

# Evaluación de la respuesta del controlador John Deere modelo SeedStar II frente a diferentes exigencias en el cambio de densidades de siembra

Juan D'Amico<sup>2,3</sup> / Facundo Moreno<sup>2</sup> / Ángel Romito<sup>1</sup> / Mario O. Tesouro<sup>1</sup> / Marcos Roba<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos - IIR - CIA - CNIA

<sup>2</sup> Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales - UNNOBA

<sup>3</sup> Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi

Informe Técnico N° 23  
Noviembre 2014



## Ediciones

Instituto Nacional de  
Tecnología Agropecuaria



Informe Técnico Nº 23

ISSN 1852-3080

Noviembre 2014

Evaluación de la respuesta del controlador John Deere modelo SeedStar II frente a diferentes exigencias en el cambio de densidades de siembra

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Instituto de Ingeniería Rural

Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos

Editor responsable: Ing. Agr. Mario Omar Tesouro

Av. Pedro Díaz 1798  
Hurlingham - Buenos Aires - Argentina  
C.C. 25 B1712 JHB Castelar  
Tel/fax 4665-0495

[iir.cd@inta.gob.ar](mailto:iir.cd@inta.gob.ar)  
[www.inta.gob.ar/unidades/222000](http://www.inta.gob.ar/unidades/222000)

## ÍNDICE GENERAL

Resumen	2
1. Introducción	3
2. Materiales y Métodos	4
3. Resultados y Discusión	8
4. Consideraciones Finales	22
5. Bibliografía	23

## **EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CONTROLADOR JOHN DEERE MODELO SEEDSTAR II FRENTE A DIFERENTES EXIGENCIAS EN EL CAMBIO DE DENSIDADES DE SIEMBRA**

### **RESUMEN:**

La Tecnología de Dosificación Variable (VRT) posibilita realizar los cambios de dosis y densidades en tiempo real siguiendo prescripciones o recomendaciones que son introducidas previamente en monitores de máquinas inteligentes.

Los objetivos del ensayo fueron: Determinar la influencia que tiene la magnitud en el cambio de densidad de siembra sobre la distancia recorrida por la sembradora mientras el controlador adecua la dosis a la nueva prescripción.

Establecer el patrón de comportamiento para las variaciones de dosis establecidas y comprobar la linealidad o gradualidad del cambio entre los valores extremos de dosis inicial y final.

El cultivo de maíz comercial se implantó mediante la técnica de siembra directa. La sembradora, equipada con un controlador de siembra SeedStar II y sistema de dosificación neumático por succión, recorrió los lotes entregando una dosis preestablecida. La velocidad de trabajo fue de  $6,5 \text{ km h}^{-1}$ .

Se evaluaron tres variaciones en la dosis de siembra en ambos sentidos de avance. Las densidades fueron  $120.000 \text{ pl ha}^{-1}$ ,  $60.000 \text{ pl ha}^{-1}$  y  $40.000 \text{ pl ha}^{-1}$ .

La distancia comprendida entre la dosis inicial y final fue independiente de las magnitudes de cambios y el sentido del mismo, otorgando esta prestación una gran capacidad de adaptación a diferentes situaciones. El equipo evaluado presentó una gran capacidad de adecuación a la dosis de semilla y una gradualidad prácticamente lineal para efectuar los cambios prescritos.

## 1. INTRODUCCION

La idea fundamental en que se basa la agricultura de precisión es aplicar los insumos en cantidades que se puedan aprovechar en su totalidad y que cada área del lote exprese el máximo potencial económicamente posible.

El manejo de sitio-específico tiene como objetivo equilibrar los insumos agrícolas como semillas, fertilizantes y herbicidas (Jafari et al., 2010). El contenido de humedad y la fertilidad son las variables más importantes del campo, cuyas variaciones afectan a la densidad de siembra óptima en el campo (Taylor et al., 2007).

La Tecnología de Dosificación Variable (VRT) posibilita realizar los cambios de dosis y densidades en tiempo real siguiendo prescripciones o recomendaciones que son introducidas previamente en monitores de máquinas inteligentes.

Los monitores-navegadores son los que leen la prescripción y transmiten esa lectura a los controladores que son los que generan que los actuadores produzcan los cambios de régimen de giro para así dosificar más o menos insumos según lo que necesite el sitio del lote.

Según Bahri (1995) el cambio de dosis de aplicación mientras la sembradora transita por el campo depende de la respuesta dinámica del controlador. En este sentido, la velocidad de respuesta del mencionado dispositivo será un aspecto relevante dado que, cuanto menor sea el periodo de tiempo que transcurra desde que el dosificador inicia un cambio de dosis hasta que finaliza con el mismo, menor será la superficie sembrada a dosis de transición entre las prescritas para un sitio y otro del lote. Esta capacidad de reacción del sistema es crítica, no sólo ante cambios de dosis sino también ante variaciones en la velocidad de avance de la sembradora (Riccia et al., 2007). Por su parte, Jafari et al. (2010) afirman que además de la velocidad de respuesta es importante establecer el patrón de variación que tiene este cambio de manera de poder predecir la dosis de semilla en cada situación.

El conocimiento de estos factores no es tan común entre los usuarios de la tecnología, lo cual se debe en gran medida a la falta de divulgación de resultados obtenidos en estudios

de validación de dispositivos controladores realizados mayormente por empresas privadas.

Los objetivos del ensayo fueron: Determinar la influencia que tiene la magnitud en el cambio de densidad de siembra sobre la distancia recorrida por la sembradora mientras el controlador adecua la dosis a la nueva prescripción.

Establecer el patrón de comportamiento para las variaciones de dosis establecidas y comprobar la linealidad o gradualidad del cambio entre los valores extremos de dosis inicial y final.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

La experiencia se llevó a cabo en la estancia “El Consuelo” ubicada en la localidad de Vicuña Mackenna (33° 54' 56" S; 64° 23' 23" O) en la provincia de Córdoba.

La labor se realizó con una sembradora marca *John Deere* modelo DB 66 equipada con un controlador de siembra SeedStar II y sistema de dosificación neumático por succión. Traccionada por un tractor marca *John Deere* 8430R. La velocidad de trabajo fue de 6,5 km h<sup>-1</sup>.

El equipamiento se completa con el sistema de gestión espacial *Green Star 2* marca *John Deere*. Este sistema permite realizar la variación de dosis mediante la acción de un comando manual o de manera automática mediante una prescripción ingresada previamente al controlador conjuntamente con la georreferencia.

El cultivo de maíz comercial se implantó mediante la técnica de siembra directa. La sembradora recorrió los lotes entregando una dosis preestablecida. Al llegar a un punto determinado, señalado por estacas, el operador generaba manualmente un cambio de dosis sin interrumpir el avance del equipo. Los cambios se efectuaron manualmente para evitar introducir en el error experimental del ensayo las variaciones o errores de posicionamiento que pudiera tener el sistema y cuya cuantificación excede el alcance de la experiencia.



**Figura 1:** Vista panorámica del equipo trabajando

Se evaluaron tres variaciones en la dosis de siembra en ambos sentidos de avance, es decir cambios crecientes y decrecientes para cada magnitud de variación en la dosis. Las densidades fueron  $120.000 \text{ pl ha}^{-1}$ ,  $60.000 \text{ pl ha}^{-1}$  y  $40.000 \text{ pl ha}^{-1}$ . Para cada uno de estos seis tratamientos se realizaron tres repeticiones y en cada una de éstas se analizaron tres líneas de siembra.

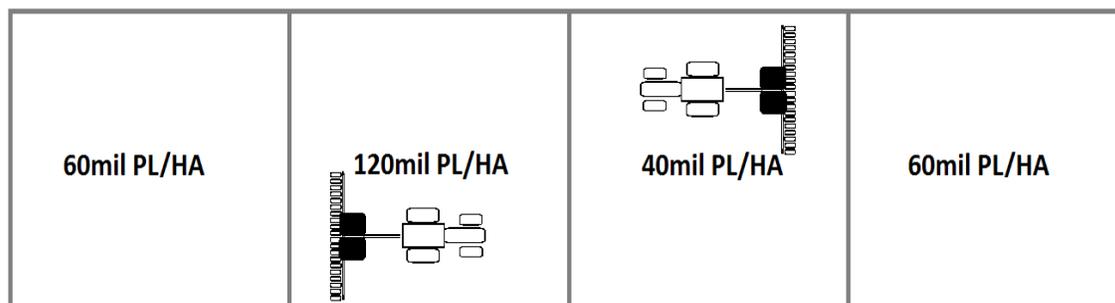
**Tabla 1:** Tratamientos

Tratamiento	Densidad Inicial	Densidad Final	Denominación	Abreviatura
1	40	60	Cambio 1 Ascendente	C1A
2	60	40	Cambio 1 Descendente	C1D
3	60	120	Cambio 2 Ascendente	C2A
4	120	60	Cambio 2 Descendente	C2D
5	40	120	Cambio 3 Ascendente	C3A
6	120	40	Cambio 3 Descendente	C3D

miles de plantas/hectárea

El ensayo se delimitó con estacas estableciéndose cuatro cuadros consecutivos de siembra, de 150 metros de lado. A cada cuadro se le asignó una densidad: a los extremos,

60.000 pl ha<sup>-1</sup> y a los dos centrales, 120.000 pl ha<sup>-1</sup> y 40.000 pl ha<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 2). De esta manera quedaron demarcadas las tres variaciones analizadas. El tránsito en sentido alternativo sobre las parcelas permitió realizar los cambios ascendentes y descendentes quedando así establecidos los seis tratamientos.



**Figura 2:** Esquema del ensayo con las disposiciones de las densidades y sentido de tránsito.

Una vez determinada la plena emergencia del cultivo se efectuaron las mediciones. La metodología para la evaluación del dispositivo se basa en el registro de los distanciamientos entre plantas observados a partir de un punto determinado. Similar metodología fue empleada por Fulton et al. (2001) y Jafari et al. (2010) para evaluar las variaciones de diferentes equipos de agricultura de precisión. En este caso, las mediciones se realizaron desde los 5 metros anteriores a la marca correspondiente al cambio de dosis hasta un rango que varió entre los 12 y 20 metros, dependiendo de la cantidad de datos relevados.

Las mediciones se hicieron con una cinta métrica registrando en una planilla el valor acumulado de la medición y luego por la diferencia entre mediciones se calculó el distanciamiento entre plantas y la densidad poblacional.



**Figura 3:** Mediciones de distanciamiento en el cultivo

Para cada tratamiento se realizaron dos análisis. El primero de ellos se centró en determinar el tamaño en metros longitudinales de surco que presentó la zona de transición de dosis. El segundo análisis correspondió a la determinación de un patrón de variación de la dosis instantánea de semilla dentro de la zona de transición definida previamente.

En el primer análisis, se dividió al surco en diferentes segmentos de manera que la densidad poblacional fuera una variable discreta. El primer segmento correspondió a los 5 metros de surcos anteriores a la marca de cambio de dosis. A partir de la mencionada marca, siguiendo el sentido de avance, se delimitaron segmentos de un metro de surco en toda la longitud del surco restante.

Se realizaron comparaciones entre los valores medios que la densidad alcanzó en cada segmento mediante un análisis de varianza (ANVA) empleando el test de Tukey con un nivel de significación del 5%. También se realizaron comprobaciones de medias respecto de los valores de densidad teórica inicial o final mediante el método “t” de Student.

Una vez definida la zona de transición de la dosis, se efectuó el segundo análisis mediante la prueba de diferentes ecuaciones lineales. En todos los casos, la variable independiente fue la distancia desde la marca de cambio de dosis y la variable dependiente la densidad instantánea

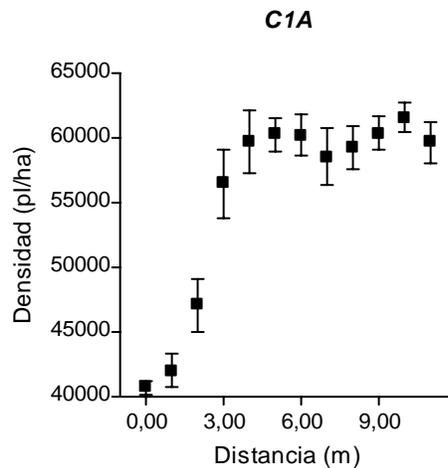
como variable continua. El criterio para la selección del modelo matemático de mejor ajuste se basó en la significancia estadística de la regresión, el valor alcanzado por el coeficiente de determinación y la simplicidad de la ecuación.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Cambio 1 Ascendente - C1A

La densidad inicial cuantificada en los 5 metros de surco previos a la marca de cambio de dosis de siembra fue de 40598,72 pl ha<sup>-1</sup>. Este valor no coincidió con la densidad teórica prescrita ( $t=2,2$ ;  $p=0,0311$ ) pese a que sólo difirió en un 1,5%.

Considerando las densidades poblacionales obtenidas con posterioridad al inicio de cambio de dosis para segmentos de surco de un metro la figura 4 muestra las variaciones que presenta este parámetro.



**Figura 4:** Distribución de la población en función de la distancia. Cambio ascendente 1.

La comparación de las medias alcanzadas en cada sector mediante un ANVA muestra que en el primer segmento la densidad es mayor a la inicial pero no difiere estadísticamente de la observada en el sector previo al cambio de dosis.

A partir del segundo metro de surco se observa una mayor diferencia que cobra significancia estadística. Las modificaciones en la densidad se registran hasta el cuarto segmento donde la dosis se estabiliza y mantienen igualdad en el resto de las observaciones.

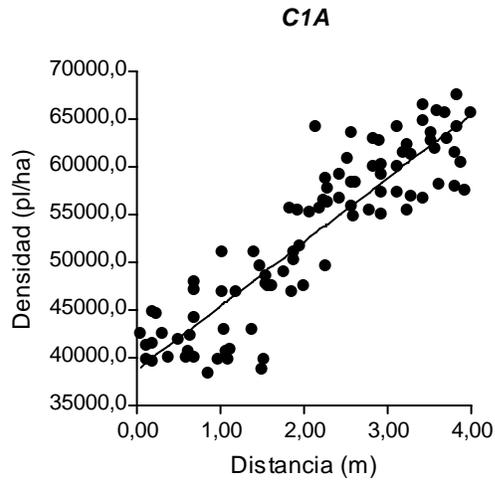
Las densidades registradas a partir del cuarto metro de surco y a lo largo de todo el espacio de muestro se mantuvieron estadísticamente iguales a la dosis teórica final de 60000 pl ha<sup>-1</sup> con excepción del décimo metro que mostró una densidad algo superior.

**Tabla 2:** Densidad media por segmento y grado de significancia. Cambio ascendente 1.

<b>Distancia</b>	<b>Densidad (pl ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
<b>0</b>	40598,72	A
<b>1</b>	42038,32	A
<b>2</b>	47073,83	B
<b>3</b>	56467,19	C
<b>4</b>	59745,67	C D
<b>5</b>	60233,76	C D
<b>6</b>	60205,04	C D
<b>7</b>	58543,88	C D
<b>8</b>	59253	C D
<b>9</b>	60377,67	C D
<b>10</b>	61576,26	D
<b>11</b>	59655,76	C D
<b>Dms = 3549,59; p&lt;0,0001</b>		

Para la zona de transición entre la dosis inicial y la final establecida entre el primer y el cuarto metro de surco posterior al inicio de cambio de dosis se estableció el patrón de variación mediante regresión.

Considerando las densidades registradas en las tres repeticiones y la distancia como variable independiente, el modelo lineal simple presentó el mejor grado de ajuste.



**Figura 5:** Respuesta de la densidad a las variaciones de distancia. Densidad = 38733,12 + 6687,36 Distancia. Coeficiente de determinación,  $R^2$ : 0,80.

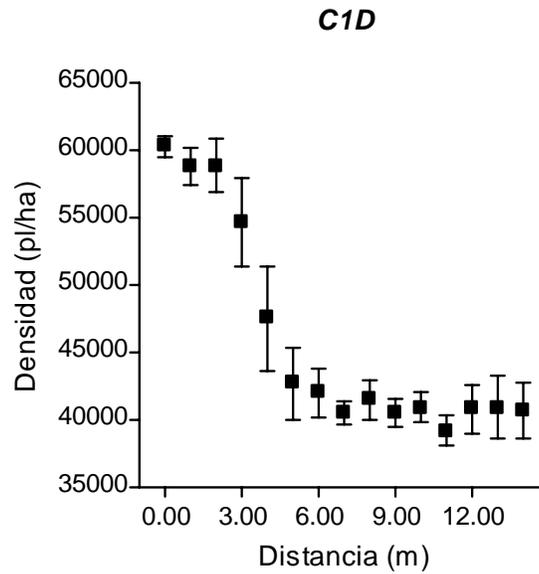
**Tabla 3:** Principales resultados de la regresión entre la Densidad Poblacional y Distancia  $R^2$ : Coeficiente de determinación; b y Cte: Estimadores de los parámetros de la regresión.

Variable Independiente	$R^2$	b	Cte.	F Pr>F
Distancia	0,80	6687,36	38733,12	75,36 p<0,0001

Como surge de la tabla 3, el patrón lineal permite explicar el 80% de la variabilidad y una tasa de variación que marca un incremento cercano a las 6700 pl ha<sup>-1</sup> por cada metro de distancia recorrido por el equipo con posterioridad al inicio del cambio de dosis.

### 3.2. Cambio 1 Descendente - C1D

La densidad inicial efectiva registrada en el espació previo al cambio de dosis fue de 60266,08 pl ha<sup>-1</sup> y no mostró diferencias de significancia estadística con la dosis prescrita de 60.000 pl ha<sup>-1</sup>.



**Figura 6:** Distribución de la población en función de la distancia. Cambio descendente 1.

Comparando las densidades medias obtenidas en los segmentos de surco posteriores a la marca de cambio de dosis, puede apreciarse que la variación de la densidad de siembra se inicia de inmediato. Los grupos homogéneos conformados al comparar las medias registradas en cada segmento de un metro de longitud mediante un ANVA dan cuenta de una gradualidad en la modificación de la densidad de siembra que se inicia en el primer segmento y continúa hasta los 5 metros. A partir de esa distancia la densidad se estabiliza en valores estadísticamente iguales entre sí y sin diferencias de relevancia agronómica respecto de la dosis final prescrita de 40.000 pl ha<sup>-1</sup>.

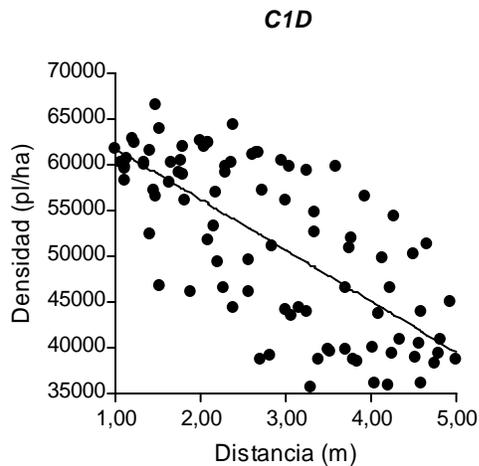
**Tabla 4:** Densidad media por segmento y grado de significancia. Cambio Descendente 1

<b>Distancia</b>	<b>Densidad (pl ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
<b>0</b>	60266,08	A
<b>1</b>	58847,33	AB
<b>2</b>	58866,00	AB
<b>3</b>	54621,52	B
<b>4</b>	47542,95	C
<b>5</b>	42675,16	D
<b>6</b>	41986,75	D
<b>7</b>	40523,45	D
<b>8</b>	41484,28	D
<b>9</b>	40518,05	D
<b>10</b>	40913,17	D
<b>11</b>	39189,77	D
<b>12</b>	40808,92	D
<b>13</b>	40947,55	D
<b>14</b>	40617,08	D
<b>Dms = 4785,81; p&lt;0,0001</b>		

Las variaciones de dosis en la zona de transición comprendida en los 5 metros inmediatamente posteriores al inicio del cambio, se ajustaron a un modelo lineal simple (Tabla 5).

**Tabla 5:** Principales resultados de la regresión entre la Densidad Poblacional y Distancia R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación; b y Cte: Estimadores de los parámetros de la regresión.

<b>Variable Independiente</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>b</b>	<b>Cte.</b>	<b>F Pr&gt;F</b>
Distancia	0,50	-4333,58	63199,36	113,98 p<0,0001

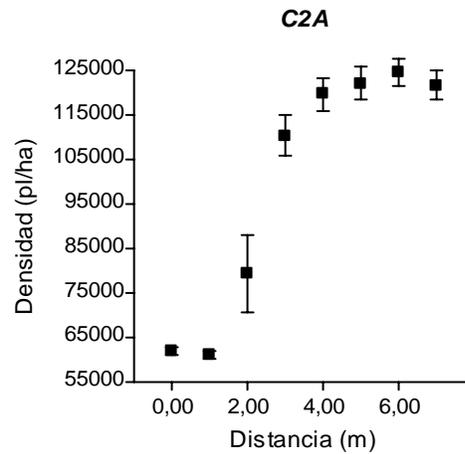


**Figura 7:** Respuesta de la densidad a las variaciones de distancia. Densidad = 63199,36 -4333,58 Distancia. Coeficiente de determinación,  $R^2$ : 0,50.

Tanto el cambio ascendente como descendente de dosis entre las 40.000 pl ha<sup>-1</sup> y las 60.000 pl ha<sup>-1</sup> se produjo de manera lineal demandando una distancia no mayor a los 5 metros. Considerando una velocidad de avance de 6,5 km h<sup>-1</sup>, el tiempo necesario para que el dispositivo efectivice el cambio de dosis es de aproximadamente 2,8 segundos.

### 3.3. Cambio 2 Ascendente - C2A

La densidad de siembra inicial registrada en este tratamiento fue de 61983,34 pl ha<sup>-1</sup>. Este valor se diferenció estadísticamente de la dosis prescrita ( $t=170$ ;  $p<0,0001$ ) aunque en términos relativos esa diferencia fue de aproximadamente un 3%.



**Figura 8:** Densidad media por segmento y grado de significancia. Cambio ascendente 2.

La comparación de las densidades medias registradas en cada segmento de surco presentada en la tabla 6 evidencia que la variación de dosis se inicia luego del primer metro posterior al inicio del cambio y se prolonga por tres metros. A partir de esa distancia la densidad observada no presenta variaciones de significancia estadística.

**Tabla 6:** Densidad media por segmento y grado de significancia. Cambio ascendente 2

<b>Distancia</b>	<b>Densidad (pl ha-1)</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
<b>0</b>	61983,34	A
<b>1</b>	61068,97	A
<b>2</b>	79326,48	B
<b>3</b>	110430,20	C
<b>4</b>	119715,10	D
<b>5</b>	122173,60	D
<b>6</b>	124436,80	D
<b>7</b>	121573,60	D

---

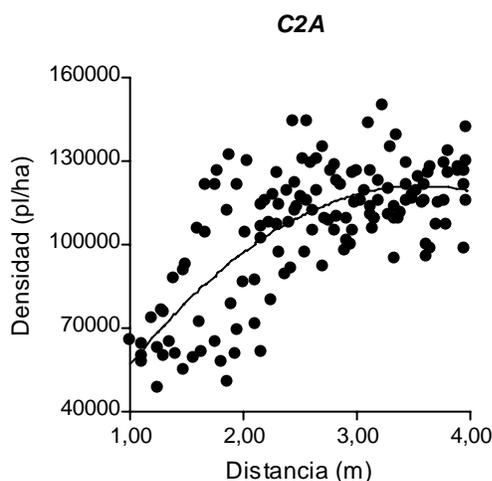
**Dms = 7651,93; p<0,0001**

---

**Tabla 7:** Principales resultados de la regresión entre la Densidad Poblacional y Distancia  $R^2$ : Coeficiente de determinación; b y Cte: Estimadores de los parámetros de la regresión.

Variable Independiente	$R^2$	b	Cte.	F Pr>F
	0,50		-3130,17	69,31 p<0,0001
Distancia		69725,30		
Distancia <sup>2</sup>		-9785,27		

El análisis de regresión entre la densidad y la distancia mediante el modelo polinómico de segundo grado permite explicar el 50 % de la variabilidad dentro de la zona donde se produce la modificación de la dosis de siembra.

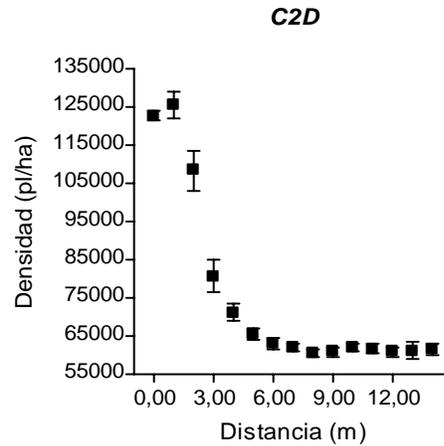


**Figura 9:** Respuesta de la densidad a las variaciones de distancia. Densidad =  $-3130,07 + 69725,30$  Distancia  $- 9785,27$  Distancia <sup>2</sup>. Coeficiente de determinación,  $R^2$ : 0,50.

### 3.4. Cambio 2 Descendente - C2D

La densidad inicial registrada en este tratamiento fue de 122580,23 pl ha<sup>-1</sup>. Pese a que este valor superó en sólo un 2% a la dosis prescrita, se diferenció estadísticamente ( $t=3,98$ ;  $p<0,0001$ )

Los valores medios de densidad en cada segmento de surco se presentan en la figura 9. En la tabla 8 se presenta la comparación de estos valores mediante el ANVA.



**Figura 10:** Densidad media por segmento y grado de significancia. Cambio descendente 2

Como surge de esta tabla la modificación de la densidad de siembra respecto de la inicial se inicia luego de que la sembradora avanzara un metro desde la marca de cambio de dosis. Las variaciones se suceden a los largo de los tres metros siguientes. A partir de esa distancia la densidad observada se estabiliza.

**Tabla 8:** Densidad media por segmento y grado de significancia. Cambio descendente 2.

<b>Distancia</b>	<b>Densidad (pl ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
<b>0</b>	122580,2	A
<b>1</b>	125459,4	A
<b>2</b>	108282,9	B
<b>3</b>	80541,05	C
<b>4</b>	71214,79	D
<b>5</b>	65465,69	DE
<b>6</b>	63026,96	DE
<b>7</b>	62023,79	DE
<b>8</b>	60583,21	E
<b>9</b>	60753,37	E
<b>10</b>	61997,4	DE
<b>11</b>	61709,91	D
<b>12</b>	60784,78	D
<b>13</b>	61243,11	D
<b>14</b>	61586,36	D

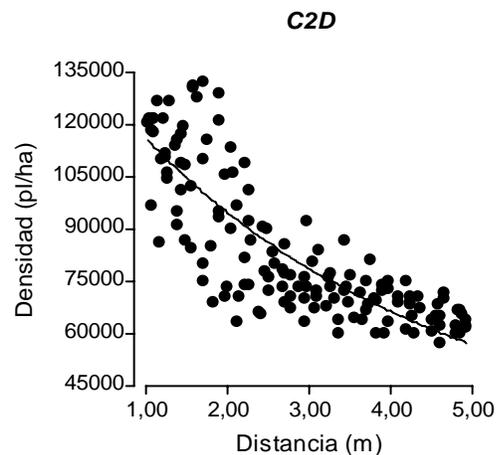
---

**Dms = 9323,91; p<0,0001**

Al igual que lo mencionado para el Cambio 2 Ascendente, en este tratamiento la modificación de la de dosis quedó mejor representada por el modelo polinómico de segundo grado que permitió explicar cerca del 70% de la variabilidad observada.

**Tabla 9:** Principales resultados de la regresión entre la Densidad Poblacional y Distancia  $R^2$ : Coeficiente de determinación; b y Cte: Estimadores de los parámetros de la regresión.

Variable Independiente	$R^2$	b	Cte.	F Pr>F
	0,69		156373,49	154,04 p<0,0001
Distancia		-40601,10		
Distancia <sup>2</sup>		4521,69		



**Figura 11:** Respuesta de la densidad a las variaciones de distancia. Densidad = 156373,49 – 40601,10 Distancia + 4521,69 Distancia<sup>2</sup>. Coeficiente de determinación,  $R^2$ : 0,69.

### 3.5. Cambio 3 Ascendente - C3A

La densidad inicial observada fue de 40356,41 pl ha<sup>-1</sup> y no presentó diferencias significativas respecto de la dosis prescrita (t=0,72; p=0,4748). El análisis de la varianza para comparar las densidades medias en los segmentos de surco permite observar que el inicio en la variación de dosis ocurre luego del primer metro transitado por la sembradora con posterior a la marca de cambio de dosis.

Pese a que no existe significancia estadística la diferencia en la densidad de plantas en el segundo metro y densidad inicial es superior al 20%. A partir de los 5 metros de trayectoria la densidad de plantas se estabiliza en valores muy próximos a la densidad final prescrita para este tratamiento.

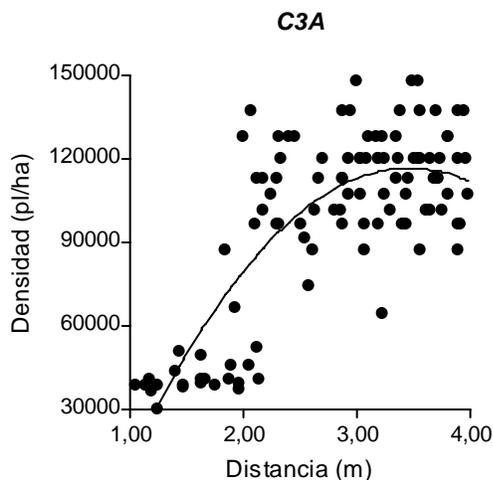
**Tabla 10:** Densidad media por segmento y grado de significancia. Cambio ascendente.

<b>Distancia</b>	<b>Densidad (pl ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
<b>0</b>	40356,41	A
<b>1</b>	41580,75	A
<b>2</b>	49702,41	A
<b>3</b>	103199,5	B
<b>4</b>	114495,4	BC
<b>5</b>	122525,4	C
<b>6</b>	119599,2	C
<b>7</b>	119424,9	C
<b>8</b>	121295	C
<b>Dms = 13701,20; p&lt;0,0001</b>		

La modificación de la dosis en la zona de transición se ajustó a un modelo polinómico de segundo grado que permitió explicar más del 60% de la variabilidad registrada.

**Tabla 11:** Principales resultados de la regresión entre la Densidad Poblacional y Distancia R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación; b y Cte: Estimadores de los parámetros de la regresión.

<b>Variable Independiente</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>b</b>	<b>Cte.</b>	<b>F Pr&gt;F</b>
	0,62		-91860,33	86,53 p<0,0001
Distancia		120611,66		
Distancia <sup>2</sup>		-17438,40		



**Figura 12:** Respuesta de la densidad a las variaciones de distancia. Densidad =  $-91860,31 + 120611,66 \text{ Distancia} - 17438,40 \text{ Distancia}^2$ . Coeficiente de determinación,  $R^2$ : 0,62.

### 3.6. Cambio 3 Descendente - C3D

La densidad inicial media observada previo a la marca de cambio de dosis fue de 123431,79 pl ha<sup>-1</sup>. Pese superó en sólo un 3% a la dosis prescrita resultó estadísticamente distinta ( $t=4,80$ ;  $p<0,0001$ ).

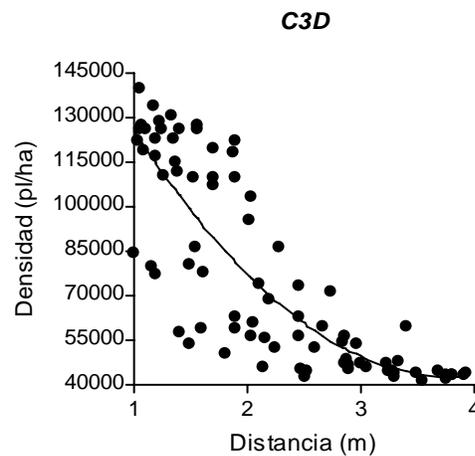
**Tabla 12:** Densidad media por segmento y grado de significancia. Cambio descendente 3.

Distancia	Densidad (pl ha <sup>-1</sup> )	Grupos Homogéneos
0	123341,79	A
1	122096,49	A
2	104851,89	B
3	59933,69	C
4	44982,58	D
5	42857,00	D
6	44982,58	D
7	41241,42	D
8	41300,25	D
9	40603,60	D
10	40258,09	D
<b>Dms = 10640,27; p&lt;0,0001</b>		

La modificación de la densidad de plantas registrada en la zona de transición de la dosis presentó un patrón de variación que se ajusta a un modelo polinómico de segundo grado.

**Tabla 13:** Principales resultados de la regresión entre la Densidad Poblacional y Distancia  $R^2$ : Coeficiente de determinación; b y Cte: Estimadores de los parámetros de la regresión.

Variable Independiente	$R^2$	b	Cte.	F Pr>F
	0,69		195395,40	88,79 $p < 0,0001$
Distancia		-80256,76		
Distancia <sup>2</sup>		10544,34		



**Figura 13:** Respuesta de la densidad a las variaciones de distancia. Densidad = 195395,40 – 80256,76 Distancia + 10544,34 Distancia<sup>2</sup>. Coeficiente de determinación,  $R^2$ : 0,69

En la figura 14 se representan las variaciones de densidad registradas en función de la distancia para los seis tratamientos evaluados. Como puede observarse, los cambios de densidad de siembra quedan definidos en un espacio no mayor a los 6 metros. Considerando que la velocidad de avance fue de  $6,5 \text{ km h}^{-1}$ , el tiempo necesario para alcanzar las densidades finales no superó en ningún caso los 3,3 segundos.

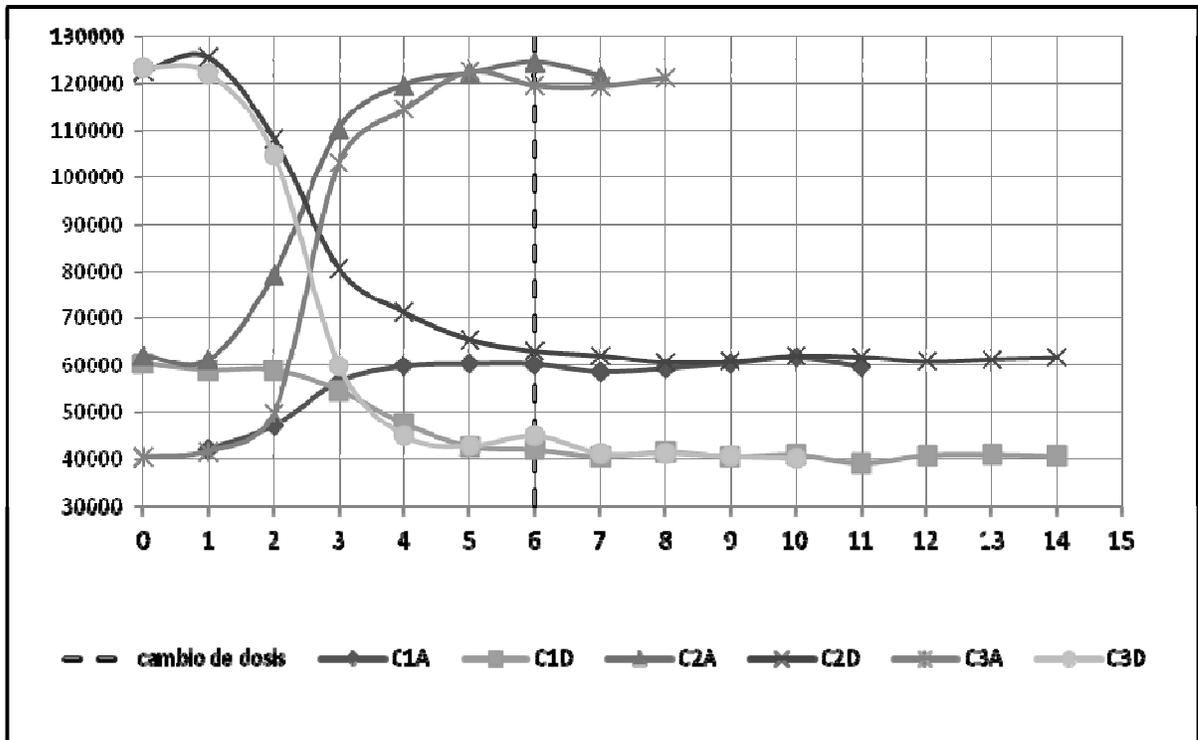


Figura 14: Densidad efectiva de siembra en función de la distancia de los 6 tratamientos ensayados.

#### **4. CONSIDERACIONES FINALES**

La distancia comprendida entre la dosis inicial y final fue independiente de las magnitudes de cambios y el sentido del mismo, otorgando esta prestación una gran capacidad de adaptación a diferentes situaciones. El equipo evaluado presentó una gran capacidad de adecuación a la dosis de semilla y una gradualidad prácticamente lineal para efectuar los cambios prescritos.

En base a estas prestaciones, puede presumirse que la dilación espacial registrada resulta más estrecha que los límites agronómicos comúnmente observados entre los distintos ambientes. Del mismo modo, la magnitud de esta dilación también resulta menor a los límites de mínima resolución empleados en la toma de datos geo-referenciados.

En este sentido cabría la posibilidad de indagar acerca de alternativas de operación o programación de los controladores de tal manera que sean capaces de compatibilizar la gradualidad en el cambio de dosis con la mayor o menor amplitud que pueda tener un límite entre dos ambientes.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Bahri, A. 1995. Modulating wheat seeding rate for site specific crop management. PhD Dissertation. University of Nebraska, Lincoln.

Fulton, J.P.; S.A. Shearer; G. Chabra; S.F. Higgins. 2001. Performance Assessment and Model Development of a Variable-Rate, Spinner-Disc Fertilizer Applicator. *Trans. of ASAE*. 44(5): 1071-1081.

Jafari, M.; A. Hemmat; M. Sadeghi. 2010. Development and performance assessment of a DC electric variable-rate controller for use on grain drills. In: *Computers and Electronics in Agriculture* 73, pp. 56–65.

Taylor, J.; M. Mason; B. Whelan; A. McBratney. 2007. Determining optimum management zone-based seeding rates using on-farm experimentation and variable rate seeding technologies. Presented in USA International PA Conference.

Riccia, D.F.; H.E. Rubio; M. Scolab; A. Medinab. 2007. Control no lineal del dosificador de una sembradora de precisión. *Mecánica computacional* Vol XXVI, pp.1943-1957.

*La presente publicación integra una serie de Informes Técnicos publicada por el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de cultivos del Instituto de Ingeniería Rural. Estos informes tienen como finalidad poner a disposición de los profesionales oficiales y privados, la información generada en los trabajos de investigación llevados a cabo.*



Ministerio de Agricultura,  
Ganadería y Pesca  
Presidencia de la Nación