

Uniformidad de la distancia entre semillas y su relación con la velocidad tangencial del plato dosificador en una sembradora de precisión

Martínez Roberto ⁽¹⁾, Mas Roberto ⁽¹⁾, Geninatti Sergio ⁽¹⁾, Cubero Atienza Antonio ⁽²⁾

⁽¹⁾ *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura- Universidad Nacional de Rosario – Argentina.*

⁽²⁾ *Escuela Politécnica Superior – Universidad de Córdoba - España*

Resumen. *En la evaluación del proceso de siembra, uno de los parámetros significativos a estudiar es la uniformidad de la distribución de la semilla en el surco. Un interés particular presentan aquellos métodos que puedan ser usados en condiciones reales de siembra en campo. En este trabajo se da cuenta de los ensayos realizados con sensores emplazados en un tren de siembra de una sembradora neumática y un sistema que vincula y registra los tiempos de los eventos involucrados en el proceso. Se establecen relaciones entre velocidad tangencial de la placa dosificadora, tiempos entre semillas y distancia en la cinta engrasada. A partir de las relaciones halladas, se propone un método para inferir datos estadísticos de la distancia entre semillas en la cinta.*

Abstract. *In the sowing process assessment, the even distribution of the seed in the furrow is one of the most significant parameters to be studied. Those methods that could be used in real sowing conditions in the field are of particular interest.*

The following study outlines the trials carried out with sensors placed in a row unit of a pneumatic planter and, a system that links and records the time of the events taking place in the process. Relations like tangential speed of the seed disk, periods of time between seeds and distance in the greased belt are established. From these findings, a method is proposed to infer statistical data of the distance between seeds on the belt.

Palabras clave: sembradora neumática, sensor optoelectrónico, agricultura de precisión

Introducción

Una particular problemática, que aparece junto a la siembra directa, es la evaluación del planteo que las sembradoras hacen, particularmente a lo que se refiere a la uniformidad de la distancia entre plantas. [1]. En el maíz, la distribución no uniforme de las plantas modifica el tamaño de las mismas, puede incidir en su tasa de crecimiento y, como consecuencia, traer aparejado una posible reducción del rendimiento del cultivo [2]. Obtener la menor dispersión posible en el espaciamiento entre las plantas resulta importante para lograr un rendimiento óptimo. Investigaciones realizadas por Nielsen [3] demostraron, en pruebas de campo a lo largo de Indiana (USA) entre los años 1987-1993, que 1,57 Kg. cada 100 m², se pierden en el rinde por cada

2,15 centímetros de aumento en la desviación estándar del espaciado entre plantas. A similares conclusiones arriban los autores en [4]. En [5], sobre esta misma problemática, se reportan mayores disminuciones en el rendimiento de maíz y soja al aumentar la desviación estándar de la distancia intraplantas. Sin embargo, el consenso sobre este aspecto no es unánime, se informan trabajos donde no generalizan esta conclusión, sino que establecen una serie de condiciones agronómicas para establecer relaciones entre rendimiento y regularidad de las distancias entre semillas [6] [7], pero en todos ellos se remarca esta relación. Por lo señalado precedentemente, uno de los aspectos claves es lograr la distribución controlada de la semilla en el surco logrando no sólo la distancia deseada

entre semillas, sino también la mayor uniformidad posible de esa distancia (menor desviación estándar).

Como parte de esta problemática, está la de determinar, en tiempo real, la distribución real de la semilla en el surco. Disponer de esta información, constituye un objetivo largamente seguido tanto por los fabricantes de máquinas sembradoras como por los productores agropecuarios. Los primeros sensores y actuadores comandados electrónicamente se comienzan a emplazar en las máquinas sembradoras en los años 80. Orientados a la resolución del problema de localizar la semilla, y utilizando sensores ópticos, existen trabajos que reportan técnicas para utilizar en laboratorio [8] [9]. Los autores en [10], concluyen que determinados métodos, utilizando sensores optoelectrónicos en laboratorio, arrojan mediciones significativamente diferentes a los obtenidos en campo, por lo que estos métodos no pueden ser usados para predecir índices de uniformidad en el surco. La utilización de sensores de siembra “inteligentes”, que analicen y procesen la señal que suministra el sensor optoelectrónico, es una alternativa que mejora las prestaciones del proceso de sensado [11]. Ejemplo de esto es el sistema propuesto por [12], está basado en el uso de microcontroladores actuando en tiempo real. Como resultado es posible sensar y controlar la variabilidad del nivel de señal de la barrera infrarroja de medición.

La utilización de cámaras de video de altas prestaciones, para analizar la distribución, se informa en varios artículos. En [13] se reporta un sistema basado en una cámara de video que, montada sobre un vehículo, toma imágenes del campo sembrado. Reportan que los resultados del sistema presentan una correlación del 0.90 respecto de los valores obtenidos manualmente y un error del 5.4 % en la estimación de la población de plantas. También, usando un sistema óptico de alta resolución se

evalúa el comportamiento de los parámetros de una sembradora neumática y se informa en [14]. Comparando los resultados con los obtenidos en la cinta engrasada, informan una correlación cercana a 1 y los valores promedios de distancia entre semillas difieren en menos del 2 % entre ellos. En [15] se describen los ensayos realizados sobre un tren de siembra de distribución mecánica emplazado sobre una cinta engrasada para semillas de soja y trigo. Para la detección de las semillas se usa una cámara de video alta velocidad colocada entre la finalización del tubo de descarga y la cinta. Establecen relaciones entre los coeficientes de variación resultantes de las mediciones con la cámara y los obtenidos en la cinta. Los sistemas con cámara de video, en su mayoría probados en laboratorio, reportan sistemas que hoy plantean serias dificultades para su emplazamiento en cada uno de los cuerpos de siembra de una máquina en campo. Tanto por su costo, como por lo delicado del equipamiento utilizado, no resultan apropiados para una aplicación en condiciones reales de siembra.

Con el objetivo de analizar las prestaciones de una sembradora neumática, los autores en [16] plantean, entre sus conclusiones, que el aumento de la velocidad tangencial de la placa de distribución, influye negativamente en la regularidad de la distribución de la semilla pero no establecen relaciones con la desviación estándar de esa velocidad tangencial. Un método genérico para estimar el flujo de una nube de partículas desplazándose por un ducto se estudia en [17]. Como el efecto de nube que suponen, no permite contar las partículas en forma individual, en el trabajo se parte de la hipótesis que las partículas llegan, al sensor optoelectrónico que las detecta, según un proceso aleatorio en el tiempo. Aplicando conceptos de la teoría de colas de espera en procesos de arribos tipo *Poisson*, estiman el flujo de partículas. Los autores plantean que este método

puede ser usado en monitores de rendimiento y sembradoras neumáticas.

El objetivo del presente trabajo fue el de ensayar un tren de siembra de precisión, registrando los valores de tiempos entre semillas, la velocidad tangencial del dosificador y la distancia entre semillas en la cinta engrasada. Asimismo, establecer relaciones entre los parámetros evaluados, tendientes a inferir datos estadísticos de la posición de la semilla en la cinta engrasada.

Materiales y métodos

Los ensayos se realizan sobre un cuerpo de siembra de una sembradora neumática monograno por presión positiva. La unidad dosificadora de semillas –UDS– está integrada por las siguientes partes:

- Una matriz metálica de fundición fija.
- Una placa alveolada giratoria adosada a la matriz. Esta placa es de plástico y su diseño depende del tipo de semilla a utilizar. Una tolva de semillas
- Un tubo de descarga de semillas recto ahusado de una longitud de 0,46 m y emplazado en la parte inferior de la matriz metálica.
- Accionamientos con motor sincrónico de velocidad controlada electrónicamente.
- La presión positiva de aire es generada por un ventilador centrífugo de 40-60 mm de agua.

El banco de ensayos se completa con una cinta engrasada, que corre debajo de la UDS. Esta cinta está accionada por un motor sincrónico cuya velocidad se controla electrónicamente. La UDS deja caer las semillas sobre la cinta, que simula el desplazamiento relativo del suelo respecto de la sembradora. Sobre el banco de ensayos se emplaza el Sistema de Medición de Tiempos (SMT) y el Sistema de Medición de Velocidad (SMV) reportados en [18] [19]. Estos sistemas, trabajan integrados y envían

datos a una PC, con una base de tiempos común. El SMT consta de sensores optoelectrónicos en el tubo de descarga a 8 cm del punto de emisión de la semilla, permite detectar y registrar el inicio y el final del paso de cada semilla por el tubo de descarga y, por lo tanto, calcular el tiempo transcurrido entre una semilla y la próxima. Para la medición de la velocidad angular instantánea del dosificador de semilla de la sembradora, el SMV posee un transductor de posición angular óptico (encoder Automics E40H-12-1000-3-2), solidario al eje de la placa alveolada giratoria y un programa en assembler en la PC que interpreta las señales generadas. El transductor tiene una grilla con 1000 delgas radiales (resolución de 0,36 grados) y al girar solidario al dosificador, envía una señal de nivel alto cada vez que una de las delgas interrumpe un haz luminoso, de este modo el tiempo entre cada flanco positivo de la señal, representa el tiempo que transcurre en pasar una delga y la siguiente por un mismo punto. Este diferencial de ángulo dividido el diferencial de tiempo, nos representa la velocidad angular instantánea.

El tubo de descarga puede quitarse y colocar un fondo negro con el contorno del tubo dibujado y una escala graduada. Esto permite tomar imágenes con una cámara digital bajo el efecto de luz estroboscopia sincronizada con la velocidad angular del dosificador y decidir la ubicación más conveniente de los sensores ópticos. Asimismo, se filma con cámara de video digital el proceso de emisión y caída de semilla, se realizaron 9 filmaciones de 200 semillas cada una. La cámara usada fue una Panasonic DCM_GH1- 60 fps.

Ensayo I. Determinación del tiempo entre semillas y la velocidad angular instantánea de la placa alveolada.

Se realizan cuatro ensayos, en los que se “siembran” 500 semillas en cada uno de ellos. Los ensayos se efectúan utilizando

una placa para maíz de 30 alvéolos y se regula la velocidad angular a la correspondiente a una “velocidad de sembradora” de 5, 6, 8 y 9 km/h. En cada ensayo se registran los parámetros tiempo entre semillas (T_s) y tiempo entre delgas del encoder óptico (T_d) de cada uno de los 500 eventos generados. Para los ensayos se utilizó semillas de maíz mediano de un peso promedio de 0,250 gramos y una sección de $2,2 \times 10,5 \text{ m}^2$, con 12 % humedad.

Ensayo II. Medición de la distancia entre semilla sobre la cinta engrasada.

En este ensayo, se ponen en marcha los motores de la unidad dosificadora y la cinta engrasada. Las semillas caen sobre la cinta que se desplaza y quedan adheridas a esta. Se graban los archivos con los datos registrados por el SMT y por el SMV. Se miden las distancias entre semillas adheridas a la cinta engrasada y se confecciona una tabla.

Se realizaron nueve ensayos a diversas velocidades virtuales de máquina y con distintas condiciones de regularidad en la velocidad angular de la placa alveolada. Esto último se logró produciendo desajustes en el sistema de transmisión de fuerza de manera de aumentar las vibraciones y verificando el aumento de

la desviación estándar de la velocidad angular.

Para cada ensayo se registraron los tiempos entre semillas, los tiempos entre delgas en el encoder y luego se midió la distancia (en forma manual) entre semillas en la cinta engrasada. Se “sembraron” entre 150 y 200 semillas en cada uno de los ensayos. Debido a que la longitud de la cinta permite la ubicación de aproximadamente 40 semillas, esto significa que cada ensayo consistió en poner en marcha cuatro veces la cinta y registrar datos en cada una de ellas.

Para determinar la correspondencia entre medición de tiempos entre semillas y distancia entre semillas –esto significa identificar cada semilla en la cinta con su correspondiente registro de tiempo y la velocidad de la placa–, se calcularon los factores de correlación entre los valores medidos manualmente y los registrados con el SMT, hasta que esta correlación fuera cercana a uno.

Logrado esto, se graficaron los dos parámetros para verificar esta correlación. En la Fig. 1 se muestra una de las correspondencias logradas entre las distancias medidas en la cinta (serie cinta) y la calculada según lo medido por el sensor (serie sensor), para un ensayo con velocidad de máquina de 6,7 km/h.

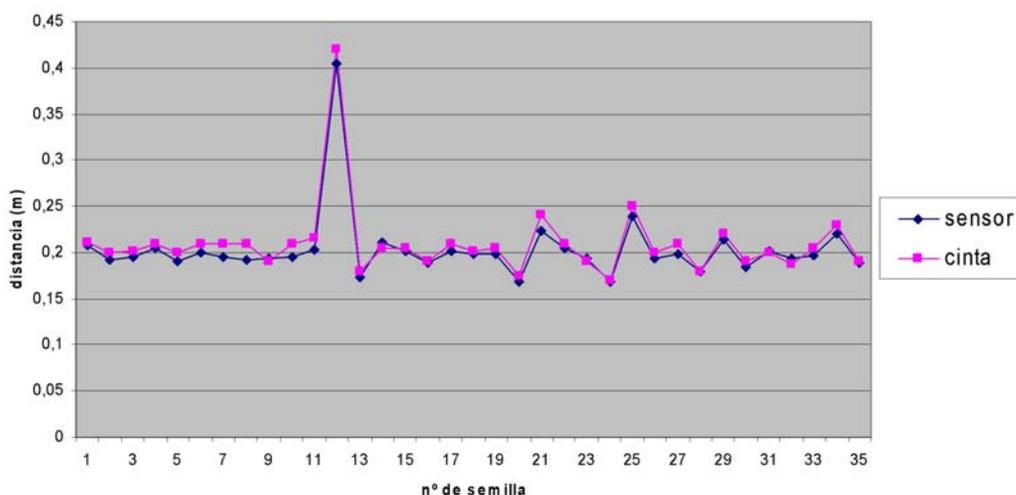


Figura 1. Correspondencia entre distancia calculada –a partir de los tiempos entre semillas– y distancia medida en cinta. Velocidad de máquina sembradora de 6,7 km/h

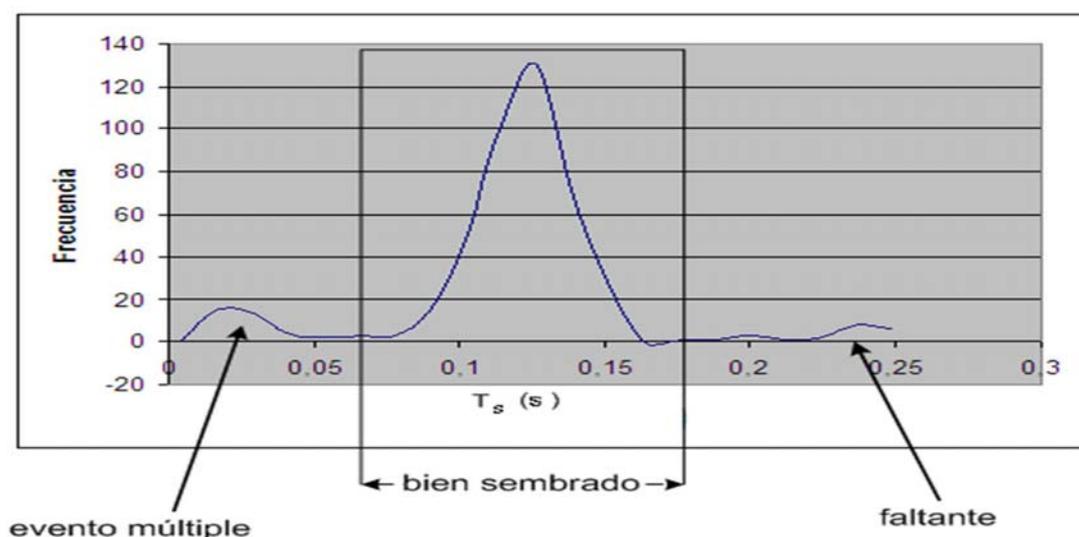


Figura 2. Distribución del tiempo entre semillas

Resultados

A partir de las imágenes filmicas registradas, se confecciona la Tabla 1. En ésta, se indican los valores medios de la distancia vertical (eje y) recorrida por la semilla -desde su punto de emisión en el dosificador-, el tiempo y la velocidad según el eje referido.

Los resultados del *Ensayo I* (sin cinta engrasada) muestran que la distribución de frecuencias típica del tiempo entre semillas (T_s) tiene una gráfica como la

Tabla 1. Parámetros distancia, tiempo y velocidad de la caída de la semilla

Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)
	0,0015	0,17
	0,0400	0,77
	0,0800	1,34
	0,1200	1,84
0,16	0,1400	2,06
0,26	0,1840	2,47
0,36	0,2200	2,72
0,46	0,2640	2,92

mostrada en Fig. 2. Como puede observarse, aparecen tres zonas bien diferenciadas. Una central, donde identificamos la campana de Gauss (semillas bien sembradas) y dos zonas que representan semillas sembradas muy juntas (evento múltiple) y faltantes de semillas, respectivamente. A estos resultados, le aplicamos un filtro, para quedarnos con los datos de las semillas bien sembradas, y sobre esta población calculamos algunos parámetros estadísticos como son el valor medio, la desviación estándar, el coeficiente de simetría y curtosis.

El coeficiente de variación de un parámetro X (CV_X) se calcula como

$$CV_X = \frac{\sigma_X}{ValorMedio X} \times 100 [\%] \quad (1)$$

Es decir, el cociente entre la desviación estándar del parámetro y su valor medio por 100.

Tabla 2. Valores de: (1) velocidad sembradora, (2) tiempo medio entre delgas, (3) CV del tiempo entre delgas, (4) y (5) curtosis y coeficiente de asimetría del tiempo entre delgas, (6) tiempo medio entre semillas, (7) CV del tiempo entre semillas, (8) y (9) curtosis y coeficiente de asimetría del tiempo entre semillas

Ens.	Vel Maq [km/h] (1)	T-delga [s] (2)	CV delga [%] (3)	Curt. delg (4)	Coef asim. delga (5)	T_sem [s] (6)	CV sem [%] (7)	Curt. semilla (8)	Coef. asim. semilla (9)
1	5	0.00516	8	-0.2169	0.34416	0.145	7.5	0.69605	-0.4589
2	6	0.00470	7.6	-0.2223	0.28344	0.121	6.8	0.3489	0.34891
3	8	0.00290	7.1	-0.3238	0.32344	0.089	6.5	0.70011	-0.4323
4	9	0.00288	8.1	-0.1985	0.31121	0.081	7.1	0.54667	0.54443

Tabla 3. Valores de: (1) velocidad sembradora, (2) tiempo medio entre semillas, (3) CV del tiempo entre semillas, (4) tiempo medio entre delgas, (5) CV del tiempo entre delgas, (6) distancia media entre semillas en cinta y (7) CV de la distancia entre semillas.

Ens.	(1) VelMaq (Km/h)	(2) T_sem (s)	(3) CV_sem (%)	(4) T-delga (s)	(5) CV_delga (%)	(6) D_cinta (m)	(7) CV_cinta (%)
1	6,7	0,108	7,33	0,0034	8,796	0,204	13,12
2	4,9	0,148	9,6	0,0049	8,82	0,202	17,472
3	7,9	0,09	8,23	0,0031	8,81	0,198	14,9786
4	4,0	0,183	9,2	0,0057	8,78	0,201	17,612
5	8,7	0,083	8,86	0,0027	8,84	0,197	16,998
6	10,5	0,069	11,2	0,0021	11,9	0,195	26,2
7	11,5	0,063	10,02	0,0019	12,5	0,195	26,8
8	6,7	0,0107	10,8	0,0033	12,8	0,205	28,4
9	4,0	0,181	11,5	0,0056	16,5	0,205	29,2

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los cálculos realizados sobre la población de semillas “bien sembradas”.

Finalmente, y luego de realizar la prueba de normalidad, podemos concluir que el tiempo entre semillas y la velocidad angular del plato dosificador, tiene una función distribución normal, caracterizada por su valor medio y la desviación estandar. Además, en el caso de los tiempos entre semillas, puede determinarse un índice de faltantes y de eventos múltiples.

Para el segundo tipo de ensayos (*Ensayo II*) además de los parámetros registrados con los *SMV* y *SMT*, se agregan los que arrojan las mediciones de distancia de las semillas sobre la cinta engrasada.

En la Tabla 3 se muestra un resumen de los valores obtenidos de este ensayo. La

distribución de frecuencias, tanto de los tiempos entre semillas como los tiempos entre delgas, resulta de tipo normal. En los ensayos, el sistema estaba calibrado para una distancia teórica entre semillas de 0,20m.

Se pueden diferenciar dos grupos de ensayos:

Grupo A (ensayos 1 al 5). En este grupo el coeficiente de variación del tiempo entre delgas, resulta menor a 9 %, indicando un grado de uniformidad en la velocidad angular del plato dosificador.

Para este grupo de ensayos se cumple que

$$\frac{CV_cinta}{CV_sem} \cong 1,92 \quad (2)$$

Asimismo, el error relativo entre la distancia media medida en la cinta y la

calculada teóricamente por medio de la expresión

$$Dist = VelMaq \times T_{Sem} \quad (3)$$

se mantiene menor al 6%. El error relativo entre el número de faltantes medidos por el SMT y el verificado en la cinta engrasada es del 1%. Este error es del 2,5 % en lo referido al evento múltiple.

Grupo B (ensayos 6 al 9). En estos ensayos, las velocidades se fijan por encima de los 10 km/h (ensayos 6 y 7) o el sistema fue sometido a vibraciones adicionales (ensayos 8 y 9). Para este grupo el CV_{delgas} presentó un valor de 11.9 % o más (Tabla 3). El error relativo entre la distancia media medida en la cinta y la calculada teóricamente por medio de la expresión (3), resulta ser mayor al 10 %.

Además, la relación $\frac{CV_{cinta}}{CV_{sem}}$ no es

constante y arroja valores mayores a 2,5.

Los datos obtenidos en estos ensayos resultan significativos en la dinámica de la semilla, la información recolectada puede resultar de utilidad para formular un modelo de la trayectoria de la semilla. Asimismo, se comprobó que se puede inferir información estadística de la ubicación final de la semilla en la cinta, si se conocen datos de la velocidad angular del dosificador y de los tiempos de semillas medidos por los sensores ópticos.

Discusión

La relación constante entre los coeficientes de variación de la distancia entre semillas y el tiempo entre semillas (expresión (2)), podría suponerse condicionada solamente a la velocidad, sin embargo, los resultados muestran que el factor condicionante para que se cumpla la relación, es la uniformidad de la velocidad tangencial del plato dosificador. En condiciones de siembra en campo, donde la máquina está sometida a diversas fuentes de vibraciones, posiblemente pueda encontrarse en éstas, el factor que resume la forma de variación de la relación referida.

Referencias

- [1] Arzu Yazgi, Adnan Degirmencioglu, "Optimisation of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology", *Bio Systems Engineering* 97 (2007) 347 – 356.
- [2] Uhart, S.S.; F. Andrade; A. Cirilo; M. Frugone y O. Correa.. Operación de siembra, densidad y uniformidad de plantas de maíz. Impacto sobre el rendimiento en grano. Morgan-Mycogen S.A. Buenos Aires, Argentina. (1998).
- [3] Nielsen, R.L.. Stand establishment variability in corn. AGRY- 91-1 (Rev. Nov.-01). Dep. of Agron., Purdue Univ., (2001).
- [4] Doerge, T.A., Hall T.E, The value of planter calibration of using the MeterMax System. *Crop Insights* 10(23): (2001)1-4.
- [5] Bragachini, M, Von Martini, A., Mendez, A, Pacioni, F, Alfaro, M., "Siembra de maíz, eficiencia de implantación y su efecto sobre la producción de grano", *Tercer Taller Internacional de Agricultura de Precisión del Cono Sur de América- PROCISUR*, (2002).
- [6] Liu Weidong, Tollenaar Matthijs, Stewart Greg, and Deen William, (2004 b) Within-row plant spacing variability does not affect corn yield, *Agron. Journal*, (2004) 96:275-280.
- [7] Liu Weidong, Tollenaar Matthijs, Stewart Greg, and Deen William, Response of Corn Grain Yield to Spatial and Temporal Variability in Emergence *Crop Sci.*, (2004); 44(3): 847 - 854.
- [8] Kocher M., Lan, Y., Chen, C. , Smith, J. A., "Opto-electronic Sensor System for Rapid Evaluation of Planter Seed Spacing Uniformity", *Transactions of the ASAE* 41(1): (1998)237-245.
- [9] Lan Y., Kocher, M.F. , Smith, J.A., "Opto-electronic Sensor for Laboratory Measurement of Planter Seed Spacing with Small Seeds", *Journal Agricultural Engineering Research*, 72, (1999)119-127.
- [10] Panning J. W., Kocher M. F, Smith J. A., Kachman S. D., Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugarbeet planters, *Applied Engineering in Agriculture*.(2000) V.16(1): 7-13 .
- [11] Jiantao Wei, Naiqian Zhang, Ning Wang, Donald Lenhart, Mitchell Neilsen, Masaaki Mizunod, "Use of the smart transducer concept and IEEE 1451 standards in system integration for precision agriculture", *Computers and Electronics in Agriculture* 48 (2005) 245–255
- [12] Coronel, E. Tapia y G. Nardón., "Sensores de densidad de siembra inteligentes", VII Congreso

- Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola (CLIA 2006). V Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola (CIACH 2006). Libro: RESUMENES (2006) pag. 151.
- [13] Shrestha D.S. and B.L. Steward. Automatic corn plant population measurement using machine vision. Transactions of the ASAE, (2003) 46 (2): 559-565.
- [14] Alchanatis, V., Y. Kashti, and R. Brikman. "A Machine Vision System for Evaluation of Planter Seed Spatial Distribution". Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript IT 01 005. Vol. IV. April, 2002.
- [15] D. Karayel, M. Wieschoff, A. Ozmerzi, J. Muller, Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system, Computers and Electronics in Agriculture 50 (2006) 89–96.
- [16] Arzu Yazgi, Adnan Degirmencioglu, "Optimisation of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology", *Bio Systems Engineering*, 97 (2007) 347 – 356.
- [17] T.E. Grifta, C.M. Crespi, Estimation of the flow rate of free falling granular particles using a Poisson model in time, Biosystems Engineering, 101 (1) (2008) pp. 36-41.
- [18] Jorajuria D., N. Nigro, R. Mas, R. Martinez, S. Geninatti, E. Bertini, F. Degano, G. Nardon, Sensor optoelectrónico aplicado al monitoreo del planteo en siembra de precisión. IV Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola, (2001), Chile.
- [19] Jorajuria D., N. Nigro, R. Mas, R. Martinez, S. Geninatti, E. Bertini, F. Degano, G. Nardon. "Dinamica dei semi di mais e loro modellizzazione in un dosificatore a pressione positiva di aria per seminatrice di precision" *Rivista di Ingegneria Agraria*. Vol. 4, (2004) 9-15. Edizioni ETS S.R.L.. Pisa. Italia.