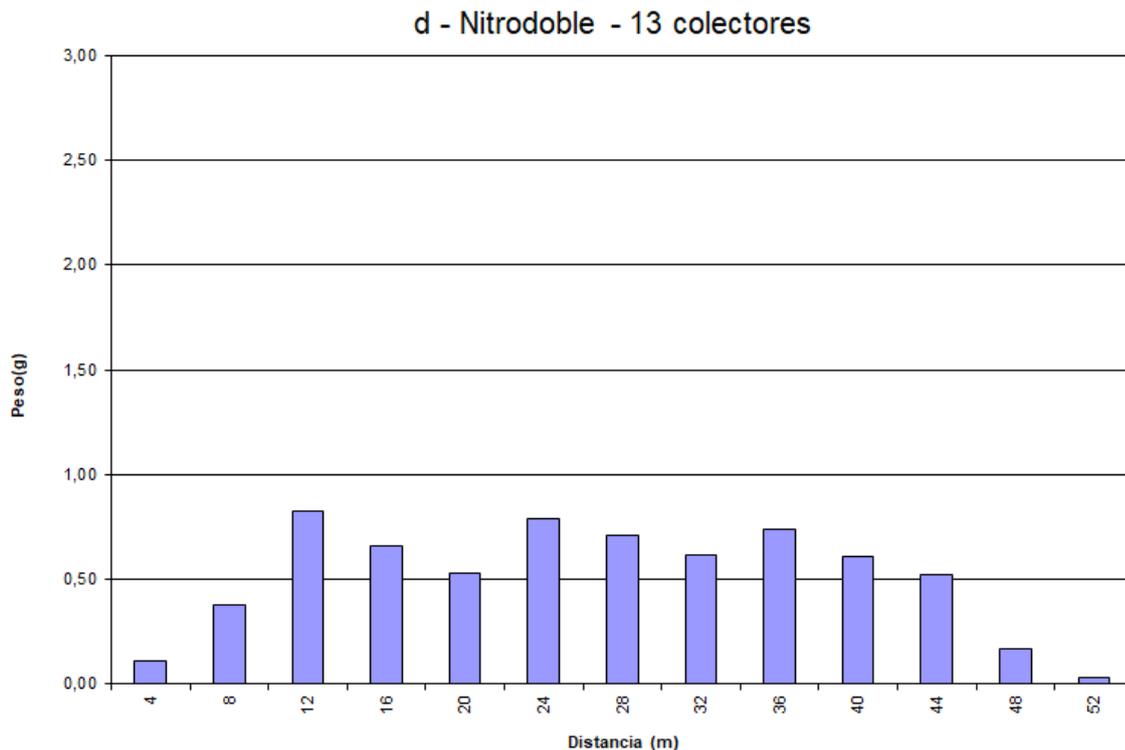
**Distancia 4 m (13 colectores)**

En el último escenario simulado, el análisis se redujo a 13 cajas distanciadas 4 m en el sentido transversal (Figura N° 19). Es una cantidad de cajas compatibles con las ofrecidas por las empresas fabricantes. No se aprecian diferencias con respecto al CV inicial. En el caso de hacer el trabajo en forma continua con un ancho efectivo fijo de 40 m el CV es del 15,76 %, para el alternado derecho 19,45 % y para el izquierdo 19,33 %. Estos resultados son similares a los obtenidos por Yinyan et al. (2018) al evaluar dos fertilizantes con 15 colectores en el sentido transversal, alcanzando un ancho efectivo de trabajo de 30 m con un CV del 12,3 % y un perfil de distribución W simétrico, en condiciones estáticas y dinámicas.



*Figura N° 19 –Gráfico del CV% con respecto al ancho de trabajo usando Nitrodoble con 13 colectores calculado con el software Adulanço 3.1. Se visualiza cómo varía el CV% con respecto al ancho de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo).*

En la Figura N° 20 se observa el perfil de distribución, donde se aprecia levemente el perfil característico definido en la situación anterior (Figura N° 18). Sin embargo, esto es un impedimento para poder hacer los ajustes necesarios para obtener una aplicación más uniforme ya que se encuentra sujeto a la destreza analítica del operario que se encuentra realizando las evaluaciones.



*Figura N° 20 – Perfil de distribución del fertilizante Nitrodoble con 13 colectores calculado con el software Adulango 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.*

#### Comparación con urea (19 colectores)

Para poder hacer una comparación con la cantidad de cajas que se pueden utilizar para hacer los ensayos, se analiza la configuración de colectores que tuvo la mejor performance en el caso de la urea. Se procede de la misma forma con la carga de los datos en el software. Los resultados se visualizan en las Figuras N°21 y Figura N°22. Se puede observar que siguen las tendencias de los casos anteriores, la forma de trabajo continuo sigue siendo el más adecuado con un valor de CV del 15,91 %. Caso opuesto al encontrado para la forma de trabajo alternada derecha e izquierda, cuyos valores de CV son del 30,80 % y 36,22 % respectivamente, siendo valores inaceptables considerando la calidad del trabajo realizado. Se reconocen las diferencias entre ambos casos, justificando el uso de 19 colectores para poder tomar la mejor decisión al hacer la aplicación considerando los parámetros evaluados. El hecho de usar 13 colectores para recopilar información en la forma de trabajo alternada, estaría subestimando la performance del conjunto al momento de hacer la labor, repercutiendo en la calidad de aplicación indefectiblemente.

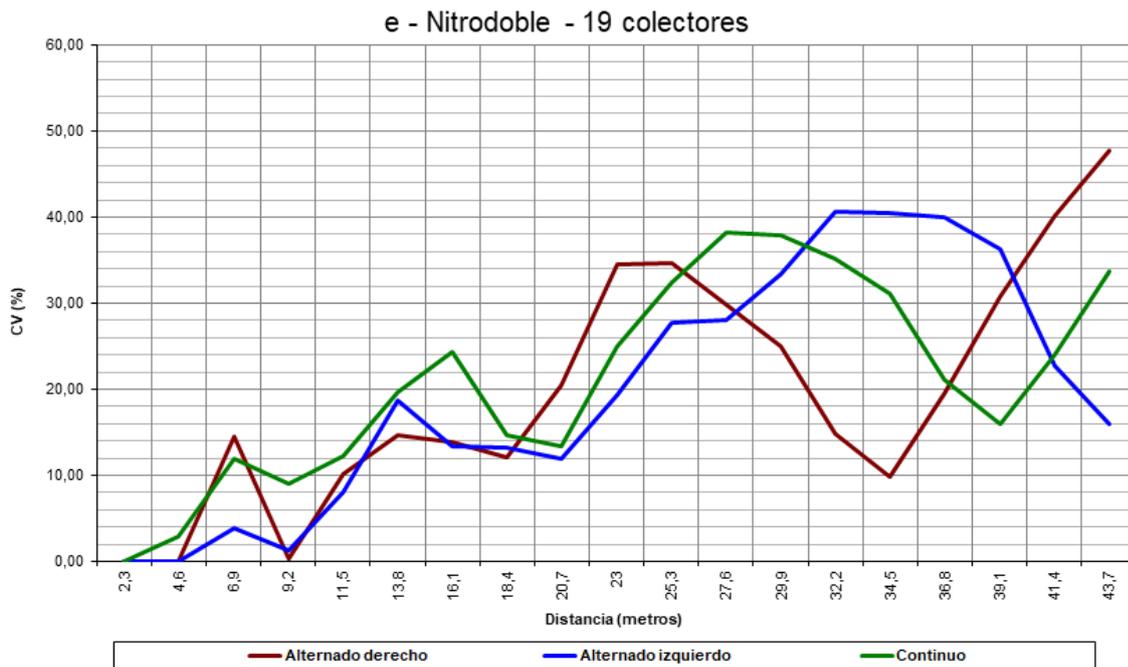


Figura N° 21 –Gráfico del CV% con respecto al ancho de trabajo usando Nitrodoble con 19 colectores calculado con el software Adulanço 3.1. Se visualiza cómo varía el CV% con respecto al ancho de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo).

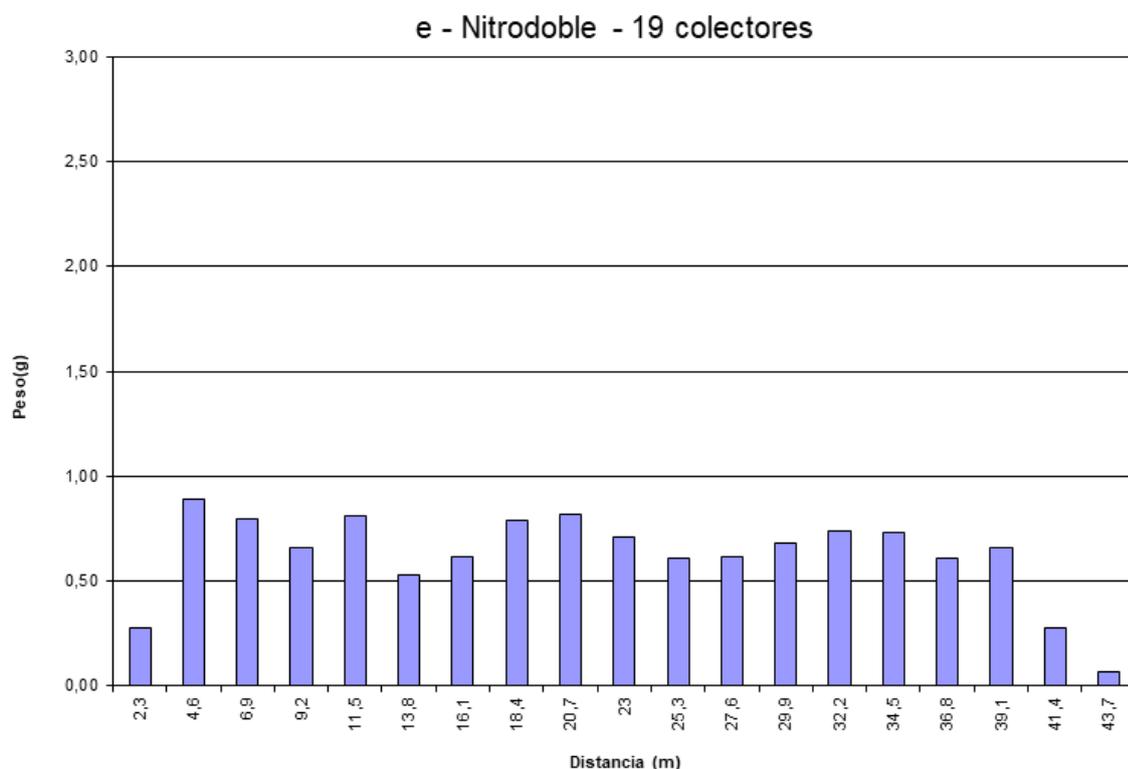
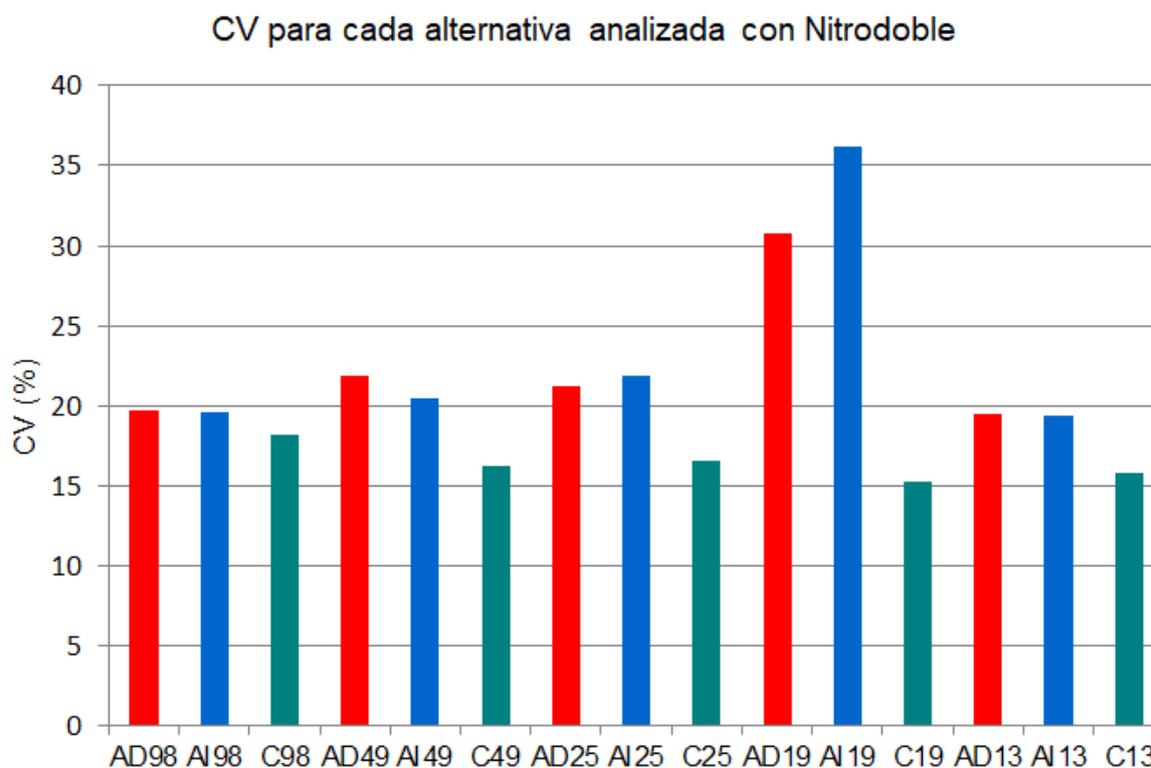


Figura N° 22 – Perfil de distribución del fertilizante Nitrodoble con 19 colectores calculado con el software Adulanço 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.

### Comparación entre distancias

Para hacer un análisis final de las 5 situaciones vistas en los apartados precedentes, se confeccionó el gráfico de barras presentado en la Figura N°23. La forma de trabajo continua es la más estable en todos los escenarios (en todos los casos se encontró debajo de 20 % de CV), similares resultados a los encontrados por Takara y Quequeto (2014). La forma de trabajo alternada tiene diferencias importantes, lo que nos hace suponer que no puede elegirse esta forma de trabajo. También hay que remarcar que la cantidad de cajas finales es de 13 unidades, comparado con las 9 unidades finales usadas en la urea. En este caso se pudo lograr obtener un perfil de distribución característico para poder hacer las evaluaciones y los ajustes necesarios.



*Figura N° 23 – Coeficientes de variación (CV%) comparados para las 5 situaciones analizadas con Nitrodoble para un ancho efectivo de trabajo fijo de 40 metros. Referencias: AD: alternado derecho; AI: alternado izquierdo; C: continuo. Considerando 98, 49, 25, 19 y 13 colectores en cada caso.*

Al tratarse de un fertilizante que arroja un ancho de trabajo mayor que la urea, se necesita hacer una mayor cantidad de pasajes con la máquina para poder obtener

valores más adecuados en cuanto a cantidad de material recolectado. Yule y Lawrence (2008) recomiendan hacer hasta 9 pasajes, si se excede este valor, la cantidad de fertilizante será tal que el perfil obtenido se alejará del efectivamente aplicado. En este caso se recomienda utilizar 25 colectores a una distancia de 2 m entre ellos, ya que no presenta variaciones importantes comparadas con la totalidad de cajas ensayadas, y realizar hasta un máximo de 9 pasadas para obtener un perfil de distribución lo más cercano posible a la realidad.

### Repeticiones

Finalmente se procede a realizar el análisis de dispersión de los datos entre dos juegos de cajas paralelas como se observa en la Figura N° 24.

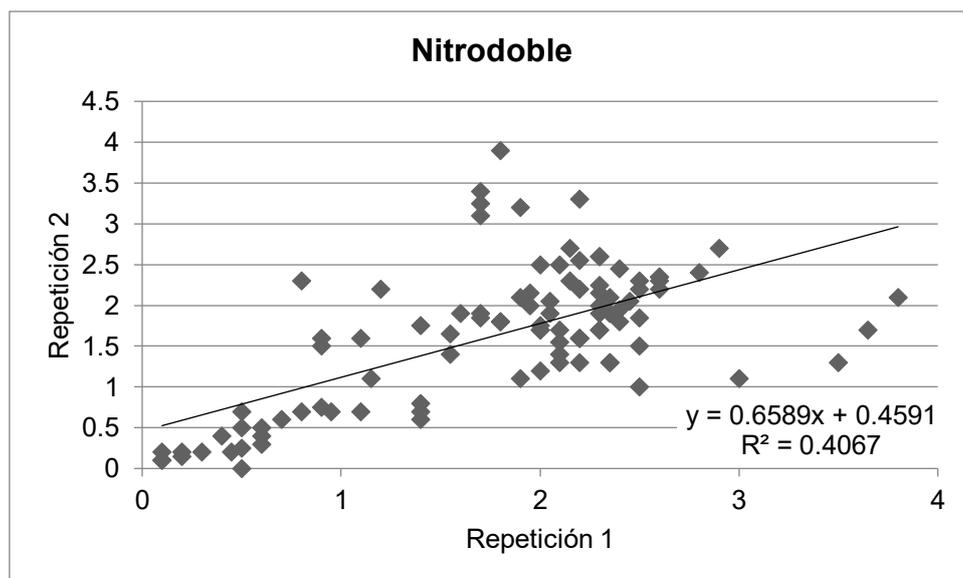


Figura N° 24.- Gráfico de dispersión de dos líneas de cajas paralelas para el ensayo de Nitrodoble.

En este caso la dispersión alcanzada es mayor que en el caso anterior. El  $R^2$  es del 40 %. La pendiente es menor que en el caso de la urea. El Nitrodoble arroja un valor de 0,65 y la urea del 0,79, esto significa una mayor heterogeneidad en cuanto a la distribución esperada. Esto se explica, al igual que en el caso anterior, por la

proyección de material a través de pulsos, lo que genera una desuniformidad en la distribución. Acompañado también a que la dureza del Nitrodoble es mayor que en el caso de la urea al igual que la distancia proyectada del material, y la probabilidad de ruptura es menor como se observa en la Tabla N° 1. Esto se asociaría a todo lo discutido en el caso de la urea en apartados anteriores y también a la capacidad de rebote que pueden tener las partículas más duras que aumenta su probabilidad de escapar de las cajas recolectoras. La recomendación es la misma, hacer un mínimo de 6 pasajes o más (Yule y Lawrence, 2008).

### ***Sulfán (Ancho Labor: 22 m)***

#### ***Distancia 0,5 m (98 colectores)***

El último fertilizante ensayado fue el Sulfán, que en la práctica tuvo un ancho efectivo máximo de 22 m, con un CV dentro del rango del 19,31 %. Este ancho efectivo fue muy inferior al alcanzado por Tourn y Platz (2019) que fue de 47 m con un CV del 15,3 %. Es decir, fue inferior al mismo en un 53,19 %. Sin embargo, las regulaciones del conjunto fueron configuradas de tal forma que el ancho efectivo de 22 m es aceptable para las condiciones ensayadas.

Volviendo al caso, considerando el CV máximo del 20 % y observando la Figura N° 25. En la forma de trabajo continua el ancho efectivo de trabajo alcanzado fue de 22 m con un CV de 18,26 %; mientras que, en la forma de trabajo alternada, evaluando ambas direcciones, derecha e izquierda, arrojaron un CV de 14,19 % y 24,77 % respectivamente para el mismo ancho de trabajo definido. En esta última forma de trabajo, el primer valor es aceptable, mientras que el segundo se aleja de la tolerancia. En estas condiciones no es conveniente trabajar de forma alternada por las diferencias entre ambas direcciones. Para los fines del análisis se considera un ancho efectivo de trabajo de 22 m. Como se puede observar, el ancho máximo alcanzado con el Sulfán es inferior al alcanzado con la urea granulada y el Nitrodoble, esto es debido al menor porcentaje de partículas de mayor tamaño que tiene este fertilizante, ya que el 75 % de las partículas de este producto fueron retenidas en el tamiz 6 (3,36 mm), lo que significa una disminución de las capacidades aerodinámicas de las partículas para recorrer mayor distancia al salir proyectada del disco (Tabla N° 1). Sin embargo, el Sulfán fue el más homogéneo en

cuanto al tamaño de partículas. Estos mismos resultados fueron encontrados por Reynaldo et al. (2016) al evaluar productos similares y con características físicas contrastantes. Otro motivo del menor ancho de trabajo efectivo puede estar ligado a dificultades para conseguir homogeneidad en el perfil de distribución entre izquierda y derecha, lo que no permite conseguir que el valle de 40 m este por debajo de 20 % de CV.

Se utilizaron 98 cajas para recolectar el material adyacente entre sí, dejando espacio para el pasaje del rodado.

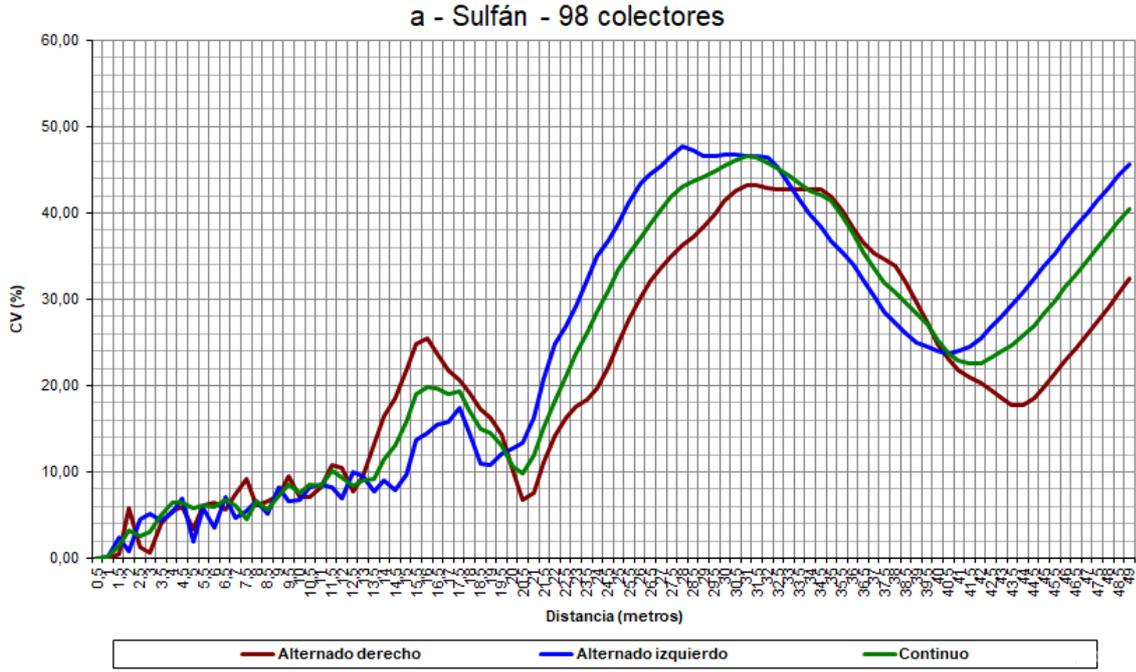
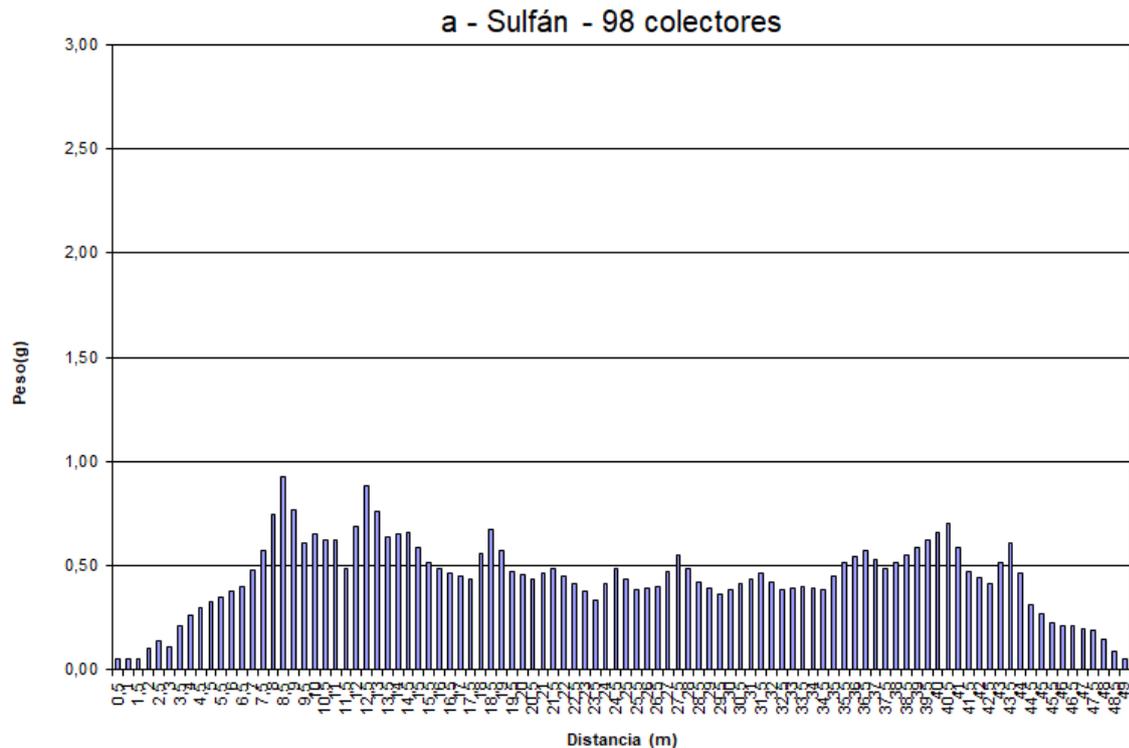


Figura N° 25 –Gráfico del CV% con respecto al ancho de trabajo usando Sulfán con 98 colectores calculado con el software Adulanço 3.1. Se visualiza cómo varía el CV% con respecto al ancho de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo).

En la Figura N° 26 se observa un perfil de distribución asimétrico, que presenta desviaciones en el lado izquierdo del mismo, donde se acumula mayor cantidad de fertilizante, pero se distingue una forma en M.



*Figura N° 26 – Perfil de distribución del fertilizante Sulfán con 98 colectores calculado con el software Adulanço 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.*

*Distancia 1 m (49 colectores)*

Observando la Figura N° 27 y considerando el ancho de trabajo definido, el sistema continuo sigue siendo estable con un CV del 16,79 %, al igual que el trabajo de forma alternada. En este último caso la diferencia entre el alternado derecho e izquierdo se hace más grande, obteniéndose un CV de 12,64 % y 20,83 %, respectivamente. Sin embargo, no se encuentran diferencias importantes con respecto a la evaluación con el total de las cajas usadas (Figura N° 25). Estos resultados son similares a los obtenidos por Thaper (2014) quienes utilizaron 49 colectores y trabajaron con fosfato diamónico (DAP) que posee características físicas similares al Sulfán. En este caso, el autor alcanzó un ancho efectivo de 29 m con un CV inferior al 15 %. Los resultados obtenidos son los esperados para las condiciones ensayadas y se acercan al óptimo esperado.

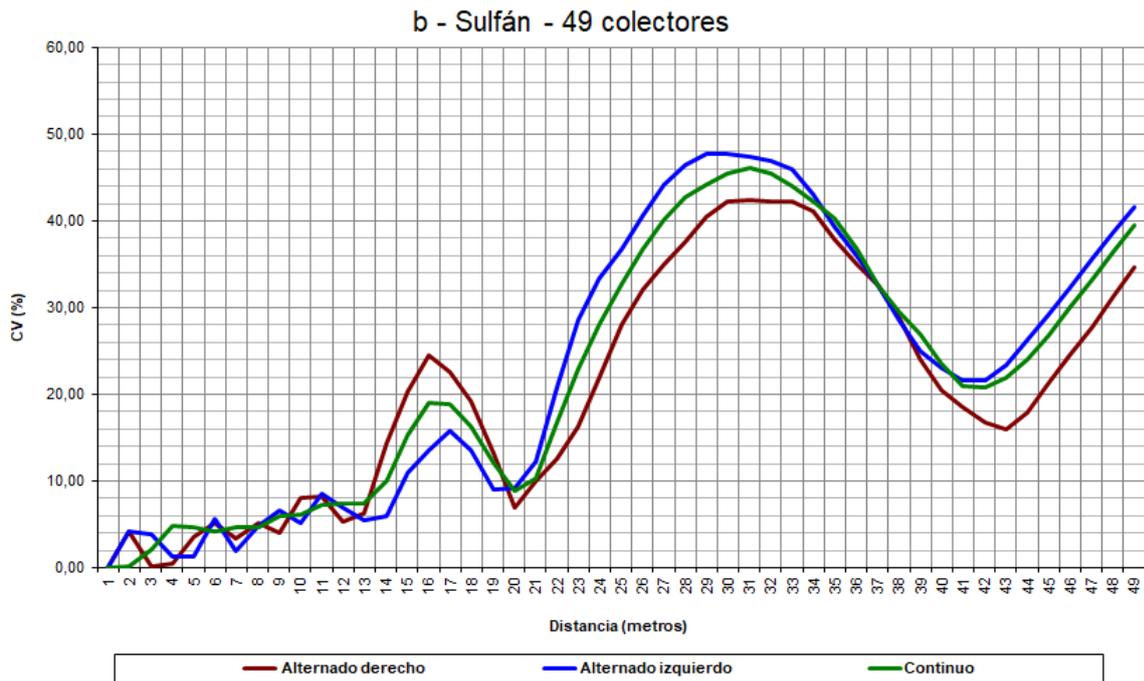
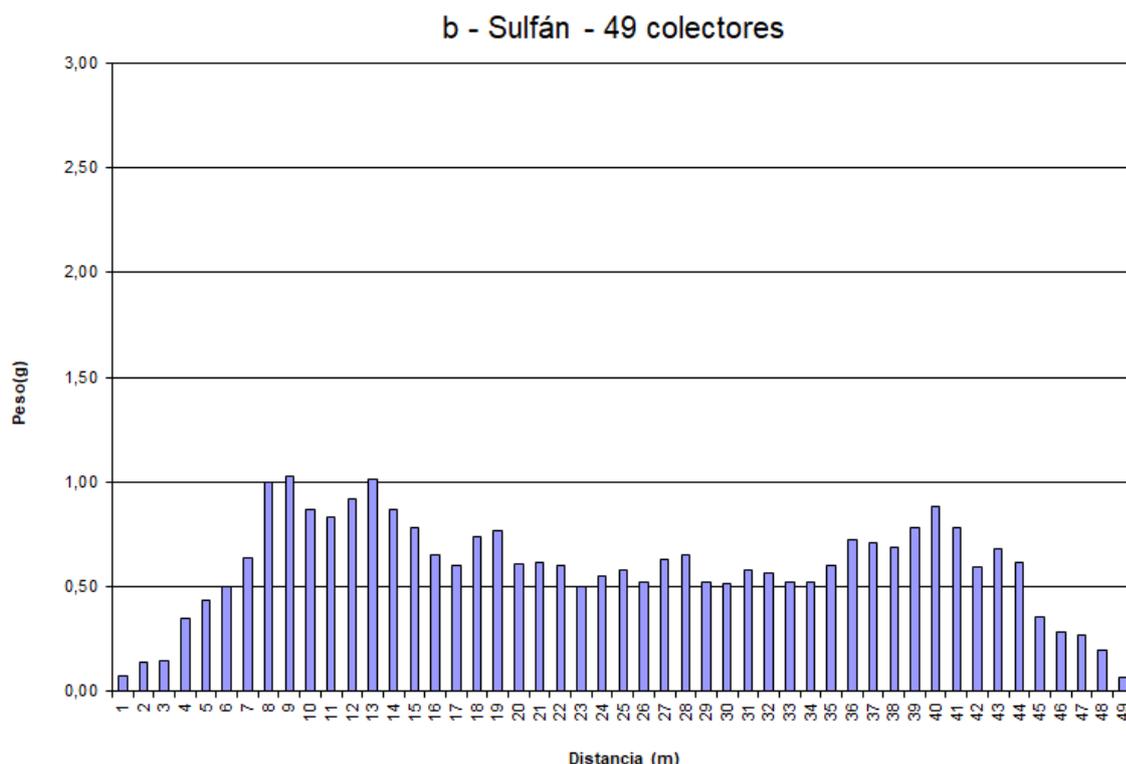


Figura N° 27 –Gráfico del CV% con respecto al ancho de trabajo usando Sulfán con 49 colectores calculado con el software Adulanço 3.1. Se visualiza cómo varía el CV% con respecto al ancho de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo),

En la Figura N° 28 se observa el perfil de distribución correspondiente a los 49 colectores ensayados y no se observan diferencias del perfil de distribución con respecto al total de cajas ensayadas (Figura N° 26). Sin embargo, se empieza a visualizar un perfil asimétrico más marcado, con dos picos desplazados hacia la izquierda del perfil, reportado por Yinyan et al. (2018) con productos similares.



*Figura N° 28 – Perfil de distribución del fertilizante Sulfán con 49 colectores calculado con el software Adulango 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.*

**Distancia 2 m (25 colectores)**

En la tercera situación, se toman 25 cajas distanciadas 2 m entre ellas, se vuelven a realizar los cálculos y el análisis. En este caso, como se observa en la Figura N° 29, el ancho efectivo de 22 m se comienza a alejar del esperado, sin embargo no se aprecian rasgos generales diferencias importantes, con un CV promedio del 17,52 %. Este ancho efectivo fue diferente al obtenido por Tourn y Platz (2019) con el mismo fertilizante que fue de 47 m y un CV del 15,3 %, utilizando 29 colectores y otra máquina fertilizadora.

Realizando un análisis más detallado, para la forma de trabajo continua, el CV fue del 18,05 %, y para el alternado derecho e izquierdo fue del 10,58 % y 23,93 %, respectivamente. Todos valores aceptables, a excepción del alternado izquierdo que comienza a alejarse de los valores óptimos.

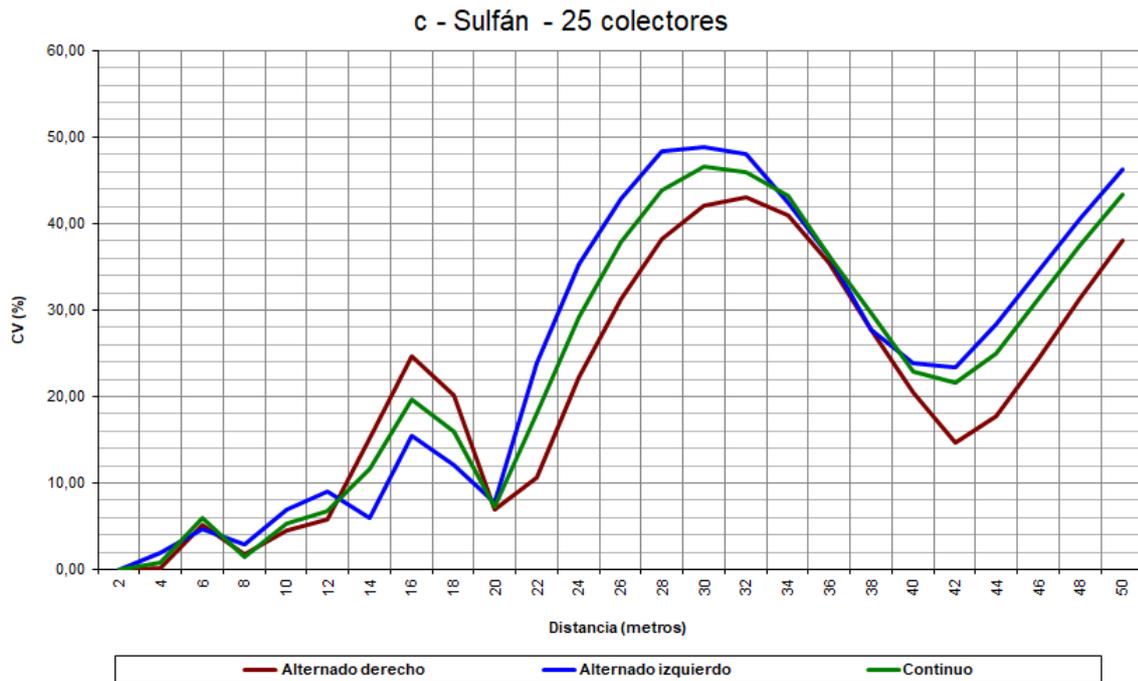
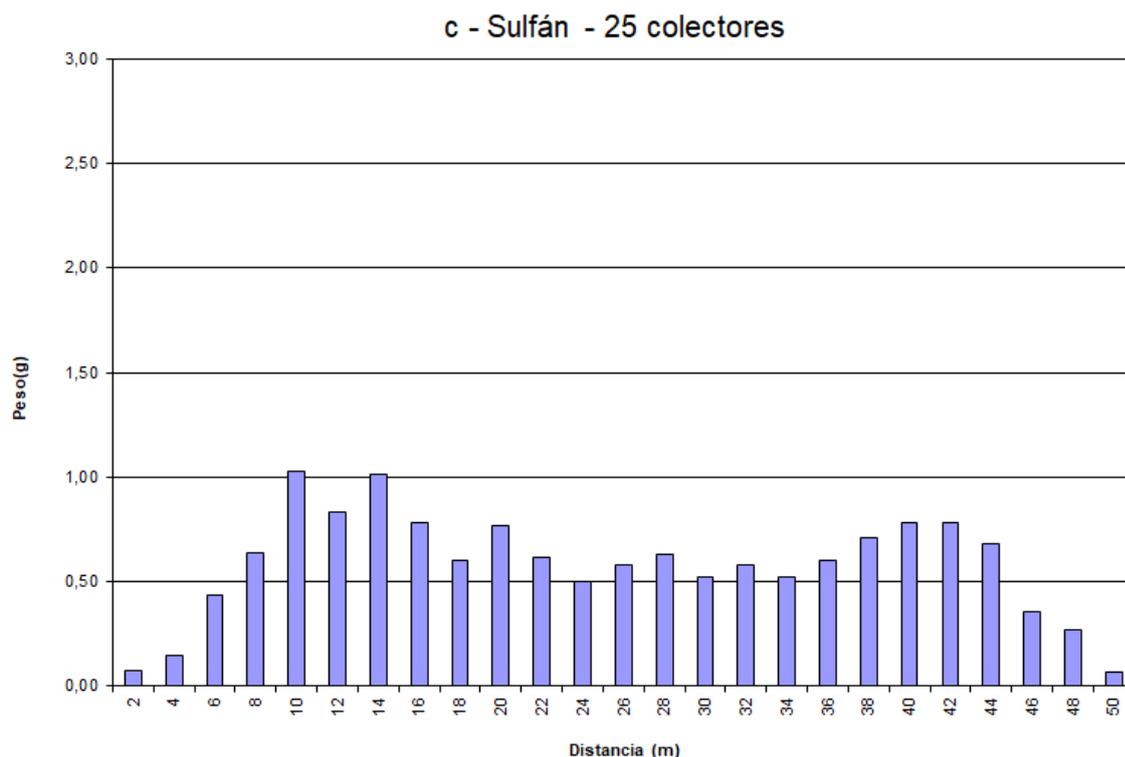


Figura N° 29 –Gráfico del CV% con respecto al ancho de trabajo usando Sulfán con 25 colectores calculado con el software Adulanço 3.1. Se visualiza cómo varía el CV% con respecto al ancho de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo).

En la Figura N° 30 se observa el perfil de distribución obtenido, que presenta diferencias con respecto a los perfiles analizados en los primeros casos. Se puede apreciar un perfil de distribución en forma de M característico con un pico importante a la izquierda del perfil como fue definido anteriormente.



*Figura N° 30 – Perfil de distribución del fertilizante Sulfán con 25 colectores calculado con el software Adulango 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.*

**Distancia 4 m (13 colectores)**

En el último caso, el análisis se redujo a solamente 13 cajas separadas 4 m entre ellas. Se observan diferencias significativas y una caída importante del CV. También se observa que, debido a la metodología de análisis, el ancho efectivo definido disminuye a 20 m, es decir, se pierden 2 m de ancho efectivo. Por esto, 20 m será el ancho de referencia en este último escenario evaluado. Como se observa en la Figura N° 31, en el caso de hacer el trabajo en forma continua con un ancho efectivo fijo de 20 m, el CV es del 8,48 % para el alternado derecho 6,11 % y para el izquierdo 8,50 %. En este último caso se observa una diferencia pronunciada con respecto a la evaluación con 25 colectores.

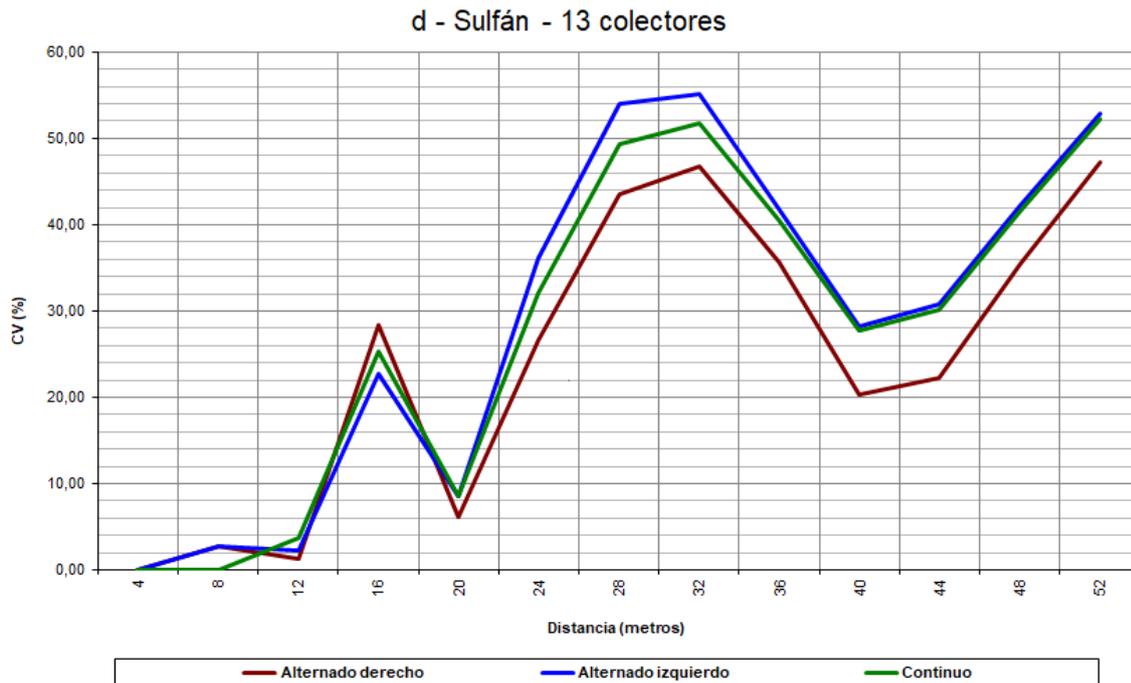
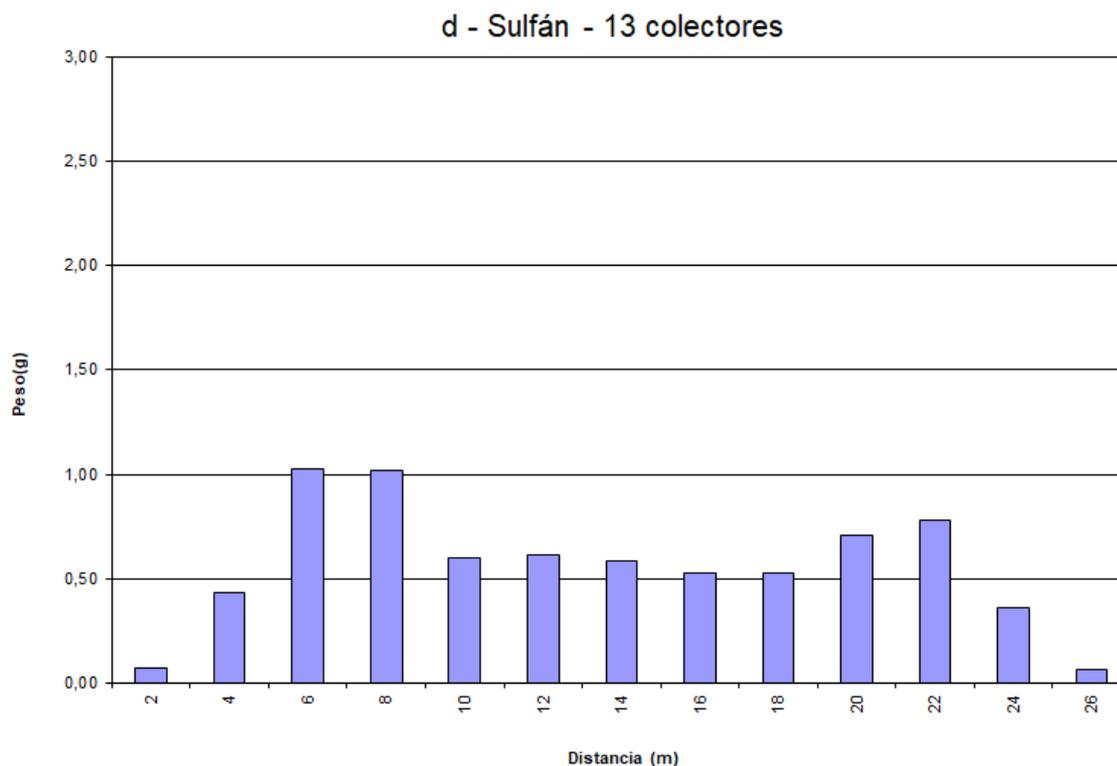


Figura N° 31 –Gráfico del CV% con respecto al ancho de trabajo usando Sulfán con 13 colectores calculado con el software Adulanço 3.1. Se visualiza cómo varía el CV% con respecto al ancho de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo).

En la Figura N° 32 se observa el perfil de distribución, donde se aprecia aún el pico en el lado izquierdo del perfil que confirma que debe hacerse un cambio en las regulaciones de la máquina.



*Figura N° 32 – Perfil de distribución del fertilizante Sulfán con 13 colectores calculado con el software Adulango 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.*

#### Comparación con urea (19 colectores)

Para un análisis comparativo, se procede hacer la evaluación en las mismas condiciones pero utilizando 19 cajas. El gráfico y el perfil resultante se observan las Figura N° 33 y Figura N° 34 respectivamente. Se puede observar que siguen las tendencias de los casos anteriores, se confirma que se pueden elegir ambas formas de trabajo y se obtienen valores de CV% aceptables para el ancho definido de 20 m. En el caso del trabajo continuo es del 13,41 % y para el alternado derecho e izquierdo del 9,28 % y 12,87 %, respectivamente. Se puede observar que al usar un mayor número de cajas, se obtienen datos más confiables de los parámetros evaluados para poder hacer las correcciones pertinentes.

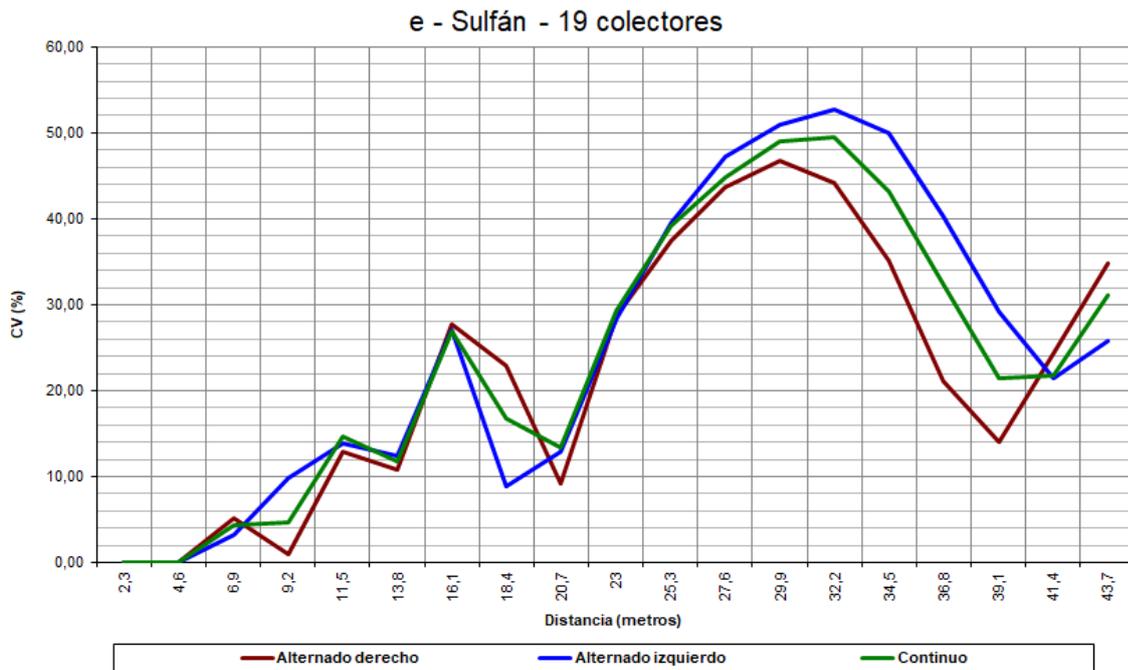


Figura N° 33 –Gráfico del CV% con respecto al ancho de trabajo usando Sulfán con 19 colectores calculado con el software Adulanço 3.1. Se visualiza cómo varía el CV% con respecto al ancho de trabajo bajo dos modalidades (Alternado y Continuo).

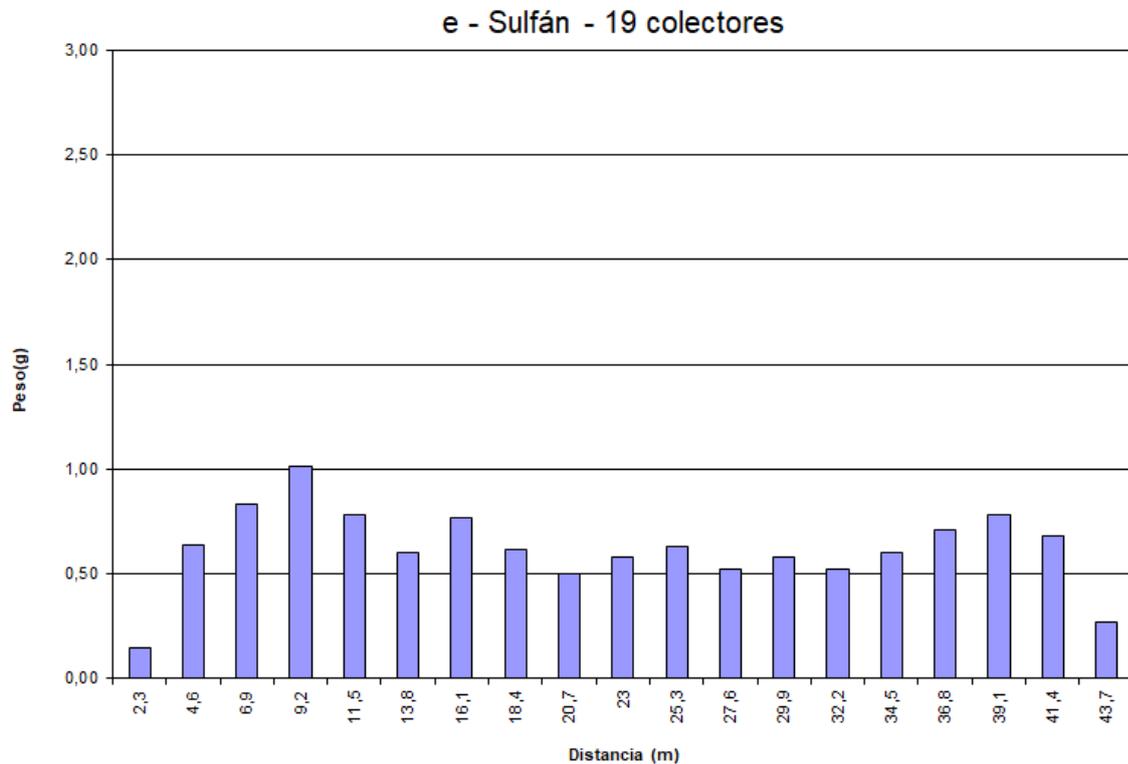
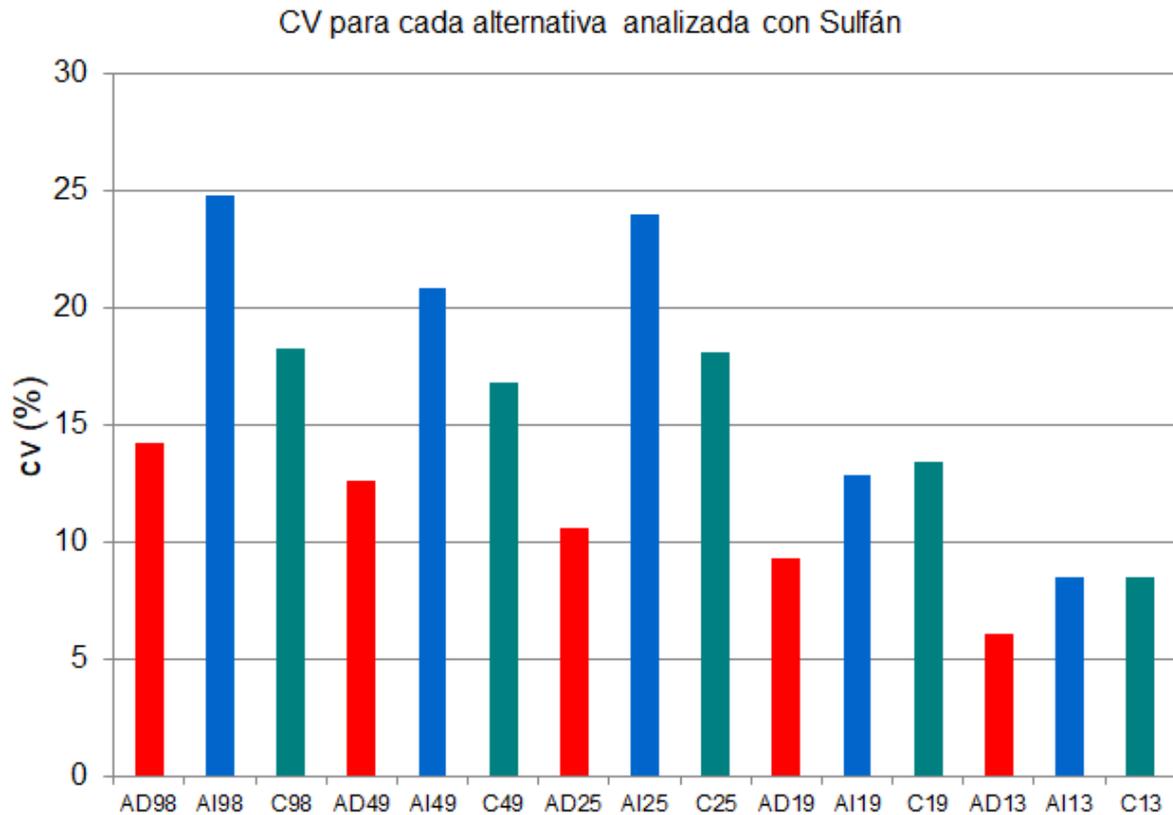


Figura N° 34 – Perfil de distribución del fertilizante Sulfán con 19 colectores calculado con el software Adulanço 3.1 donde se visualiza cómo varía la uniformidad de distribución del fertilizante.

### Comparación entre distancias

Comparando las 5 situaciones se confecciona el gráfico de la Figura N° 35. En el mismo se puede apreciar cómo disminuye el CV a medida que disminuye la cantidad de cajas consideradas para un ancho efectivo fijo de 22 m. Se puede apreciar que las formas de trabajo continua y alternada tienen el mismo comportamiento en las 5 situaciones evaluadas. En el último escenario se observa una caída drástica del CV, esto viene acompañado de la pérdida de ancho de trabajo hasta los 20 m. Sin embargo, si se analiza de manera detallada los datos relevados, las diferencias no son debidas a la cantidad de fertilizante recolectado ya que son similares, sino que pueden deberse a variabilidad en el tamaño de las partículas (Fulton et al., 2005), o inadecuada regulación de los órganos activos para aplicar tal producto (Thaper, 2014). En este sentido los aplicadores deben comprender las capacidades de sus equipos para entregar diferentes productos, dosis y las uniformidades logradas con las mismas, para seleccionar la configuración más adecuada y lograr de esa manera mayor uniformidad en la aplicación (Crozier y Roberson, 2014). Como en el caso anterior, el uso de 25 colectores distanciados a 2 m demuestra ser el más adecuado ya que no presenta variaciones comparadas con la totalidad de las cajas y se conserva el ancho efectivo de 22 m. También se recomienda hacer entre 6 a 9 pasajes para recolectar la suficiente cantidad de material y obtener un perfil de distribución lo más cercano a la realidad.



*Figura N° 35 – Coeficientes de variación (CV%) comparados para las 5 situaciones analizadas con Sulfán para un ancho efectivo de trabajo fijo de 22 metros y 20 metros en los dos últimos casos (13 y 19 colectores). Referencias: AD: alternado derecho; AI: alternado izquierdo; C: continuo. Considerando 98, 49, 25, 19 y 13 colectores en cada caso*

### Repeticiones

Para terminar, se procede a realizar el análisis de dispersión de los datos entre dos juegos de cajas paralelas como se observa en la Figura N° 36.

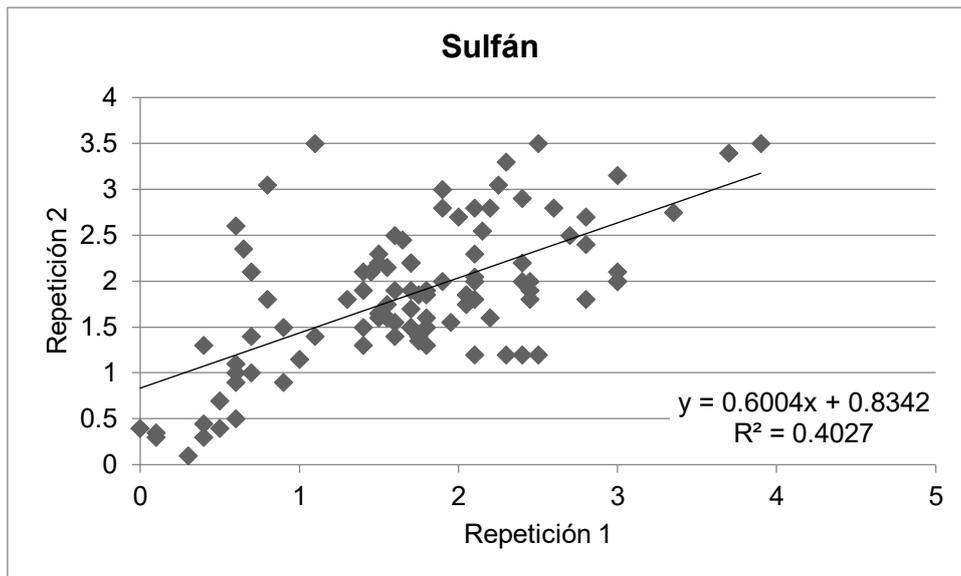


Figura N° 36.- Gráfico de dispersión de dos líneas de cajas paralelas para el ensayo de Sulfán.

Puede observarse la variación en el fertilizante recolectado entre las dos filas adyacentes al realizar 6 pasadas. En este caso el  $R^2$  es muy bajo arrojando un valor de 0,40 al igual que el encontrado con el Nitrodoble. La pendiente es similar, en el caso del Sulfán es de 0,60 y el Nitrodoble de 0,65. Los motivos de estos resultados encontrados son similares a los discutidos para la urea y el Sulfán en los apartados anteriores. La recomendación es hacer como mínimo 6 pasajes o un máximo de 9 (Yule y Lawrence, 2008), utilizar 25 colectores a una distancia de 2 m entre ellos para un ancho efectivo de 22 m. Siempre considerando las condiciones en las cuales se llevó a cabo el ensayo.

### **Comparación entre fertilizantes**

En los tres fertilizantes ensayados, se puede apreciar la variación inherente y relacionada con el número de cajas utilizadas y a la cantidad de material recogido en cada una de ellas. El objetivo es encontrar una configuración que produzca similares resultados a los obtenidos en las pruebas intensivas que usan un número significativo de colectores y con la menor variabilidad posible. En este sentido Hawken (2019) recomienda un mínimo de 20 colectores para no afectar

significativamente la precisión de la prueba, lo cual se ajusta a las recomendaciones efectuadas en los tres fertilizantes ensayados. Para las condiciones ensayadas en este caso se recomienda para la urea utilizar 39, para el Nitrodoble y el Sulfán 25 colectores para los anchos de trabajo definidos con el un CV que no supere el 20 %. Con respecto a la cantidad de cajas utilizadas, Yule y Lawrence (2008), probaron 10 configuraciones diferentes de bandejas en sentido transversal, para encontrar la más representativa, utilizando urea en una dosis de 100 kg ha<sup>-1</sup>. Cuatro de estas configuraciones son compatibles con las evaluadas en el presente trabajo. Estas utilizaron un total de 81, 41, 21 y 11 bandejas, con una distancia entre ellas de 0,5, 1, 2 y 4 m respectivamente, cubriendo un ancho efectivo de 40 m. Las demás configuraciones distan de las anteriores porque concentraron mayor cantidad de cajas en los +/- 5 m de la línea central de la fertilizadora. En nuestro caso esto es imposible de realizar, ya que el software solo es compatible para una distancia entre colectores definida. Esto fue descrito por Lawrence et al. (2006), remarcando que los métodos de prueba que tenían una cantidad suficiente de bandejas alrededor del centro del patrón de distribución describían el comportamiento de la fertilizadora con mayor exactitud. También el ancho efectivo de trabajo se ve influido por esta configuración, sin embargo, más allá de +/- 5 m de la bandeja central, la concentración tiene poco efecto. Todas las configuraciones ensayadas por Yule y Lawrence (2008) fueron comparadas con una de base, donde los 80 colectores se encuentran adyacentes entre sí, lo cual no es recomendado porque no existe el principio de “vecinismo” que menciona Jones et al. (2008). Wilson y Grafton (2019) reconocen que se han probado diversas alternativas para disminuir el número de cajas y se han alcanzado resultados satisfactorios con colectores distanciados a 1 m, comparados con las antiguas evaluaciones que lo hacían a 0,5 m, sin representar diferencias significativas.

Con respecto al número de pasadas, Yule y Lawrence (2008), encontraron con un 95 % de intervalo de confianza, que se deben realizar como mínimo 6 pasajes con la fertilizadora en el mismo sentido, hasta un máximo de 9 pasadas. De esta manera se reduce la variabilidad y permite la evolución del método para evaluar la calidad de aplicación de fertilizantes (Jones et al., 2008). En este caso, se recomienda tomar en cuenta lo dicho y encontrado por estos autores.

## **Conclusiones**

La reducción en el número de cajas para evaluar la uniformidad afecta el CV%, que es el principal parámetro de evaluación en la calidad de aplicación de fertilizantes. Pese a esto, las pequeñas variaciones que se observan y que son mayores o menores en función del fertilizante y el ancho efectivo final, pueden llevar a errores en cuanto a la decisión de trabajo que derivan en desuniformidades en la aplicación.

El número mínimo de cajas depende del tipo de fertilizante y del ancho de labor definido para cada uno de ellos. En este aspecto se debe tener en cuenta la granulometría que es el principal factor que incide en forma directa en el comportamiento de las partículas al salir proyectadas de los discos.

El material recogido en cada colector es variable en cada pasada. Esto debido a que la proyección del material es por pulsos y su distribución está sujeta al azar, acompañado también por las características granulométricas que influyen en este comportamiento.

## **Bibliografía**

**Aloe, J. y Toribio, M. 2008.** Aplicación de fertilizantes sólidos: Regulación de fertilizadoras. Profertil, Departamento de Investigación y Desarrollo. Informe Técnico N° 13. 8p.

**AMIS (Sistema de Información del Mercado Agrícola).** 2021. Market monitor. Noviembre 2021. N°. 93. 16p.

**ANFFE (Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes).** 2008. La importancia de los fertilizantes en una agricultura actual productiva y sostenible. 4p. Madrid, España.

**ASABE Standards.** 2009. S341.4: Procedure for measuring distribution uniformity and calibrating granular broadcast spreaders. St. Joseph, Mich.: ASABE.

**ASTM (American Society for Testing and Materials).** 2020. ASTM E-11-20 . Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves. 1p

**Balbuena R.** 2015. Calibración de fertilizadoras de proyección. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) UNLP. 17p

**Balbuena R., Mur M. y Palancar T.** 2015. Mecanización de la aplicación de fertilizantes y enmiendas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF). UNLP. 24p.

**BCR (Bolsa de Comercio de Rosario).** 2020. Mercado argentino de fertilizantes. Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/fertilizantes>

**Botta, G., Márquez, L y Dagostino, C.** 2001. Máquinas para la fertilización y abonos. En Botta G (ed) Máquinas: series de producción agrícola. 7:1-103

**Brondani L.B.** 2015. Desempenho de prototipos de disco para distribuição de ureia a lanço. (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 82p.

**Calzada J. y D´Angelo G.** 2021. Demandantes y exportadores de fertilizantes en el mundo. Informativo semanal. Bolsa de Comercio de Rosario. Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/print/pdf/node/86437>

**Campos, M., S. Campos Carlés, P. Garré, V. González Basteiro, F. Mayer, J. Micheloud, L. Pederiva, y N. Udaquiola.** 2012. Mercado de Fertilizantes. La Argentina y el mundo. AACREA. Buenos Aires.

**Carciochi, W.D. y Tourn, S.** 2016. Características de los fertilizantes y calibración de fertilizadoras. *Visión Rural*, 114: 21-27.

**Carciochi W. y Tourn S.** 2017. Características físicas de los fertilizantes y calibración de fertilizadoras. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 26: 1-10. Disponible en <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1310>

**Cerqueria De Luz, P.** 2010. Optimización de la Aplicación Enmiendas y Fertilizantes. *Informaciones Agronómicas*, 78:1-15.

**CIAFA (Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos).** 2020. Obtenido de: <http://www.ciafa.org.ar>

**Crozier, C.R. y Roberson, G.T.** 2014. Granular Fertilizer Spreader Swath Uniformity Achieved at Varying Target Application Rates. *Crop Management*, 13, 1-6.

**Decreto Nacional de la Ley 20466 sobre fertilizantes y abonos.** 1973. MAGyP. Decreto Nacional 4.830/73. Expediente N. 75.250/73. 23 de Mayo de 1973

**Duggan, A. E. M. T.** 2007. Calidad de fertilizantes: ¿Cuáles son las principales propiedades y atributos que determinan su valor agronómico? In *Simposio de Fertilidad* (pp. 1-12).

**Echeverría H.E. y García F.O.** 2015. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. 2ª ed. 904 p. Buenos Aires. Ediciones INTA.

**FAO.** 2015. Agricultura sostenible. Una herramienta para fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe. 48p. 2016. Disponible en: <https://www.fao.org/publications/card/es/c/51a8dd78-dc1c-43ce-a094-06230a7a7131/>

**FAO.** 2016. World fertilizer trends and outlook to 2019. Summary Report. Rome. Italy. 2016. Disponible en: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/7d56821a-49ed-4e96-9420-d381fc33da22/>

- Farret, I. S.** 2005. Efeito de variação da regulagem no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 89p.
- Farret, I. S., Schlosser, J. F., Durigon, R., Werner, V. y Knob, M.** 2008. Variação da regulagem no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos. *Ciência Rural, Santa Maria*, v.38, n.7, p.1886-1892.
- Fertilizar Asoc. Civil.** 2019. Estadísticas. Disponible en: <http://www.fertilizar.org.ar/>
- Fertilizer Manual.** 1998. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and International Fertilizer Development Center (IFDC). 615 p.
- Fulton, J.P., Shearer, S.A., Chabra, G. y Higgins, S.F.** 2001. Performance assessment and model development of a variable-rate, spinner-disc fertilizer applicator. *Transactions of the ASABE*, 44, 1071-1081.
- Fulton, J.P., Shearer S.A., Higgins S.F., Hancock D.W. y Stombaugh T.S.** 2005. Distribution pattern variability of granular VRT applicators. *Trans. ASABE* 48(6)2053–2063.
- Gallegos Cedillo, G.** 2019. Perspectivas del mercado mundial y nacional de los fertilizantes. Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Perspectivas-del-mercado-mundial-y-nacional-de-los-fertilizantes-l-20190313-0102.html>
- Ganascini D., Wunsch C. A., Suttor Bettio C., Renosto L. D. y Gurgacz F.** 2016. Avaliação de uniformidade do perfil transversal na aplicação de calcário com distribuidor à lanço em taxa variável. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2016. Rafain Palace Hotel & Convention Center- Foz do Iguaçu – PR - Brasil. 5p.
- Gavrilović, M., Dimitrijević, A., Radojičin, M., Mileusnić, Z. y Miodragović, R.** 2018. Effects of the application system on the physical and mechanical properties of mineral fertilizers. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 22(4), 180-183
- Gowariker V., Krishnamurthy V.N., Gowariker S., Dhanorkar M. y Paranjape K.** 2009. The fertilizer Encyclopedia. 625p. Editorial Wiley

- Grafton M.C.E., Yule I.J., Robertson B.G., Chok S.E. y Manning M.J.** 2015. Ballistic Modeling and Pattern Testing to Prevent Separation of New Zealand Fertiliser Products. *Applied Engineering in Agriculture*. 31(3): 405-413.
- Hachuy, L.** 2008. Desempenho de uma distribuidora a lanço com dois tipos de produtos aplicados em diferentes posições de aletas nos discos. 60p. Disertación (Maestría) -Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu.
- Hawken, K. J.** 2019. Test methods not yet covered by EN ISO 16122—micro granular applicators and slug pellet applicators. In *2019 ASABE Annual International Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Hofstee, J. W.** 1992. Handling and spreading of fertilizers: Part 2, physical properties of fertilizer, measuring methods and data. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 53, 141–162.
- ISO 5690-1 - International Organization for Standardization.** 1985. Equipment for distributing fertilizers: Test methods — Part 1: Full width fertilizer distributors. Gêneve, ISO. 5p
- ISO 565/3310-1 - International Organization for Standardization,** 1990. Test sieves — Metal wire cloth, perforated metal plate and electroformed sheet — Nominal sizes of openings. Gêneve, ISO. 24p
- Jones, J. R., Hayden, G. L. y Yule, I. J.** 2008. A statistical comparison of international fertiliser spreader test methods e confidence in bout width calculations. *Powder Technology*, 184, 337e351.
- Lawrence, H. G., Yule, I. J. y Jones, J. R.** 2006. A statistical analysis of international test methods used for analysing spreader performance. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 49(4), 451-463.
- Lopes, A. S. y Guilherme, L. R. G.** 1992. Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agronômicos. ANDA.
- Márquez, L.** 2011. La tecnología en abonadoras de proyección. Parte 2. Evaluación de las abonadoras en uniformidad de distribución. *Agrotécnica* 4:3-44.
- Martínez Peck, R.** 2007. Regulación de fertilizadoras a platillos. *Fertilizar*.7:18-22.

**Martínez Peck, R.** 2020. Aportes de la Agrónoma en la aplicación de fertilizantes. Ciclo de conferencias. Profertil. 2020.

**Melo J.M.** 2021. La suba de los fertilizantes reduce a mínimos históricos el poder adquisitivo de los granos. Fuente: Infobae. Disponible en: <https://www.infobae.com/economia/campo/2021/11/06/la-suba-de-los-fertilizantes-reduce-a-minimos-historicos-el-poder-adquisitivo-de-los-granos/>

**Milan, M. y Gadanha junior, C. D.** 1996. Ensaio & Certificação das máquinas para aplicação de adubos e corretivos. In: MIALHE, L. G. Máquinas agrícolas: Ensaio & Certificações. Piracicaba - SP: Fundação de Estudos Agrários Luis de Queirós. 722 p.

**Molin, J. P. y Ruiz, E. R. S.** 1999. Validação de métodos simplificados de determinação da largura efetiva para distribuidores de fertilizantes e corretivos a lanço. In *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola* (Vol. 28).

**Molin, J. P. y Menegatti, L. A.** 2003. Desempenho de distribuidora a lanço com doses variáveis de uréia. *Engenharia Agrícola*, 23(2), 290-299.

**Molin J.P.** 2009. Adulanço 3.0: montagem do teste de campo. Manual de uso passo a passo - Análise de resultados. Piracicaba, USP/ESALQ. 20p.

**Morsy, H.A., J. Paliwal, A. Abouelmagd, H. Hedia, y Z. Ismail.** 2012. Some properties of fertilizers in relation to particle motion in the hopper and on the distribution disc. 19th. Annual Conference of the Misr Soc. of Ag. Eng., 14-15 November, 2012. pp. 447-458.

**Ortiz-Cañavate, J. y Hernánz, J.L.** 1989. Técnica de la mecanización agraria. Madrid: Mundi-Prensa. 654p.

~~**Ortiz-Cañavate, J.** 2003. Las Máquinas Agrícolas y su Aplicación.6.ed. Madrid: MundiPrensa, 528p.~~

**Parish, R.** 2002. Granular Spreaders: Selection, Calibration, Testing and Use. American Society of Agricultural Engineers. 68p.

**Primo, M. A.** 2007. Coletores alternativos para a determinação da largura de trabalho de distribuidores de fertilizantes sólidos à lanço. Cascavel, Paraná, Brasil. 50p

- Primo, M. A., Gurgacz F., Primo L. I., Furlan F., Silva S.L. y Filho G. A.** 2008. Evaluation of alternative containers to determining the working width of fertilizer spreaders. *Engenharia Agrícola*. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 28, n. 3, p. 525-534. Available at: <<http://hdl.handle.net/11449/6117>>.
- Pussetto P.** 2020. La Argentina pierde rendimientos y empobrece su suelo por no fertilizar. PROFERTIL. Disponible en <https://www.profertil.com.ar>
- Reynaldo, É.F., Machado, T.M., Taubinger, L. y Quadros, D.D.** 2016. Distribuição de fertilizantes a lanço em função da qualidade do insumo. *Revista energia na Agricultura*. Vol. 31, n.1, p.24-30, janeiro, Brasil.
- Rodríguez, M. B. y Duggan, M. T.** 2012. Caracterización de los fertilizantes y su calidad agronómica. *Fertilización de Cultivos y Pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Capítulo, 1.*
- Rozas, H. S., Echeverría, H., y Angelini, H.** 2012. Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región Pampeana y ExtraPampeana argentina. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(1), 33-39.
- Sainz Rozas H.R., Eyherabide M., Larrea G., Martínez Cuesta N., Angelini H., Reussi Calvo N., y Wyngaard N.** 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. En: Simposio Fertilidad 2019. Fertilizar, Rosario, Mayo 2019.
- Salvagiotti, F. y G. Gerster.** 2003. Residualidad y fertilización directa con fósforo y azufre en soja de segunda. En: <http://www.cuencarural.com/agricultura/46525-residualidad-y-fertilizaciondirecta-con-fosforo-y-azufre-en-soja-de-segunda/>
- Salvagiotti, F., G. Gerster, S. Bacigaluppo, J. Castellarín, C. Galarza, N. González, V. Gudelj, O. Novello, H. Pedrol, y P. Vallone.** 2005. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. *Ciencia del Suelo* 22(2):92-101.
- Santos, F.C., Filho, M.R.A., Novais, R.F., Ferreira, G.B., Carvalho, M.C.S. y Filho, J.L.S.** 2012. Fontes, doses e formas de aplicação de fósforo para o algodoeiro no cerrado da Bahia. *Revista Ceres, Viçosa*, v. 59, p.537-543.

**Serrano, J.M., Peça, J.O. y Shahidian, S.** 2011. Evaluation of variable rate technology for fertilizer application in permanent pastures. *Journal of Agricultural Science and Technology*, v.1, p.489-499.

**Serrano, J., Peça, J., Silva, J. M. y Shahidian, S.** 2014. Aplicação de fertilizantes: tecnologia, eficiência energética e ambiente. *Revista de Ciências Agrárias*, v.37, p.270-279.

**Šima T., Nozdrovický L. y Krištof K.** 2011. Analysis of the work quality of the VICON RS-L fertilizer spreader with regard to application attributes. *Poljoprivredna tehnika*, vol. 36, 2011, pp. 1-11.

**Takara J.G. y Quequeto W.D.** 2014. Uniformidade de aplicação de um distribuidor centrífugo a taxa variada. Universidade Federal Da Grande Dourados, Mato Grosso Do Sul, Brasil. 2014.

**Thaper R. K.** 2014 Efect of vane shape and fertilizer product on spread uniformity using a dual-disc spinner spreader. M.Sc. Thesis. Graduate Faculty of Auburn University, Alabama, USA.

**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.

**Tourn, S. y Platz P.** 2019. Evaluación de desempeño jacto uniport 5030 npk con fertilizantes yarabela sulfan, yarabela nitrodoble y urea. Disponible en: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/evaluacion-desempeno-jacto-uniport-t44673.htm>

**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.

**Vázquez J. M.** 2019. Manejo sitio específico en la agricultura. Editorial Universidad Nacional de Luján (EDUNLu). Luján. 170 p.

**Vázquez M.** 2010. Calcio y magnesio del suelo. Dinámica en el suelo. Diagnóstico y fertilización. En: Fertilidad del suelo. Diagnóstico y manejo en la Región Pampeana.

Ed. Rubio G., Álvarez R., C. Álvarez y R. Lavado. FAUBA. Buenos Aires. Cap. 4: 371-394. 423 p.

**Vázquez M., Terminiello A., Casciani A., Millán G., Cánova D., Gelati P., Guilino F., Dorrnoro A., Nicora Z., Lamarche L. y García M.** 2012. Respuesta de la soja (*Glycine max*) a enmiendas básicas en suelos de las provincia de Buenos Aires y Santa Fe. Disponible en: Ciencia del suelo, ISSN 0326-3169, Vol. 30, Nº. 1, 2012, págs. 43-45

**Werner, V., Schlosser, J. F., Rozin, D., Pinheiro, E. D. y Dornelles, M. E.** 2007. Aplicação de fertilizantes a taxa variável em agricultura de precisão variando a velocidade de deslocamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(6), 658-663.

**Whitney, R. W., Roth, L. O. y Kuhlman, D. K.** 1987. Performance of selected granular collectors. *Transactions of the ASAE*, 30(2), 338-0342.

**Wilson, T.P. y Grafton, M.C.E.** 2019. Demonstrating the Compatibility of a New Spreadmark Test with the Current Method. In: Nutrient loss mitigations for compliance in agriculture. (Eds. L.D. Currie and C.L. Christensen). <http://flrc.massey.ac.nz/publications.html>. Occasional Report No. 32. Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North, New Zealand. 7p

**Yinyan, S., Man, C., Xiaochan, W., Odhiambo, M.O. y Weimin, D.,** 2018. Numerical simulation of spreading performance and distribution pattern of centrifugal variable rate fertilizer applicator based on DEM software. *Comput. Electron. Agric.* 144, 249–259. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.015>.

**Yule, I. J. y Lawrence, H. G.** 2008. Accuracy and Confidence Issues Around Broadcast Spreaders Transverse Pattern Testing Methods. In *2008 Providence, Rhode Island, June 29–July 2, 2008* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

**Zanetti, J. F.** 2018 Mantenimiento y regulación de fertilizadoras centrifugas. *Revista del Plan Agropecuario* N°166, p 68-72. Uruguay.