

# Reconstrucción de alta resolución de la distribución espacial de semillas

Natalia Iglesias<sup>a,b,\*</sup>, José L. Coronel<sup>a,b</sup>, Pilar Bulacio<sup>a,b</sup>, Elizabeth Tapia<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>CIFASIS-CONICET, Rosario, Argentina

<sup>b</sup>FCEIA-UNR, Rosario, Argentina

## Resumen

*La distancia entre semillas en las líneas de siembra afecta el rendimiento. Sin embargo, los sistemas actuales no toman en cuenta esta información cuando evalúan el rendimiento de los cultivos. Se analizan datos crudos de distribución longitudinal de semillas de maíz (*Zea mays* L.) almacenados en un conjunto de buffers asociados a sensores opto-electrónicos de semillas capaces de transmitir datos pre-procesados hacia una unidad central de proceso a través de una comunicación CAN bus. El intercambio de datos mencionado corresponde a un sistema de tiempo real, de bajo costo y de alta resolución para la medición de la distribución espacial de siembra. Con el propósito de minimizar el tráfico de red, se propone un proceso de compresión de datos basado en la transmisión de estadísticos. En este trabajo se muestra la existencia de estadísticos óptimos mediante los cuales puede lograrse un ahorro significativo de tráfico de red manteniendo niveles aceptables de distorsión en el proceso de reconstrucción de distribución espacial de siembra.*

## Abstract

*The distance between seeds in the seed lines affects performance. However, current systems do not take into account this information when evaluating the performance of crops. We analyze longitudinal raw spatial corn seed (*Zea mays* L.) data obtained with a number of buffer oriented opto-electronic seed sensors able to transmit pre-processed data to a central unit using a CAN bus communication facility. Described data exchange aims the real time, low-cost, high-resolution measurement of spatial seed distributions. Aiming to minimize the network traffic, and thus to extend the number of allowable sensors, we analyze the distortion arising from the transmission of just representative statistics of chunks of data. This paper shows the existence of optimal representative statistics whereby a significant saving in network traffic while keeping acceptable low distortion levels in the reconstruction process of the seed distribution*

## Palabras Clave

Agricultura de precisión, mapa de siembra, distribución longitudinal de semillas, sensor de alta resolución

## Introducción

El rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) no sólo se ve afectado por factores climáticos o de suelo sino también por factores relacionados con la maquinaria agrícola [1, 2, 3], donde la variación de Distancia entre Semillas (DeS) en el proceso de siembra afecta el rendimiento de la cosecha [4] y [5]. Por tal motivo resulta importante controlar y registrar la distribución de semillas durante la etapa de siembra a los fines de realizar una estimación correcta de su rendimiento y posterior desarrollo de estrategias de gestión en la aplicación de siembra variable [6]. En el mercado Argentino [7], se observa que los monitores de siembra disponibles dan información de densidad de siembra de baja resolución solo adecuada para cálculo de indicadores globales de rendimiento. A los efectos

---

### \* Datos de Contacto:

Natalia C. Iglesias. CIFASIS-CONICET. Av. 27 de Febrero 210bis. E-mail: iglesias@cifasis-conicet.gov.ar

de superar estas limitaciones, Coronel [8] propone el diseño de un sistema de alta resolución para la estimación de la densidad de siembra basado en el procesamiento distribuido a las líneas de siembra. Esta estrategia asegura un proceso de medición de la distribución espacial de semillas independiente de la cantidad de líneas de siembra. Esto no sucede en los sistemas actuales, del tipo secuencial, donde la calidad de la medición depende del número de líneas y el tiempo de muestreo de cada una de ellas. Ensayos de laboratorio [9] [10] indican que el sistema propuesto correlaciona en forma óptima la distribución de semillas medidas por el sensor con la distribución real de semillas.

En el sistema mencionado, la captura de la información del paso de semillas en cada uno de los sensores se procesa mediante un componente de software que cumple con requisitos en tiempo real. Esta característica abre la posibilidad de realizar un análisis estadístico detallado de la distribución longitudinal de las semillas mediante el cual se podrían estimar múltiples indicadores de proceso de siembra con alto grado de precisión, incluidos aquellos relacionados con la estimación de rendimientos.

El objetivo del presente trabajo es la constatación de la existencia de estadísticos óptimos representativos de la información recogida en los buffers de los sensores de un sistema distribuido para la medición de alta resolución de la distribución espacial de siembra a los fines de una reconstrucción precisa de mapas de siembra de maíz.

La hipótesis es que conocida la densidad de siembra, existe un valor medio de la DeS que se ve afectada por el funcionamiento intrínseco de la maquinaria agrícola, modificando la distribución teórica de la misma, del tipo normal. Esta alteración de la distribución de semillas torna poco precisa la reconstrucción de mapas de siembra a partir de estadísticos típicos de distribuciones normales (media y desviación estándar), lo cual sugiere que el uso de cuartiles podría dar lugar a reconstrucciones más precisas.

### **Elementos del Trabajo y Metodología**

Los datos fueron obtenidos a través de un ensayo realizado utilizando una unidad de siembra estática equipada con el sensor de alta resolución y una cinta plana móvil de tipo sinfin. La unidad de siembra estuvo compuesta por un dosificador de siembra neumático de presión positiva y un tubo de descarga recto de sección rectangular. El sensor se ubico en la posición media del tubo de descarga. Las determinaciones se efectuaron simulando velocidades de avance de la máquina equivalentes a 6 y 8 Km/h, estableciendo las vueltas por minuto de la placa dosificadora en función de una densidad de siembra de 5 semillas por metro lineal (1 semilla cada 200 mm). Las muestras de semilla de maíz empleadas correspondieron al híbrido AX924 R2. El tamaño de las muestras fue en todos los casos de 550 mediciones.

Los datos registrados fueron analizados (Fig. 5) a través de estadísticos representativos de la distribución en base a tres técnicas diferentes: i) media y desviación estándar, ii) media y desviación estándar de los datos filtrados según norma ISO 7256 [11] y, iii) cuartiles de la distribución. En el primer caso se calculó la DeS media efectiva promediando los valores de la separación entre semillas consecutivas medidas por el sensor y su correspondiente desviación estándar. En el segundo caso en base a la norma ISO 7256 se realizó primero una limpieza de los datos considerando como aceptables la DeS ubicadas en un rango entre 0,5 y 1,5 de la DeS teórica (200 mm para una densidad de siembra de 5 semillas por metro lineal) y luego se calculó la media y desviación estándar de DeS aceptables. En el último caso, se computó los cuartiles de la distribución de los datos de DeS en bruto. Para el análisis estadístico se simuló el pre-procesamiento de los buffers de los sensores y su

posterior reconstrucción. El proceso de reconstrucción asume una etapa de calibración destinada a su optimización. Las simulaciones se realizaron con el software estadístico “R” sobre una PC de escritorio.

Cada conjunto de datos correspondiente a cada velocidad de ensayo se fraccionó en lo que, de ahora en más, llamaremos buffer de un tamaño de 50 datos [12]. Sobre cada uno de estos buffers se calculó su valor mínimo, máximo, media, desviación estándar, primer y tercer cuartil, según correspondiese a cada una de las tres técnicas de representación empleadas. Estos estadísticos son transmitidos por los sensores a la unidad central de proceso. La reconstrucción de los datos se realizó tomando muestras aleatorias en base a límites establecidos por los estadísticos sobre una base de datos confeccionada durante la etapa de calibración del equipo. Para determinar la bondad de ajuste de la distribución original (producto de los datos sin procesar) y la distribución reconstruida se utilizó la prueba no-paramétrica de Kolmogórov-Smirnovs (KS) [13]. Esta prueba se realizó entre el conjunto completo de datos sin procesar y su reconstrucción a partir del ensamble de los buffers correspondientes reconstruidos.

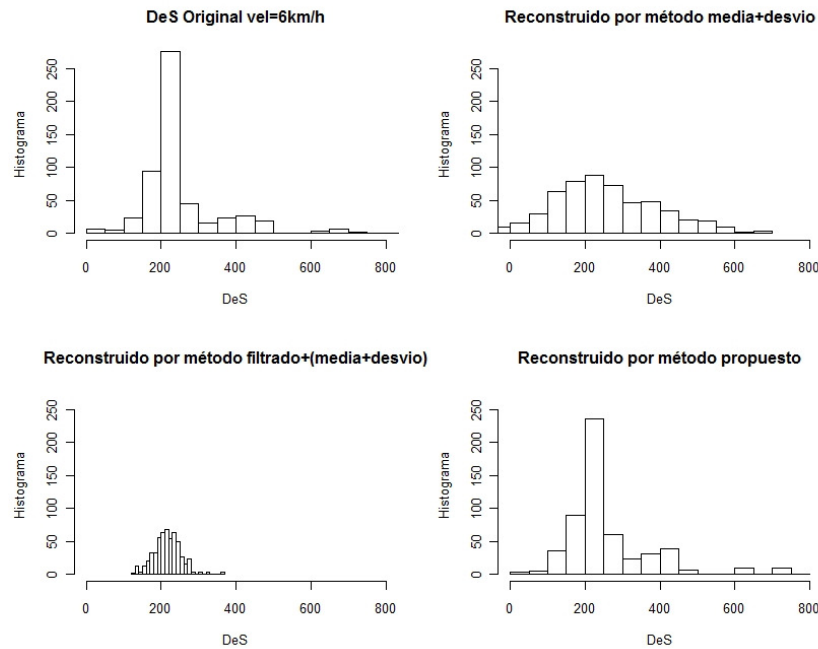
## Resultados

La Tabla 1 muestra los resultados de la prueba KS del contraste de los datos sobre un total de 1000 simulaciones para cada velocidad de siembra. Específicamente, se evaluó la hipótesis nula de que tanto los datos reconstruidos como los originales pertenecen a una misma distribución. Los valores de probabilidad (p-value) del test de KS indican que la hipótesis alternativa de distribuciones distintas sólo puede ser rechazada cuando la reconstrucción es realizada en base a cuartiles.

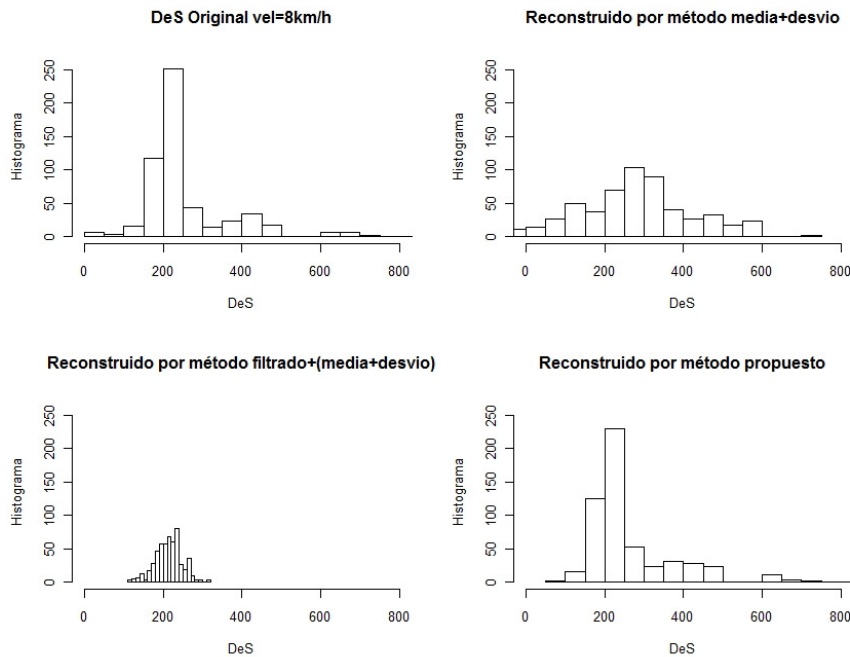
Velocidades	Prueba KS					
	Media y desvío		Filtrado + Media y desvío		Cuartiles	
	p-value	D	p-value	D	p-value	D
6km/h	0,0000	0,1764	0,0000	0,1618	0,9650	0,0302
8km/h	0,0000	0,1745	0,0000	0,1836	0,9558	0,0310

**Tabla 1: Resultados de la prueba KS del contraste de datos.** Se muestran los valores del estadístico D y su probabilidad de suceso obtenidos de la prueba KS para cada uno de los métodos analizados y ambas velocidades de siembra.

Para el análisis de los datos se definió la distorsión  $D$  entre pares de distribuciones (reconstruida y original) como la distancia máxima observada entre sus distribuciones acumuladas, es decir  $D=KS(\text{reconstruida}, \text{original})$ . Se estudio el comportamiento del proceso de reconstrucción de la distribución a partir de buffers de tamaño 50, observándose valores aceptables de los  $D$  con alto grado de significancia. En las Figs. 1 y 2 se muestran las graficas de las distribuciones originales y reconstruidas con cada técnica para velocidades de siembra de 6km/h y 8km/h respectivamente, confirmando los resultados mostrados en la Tabla 1. En las Figs. 3 y 4 se observa la distribución longitudinal de semillas en una línea de siembra para cada velocidad. A mayor velocidad de siembra se obtiene mayor distorsión en la reconstrucción de la distribución espacial.



**Fig. 1: Distribución del DeS para una velocidad de siembra de 6km/h.** Las gráficas muestran los histogramas correspondiente a la distribución del DeS para la muestra de datos original completa y su reconstrucción en base a cada a cada técnica. La mejor reconstrucción se logra con el método propuesto en base a los cuartiles de la distribución.



**Fig. 2: Distribución del DeS para una velocidad de siembra de 8km/h.** Las gráficas muestran los histogramas correspondiente a la distribución del DeS para la muestra de datos original completa (550 datos) y su reconstrucción en base a cada a cada técnica. La mejor reconstrucción se logra con el método propuesto en base a los cuartiles de la distribución.

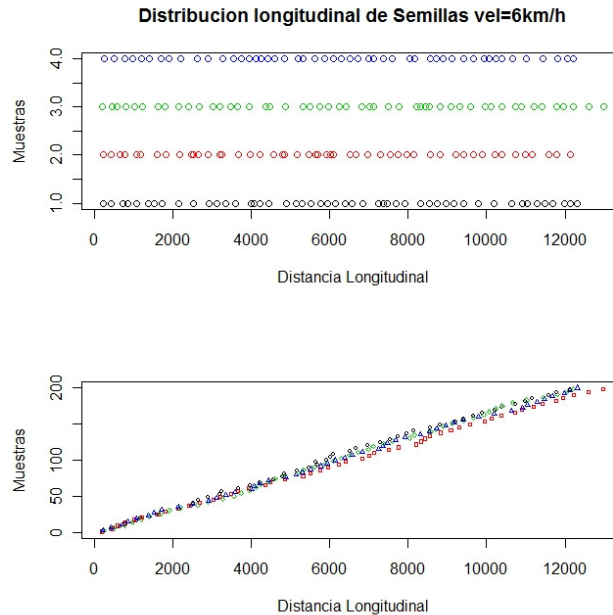
El análisis de datos con semillas y tasa de siembra típica, muestran que la reconstrucción de la distribución espacial de siembra en base a los cuartiles de la distribución es una técnica viable y de bajo costo para un sistema de sensado en tiempo real, mediante la cual se logra un ahorro significativo de tráfico de red, ya que se transmiten 4 datos estadísticos obtenidos sobre el pre-procesamiento de los 50 datos almacenados en el buffer, manteniendo niveles aceptables de baja distorsión (0.03 en una escala de 0 a 1).

## Discusión

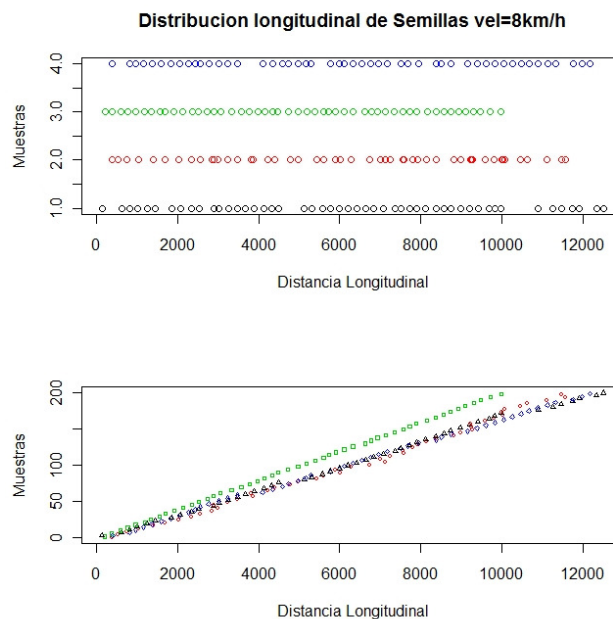
Si bien, la reconstrucción de la distribución espacial de siembra en base a los cuartiles de la distribución, mantiene niveles aceptables de baja distorsión, se busca lograr distorsión cero. Como trabajo futuro se plantea la evaluación de otros parámetros estadísticos a transmitir como medias y desviaciones estándar tras analizar si es viable representar la DeS como una distribución normal multimodal.

## Referencias

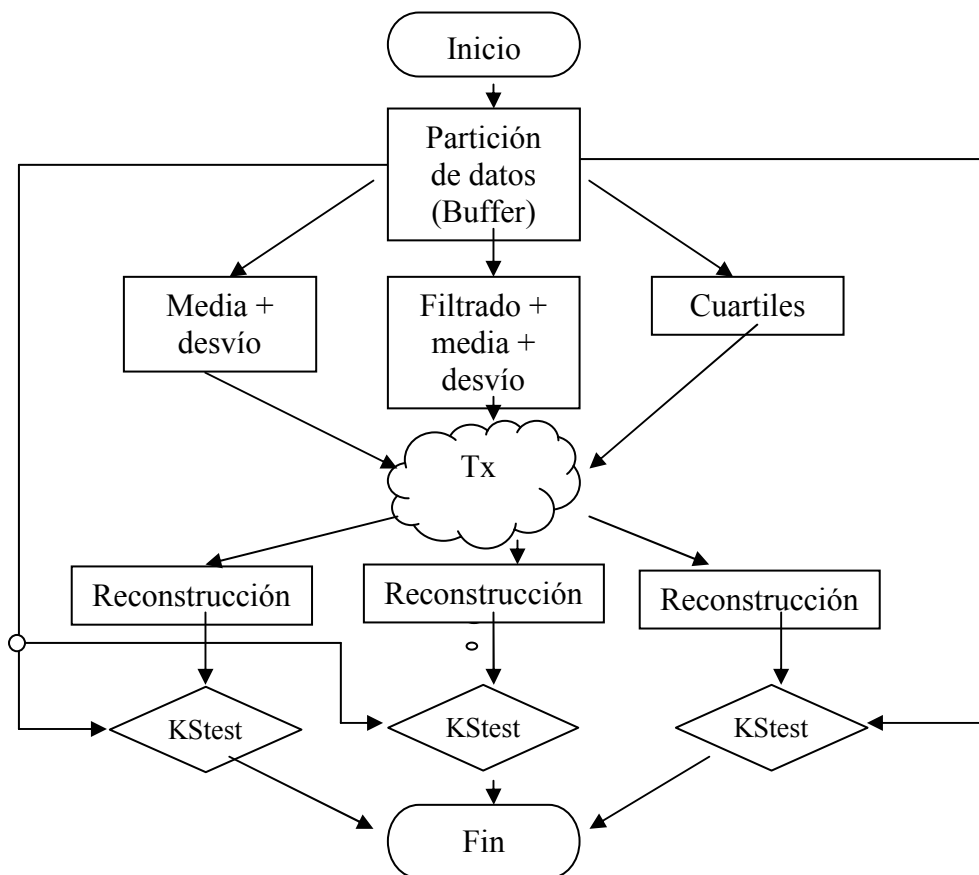
- [1] OZMERZI, A., 1986. *Seed distribution performance of the furrow openers used on the drill machines*. AMA Farm Mach. 1986. Ind. Res. Corp. 17 (2), 32–35.
- [2] OZMERZI, A., KARAYEL, D., 1999. *The effect of the tooth harrow covers of the grain seeders on seed distribution in soil*. J. Univ. Akdeniz, Faculty Agricult. 11, 75–79.
- [3] OZMERZI, A., KARAYEL, D., TOPAKCI, M., 2002. *Effect of sowing depth on precision seeder uniformity*. Biosyst. Eng. 2002. 82 (2), 227–230.
- [4] NIELSEN, R. L. *Effect of Plant Spacing Variability on Corn Grain Yield, Tech. Rep.*, Purdue Univ. Agronomy Dept., [www.agry.purdue.edu/ext/corn/research/psv/Report2005.pdf](http://www.agry.purdue.edu/ext/corn/research/psv/Report2005.pdf) 2006
- [5] BRAGACHINI, M.; VON MARTINI, A.; MÉNDEZ, A.; PACIONI, F.; ALFARO, M. *Siembra de maíz, eficiencia de implantación y su efecto sobre la producción de grano Agricultura de Precisión*. 3er Taller de Agricultura de Precisión del Cono Sur. PROCISUR. 2002.
- [6] SCHUELLER, J.K. *A Agricultura de precisão: visão externa. O estado-da-arte da agricultura de Precisão nos Estados Unidos*. In: Balastreire, L. A. *O estudo da arte da agricultura de precisão no Brasil*. ESAQ-USP. Piracicaba, 2000. p. 8-16.
- [7] BRAGACHINI, M.; MÉNDEZ, A.; SCARAMUZZA, F. *Innovación y Tendencias en Agricultura de Precisión*. Proyecto A.P. - INTA Manfredi. 2005 <http://www.agriculturadeprecision.org>
- [8] CORONEL J., TAPIA E., NARDÓN G. 2006. *Sensores de Densidad de Siembra Inteligentes*. VII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola (CLIA). V Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola (CIACH). 2006. Chillán. Chile.
- [9] CORONEL, J.; ORNELLA, L.; NARDÓN, G.; TAPIA, E. 2008. *Estimating the spatial seed distribution using seed sensors with embedded microprocessors: A correlation study*. International Conference of Agricultural Engineering (ICAE). XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, CIGR, ASABE, SBEA, Iguassu Falls City, Parana, Brazil, 2008.
- [10] CORONEL, J.; ORNELLA, L.; BULACIO, P., NARDÓN, G.; TAPIA, E. 2010. *Testing of an opto-electronic sensor for the high-throughput measurement of seed spatial distributions*. Journal of Latin American Applied Research.
- [11] International Organization for Standardization. 1984. Sowing equipment – Test methods – Part 1: Single seed drills (precision drills), 7256/1.
- [12] CORONEL, J.; IGLESIAS N. C., TAPIA, E. 2010. Tasa de muestreo óptima en medición de alta resolución de distribución espacial de semillas. IX Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA 2010. XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2010. 25 al 29 de julio de 2010 - Vitória - ES, Brasil
- [13] SHESKIN, D. *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*. CHAPMAN & HALL/CRC. Ed. 3 - 2004 - 1193 páginas.



**Fig. 3: Distribución longitudinal de semillas a 6km/h.** La grafica superior muestra la distribución longitudinal de semillas provenientes de un buffers de 50 datos, la muestra 1 es la distribución original (negro), la muestra 2 es la reconstruida en base a media/desví (rojo), la muestra 3 es la reconstruida en base a filtrado + media/desví (verde) y la muestra 4 es la reconstruida en base a los cuartiles de la distribución (azul). La grafica inferior muestra la dispersión de cada semilla para cada método ( $\Delta$  original,  $\circ$  media/desví,  $\square$  filtrado + media/desví,  $\diamond$  cuartiles).



**Fig. 4: Distribución longitudinal de semillas a 8km/h.** La grafica superior muestra la distribución longitudinal de semillas provenientes de un buffers de 50 datos, la muestra 1 es la distribución original (negro), la muestra 2 es la reconstruida en base a media/desví (rojo), la muestra 3 es la reconstruida en base a filtrado + media/desví (verde) y la muestra 4 es la reconstruida en base a los cuartiles de la distribución. La grafica inferior muestra la dispersión de cada semilla para cada método ( $\Delta$  original,  $\circ$  media/desví,  $\square$  filtrado + media/desví,  $\diamond$  cuartiles).



**Fig. 5: Diagrama de flujo del proceso de análisis de datos.** En esta primera instancia se simuló el procesado de datos sobre una PC de escritorio utilizando el software estadístico “R”. De los resultados obtenidos a partir de esta simulación se prevé en una próxima instancia la implementación de la reconstrucción de la distribución espacial de siembra en base a los cuartiles de la distribución basado en el protocolo de comunicación de datos estándar ISO 11783.