

Desuniformidad de distribución espacial: Caracterización de su impacto sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.)

D'Amico, Juan Pablo¹; Mario Omar Tesouro¹; Ángel Romito^{1,2}; Diego Paredes¹; Marcos Andrés Roba¹

¹ Instituto de Ingeniería Rural. CIA. CNIA. INTA. CC 25. CP 1712. Castelar. Buenos Aires. Argentina; ² aromito@cnia.inta.gov.ar

D'Amico, Juan Pablo; Mario Omar Tesouro; Ángel Romito; Diego Paredes; Marcos Andrés Roba (2011) Desuniformidad de distribución espacial: Caracterización de su impacto sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.). Rev.Fac.Agron. Vol 110 (1): 50- 62.

Dadas las discrepancias respecto al impacto de la desuniformidad en el arreglo espacial en el rendimiento del cultivo de maíz, se realizó un ensayo para caracterizar este fenómeno, conforme al criterio utilizado por la Norma ISO 7256/1 de evaluación de sembradoras de precisión. En este sentido, se analizó la respuesta del rendimiento individual frente al área disponible por planta y a la simetría espacial en la línea de siembra, así como la respuesta del rendimiento respecto a la densidad del cultivo y a la desuniformidad de distribución de las plantas. Tanto el rendimiento individual como el del cultivo se asociaron linealmente con la densidad poblacional. Sin embargo, no se observó dependencia con la uniformidad de distribución en la línea de siembra, cuando se los evaluó a través del desvío estándar o el coeficiente de variación.

De acuerdo a los índices propuestos por la Norma ISO 7256/1, se estableció que la existencia de fallas generó una disminución en la densidad poblacional y una caída del rendimiento, mientras que la ocurrencia de duplicaciones causó el efecto opuesto en ambas variables. Consecuentemente, los efectos de una distribución desuniforme sobre el rendimiento del cultivo están dados por su impacto en la densidad poblacional.

Palabras clave: distribución desuniforme, siembra de maíz, densidad poblacional, producción.

D'Amico, Juan Pablo; Mario Omar Tesouro; Ángel Romito; Diego Paredes; Marcos Andrés Roba (2011) Spatial arrangement unevenness: characterization of its impact upon maize crop yield (*Zea mays* L.). Rev.Fac.Agron. Vol 110 (1): 50- 62.

Given the discrepancies regarding the impact of the unevenness on maize crop spatial arrangement on yield and in order to characterize this effect, an experiment was conducted according to Standard ISO 7256/1 criteria in the assessment of precision planters. On that sense, individual plant yield response to individual area available, spatial symmetry on the sowing line and the yield response to crop population and plant distribution unevenness on the sowing line were evaluated.

Both, the individual plant and crop yields were linearly associated with population density but no dependence on the sowing line distribution uniformity was observed when standard deviation or variation coefficient were used to compare the measurements.

According to the indexes proposed by Standard ISO 7256/1, it was established that the faults existence generated a decrease on population density and yield drop, while the occurrence of duplications caused the opposite effect on both variables. Consequently, the effects of uneven distribution on crop yield are given by its impact on the population density.

Key words: uneven distribution, sowing of maize, population density, production.

Recibido: 04/05/2011

Aceptado: 04/12/2011

Disponible on line: 16/12/2011

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUCCIÓN

La producción de maíz en la República Argentina alcanzó las 22.676.920 tn en 2010. Este volumen de producción se correspondió con una superficie cosechada de 2.902.751 ha y un rendimiento promedio de 7.812 kg ha⁻¹ (MAGyP, 2011). Los rendimientos por hectárea se duplicaron desde principios de la década de 1990 hasta la actualidad. En los primeros años del 2000 el incremento en el uso de fertilizantes, la siembra de precisión, la mayor superficie regada, junto con la mayor difusión de híbridos transgénicos, determinó un mayor incremento de los rendimientos que alcanzó una media de 6475 kg ha⁻¹ para las cosechas comprendidas entre los años 2000 y 2006. (Rossi, 2007).

Una adecuada labor de siembra se define como aquella donde la diferencia entre la cantidad de plantas posibles de obtener y las emergidas es mínima, la separación entre ellas es uniforme y el tiempo transcurrido para emerger es el mínimo para el conjunto de la población (Maroni & Gargicevich, 1998).

En cultivos de escarda como el maíz se utilizan sembradoras de precisión, también denominadas monograno (Baumer, 1999). Con estos equipos el logro de una adecuada población, bien distribuida, está asociado a la capacidad del dosificador de la máquina sembradora para entregar las semillas una por una (Maroni et al., 2004). En teoría, las sembradoras de precisión ubican las semillas en los lugares requeridos otorgando a cada semilla una adecuada superficie disponible (Karayel & Özmerzi, 2002). Sin embargo, las prestaciones de este tipo de sembradoras, en términos de calidad de distribución, son afectadas por diversos factores entre los cuales puede mencionarse la velocidad de siembra (Armando et al., 2005; Nielsen, 1995; Valentinuz et al.; 2007), el tipo de dosificador (dos Rei & Alonço, 2001), el mantenimiento y operación de la máquina (Maroni et al., 2001), el régimen de giro de la placa de siembra (Barut & Özmerzi, 2004), el nivel de vacío en sembradoras neumáticas (Singh et al., 2005), el tamaño y forma de los alvéolos (Yazgi & Degirmencioglu, 2007), la agresividad del enrasador (Murray et al., 2006), la altura de descarga de la semilla respecto del fondo del surco (Wanjura & Hudspeth, 1969), la geometría del tubo de bajada (Raoufat & Matbooei, 2007), los tratamientos sobre la superficie de la semilla (Jasper et al., 2006a; Saaby et al., 2006), la uniformidad de la semilla (Tesouro et al., 2004), y el tipo de abresurco (Erbach et al., 1972).

La uniformidad de distribución de plantas será diferente de la uniformidad de distribución de semillas debido a que no todas las semillas se convierten en plantas y muchos de los factores que condicionan esta diferencia no son explicados por las prestaciones de la sembradora en términos de distribución (Kachman & Smith, 1995). Dentro de estos se incluyen la calidad de la semilla, el efecto de enfermedades y plagas y la calidad del ambiente para favorecer una rápida emergencia y establecimiento del cultivo (Lauer & Rankin, 2004). Este último aspecto mencionado, está influenciado por la temperatura del suelo, el potencial mátrico y la distribución del tamaño de agregados (Schneider & Gupta, 1985).

En la labor de siembra realizada con sembradoras de precisión las fallas y duplicaciones pueden tener distinto

origen. La variabilidad en la ubicación de la semilla puede estar dada por la falta de entrega, la entrega múltiple, la caída fuera del surco, el desplazamiento dentro del surco por rodado o el movimiento cuando son cubiertas con suelo (Panning et al., 2000). Estas causas condicionan distintas características de tales defectos de la siembra con impactos diferentes en la densidad poblacional.

Al analizar un cultivo resulta evidente que la densidad poblacional estará condicionada por la relación entre las entregas múltiples y las fallas que se registren. Una mayor proporción de una u otra determinará un incremento o una disminución de la densidad del cultivo respectivamente. Las plantas de maíz irregularmente distribuidas en la línea de siembra representan una combinación de altas y bajas densidades (Liu et al., 2004a). Por el contrario la desuniformidad en la línea de siembra estará condicionada por la dispersión respecto de la distancia de referencia, lo cual implica que una situación de acercamiento y/o de distanciamiento entre plantas la incrementará (Liu et al., 2004a).

La evaluación de la distribución: Cuantificación de la desuniformidad.

El área disponible para una planta queda definida por el espaciado entre surcos y el promedio de las distancias que la separan de sus vecinas de la misma línea de siembra (Martin et al., 2005). Uno de los criterios más importantes de evaluación de las prestaciones de una sembradora de precisión es la uniformidad lograda en los distanciamientos entre semillas de la misma línea (Karayel et al., 2006).

El desempeño de sembradoras de precisión en términos de calidad de distribución, es evaluado utilizando el criterio de los índices de *Aceptables (A)*, *Múltiples (D)* y *Fallas (F)* que califican la eficiencia de carga de los alvéolos y el índice de precisión (P) que utiliza el desvío estándar para calificar el grado de precisión de las aceptables, establecidos por la Norma ISO 7256/1. Esta metodología ha sido utilizada por diversos autores que evaluaron las prestaciones de sembradoras o de sistemas de dosificación en particular (Panning et al., 2000; Özmerzi et al., 2002; Tesouro et al., 2004; Singh et al., 2005; Jasper et al., 2006a; 2006b; Celik et al., 2007; D'Amico et al., 2007a; 2007b). En otras publicaciones revisadas no se informa la utilización de los mencionados índices pero se adopta, de cierta manera, el mismo criterio al evaluar la ocurrencia de entregas múltiples o de falta de entrega de semillas por parte de un sistema dosificador (Maroni et al., 2004; Maroni & Fernández Asenjo, 2006).

La mayoría de los investigadores, que trabajan en la determinación del efecto que la desuniformidad de distribución tiene sobre el rendimiento del maíz, utilizan el Desvío estándar de la separación de semillas (DST) como medida de desuniformidad (Erbach et al., 1972; Vanderlip et al., 1988; Nielsen, 2003; Liu et al., 2004a; 2004b; Martin et al., 2005; Olmos & Menéndez, 2005; Valentinuz et al., 2007). Nafziger (1996) estudió la respuesta del rendimiento del cultivo de maíz a la ocurrencia de plantas apareadas y/o de plantas separadas mientras que Gargicevich et al., (2005) trabajó estudiando la respuesta de plantas apareadas a las que calificó como plantas en situación de alta competencia.

Esta diferencia de metodologías en la medición de la desuniformidad cuando se la evalúa como consecuencia de la labor de siembra y cuando se la cuantifica como causa de la merma de rendimientos, condiciona la utilidad de la información generada por ambos grupos de investigadores, resultando muy difícil lograr una asociación directa entre las prestaciones de la sembradora y el rendimiento del cultivo debido a que las variables no son comparables. Por otra parte, Gargicevich (2003) afirma que el DST no es una medida confiable para predecir y/o caracterizar diferencias de rendimientos atribuibles a la desuniformidad espacial, lo cual es coincidente con lo informado por Kachman & Smith (1995) quienes también afirman que la utilización de los índices adoptados por la Norma ISO 7256/1 (ISO, 1984) resulta ser un método más idóneo para resumir las principales características de la distribución de semillas.

Impacto de la desuniformidad de distribución en el cultivo de maíz: Efecto sobre el rendimiento.

La distribución uniforme de plantas aumenta la tolerancia del maíz a condiciones de estrés (Tollenaar & Wu, 1999). Las fallas que presentan las sembradoras en transferir las semillas desde el mecanismo de distribución hasta el suelo producen una distribución irregular de las plantas a lo largo del surco que atenta contra la captura y uso eficiente de los recursos y representa un específico tipo de estrés (Valentinuz 2007). Sin embargo, los resultados reportados por diversos autores son contradictorios en lo que respecta al efecto que la desuniformidad tiene sobre el rendimiento. Olmos & Menéndez (2005) informaron mermas de rendimiento de hasta 147 kg ha⁻¹ por cada centímetro de DST con densidades de 7,1 pl m⁻², pero no encontraron efecto alguno de la desuniformidad sobre el rendimiento con una densidad poblacional de 5,8 pl m⁻². Nielsen (2003; 2004) informa una merma de 60 kg ha⁻¹ por cada 2,5 cm de incremento en el DST sobre un umbral de 5 cm. En coincidencia Krall et al., (1977) y Vanderlip et al., (1988) también afirman que el incremento del DST provoca mermas de rendimiento. Gargicevich et al., (2005) informan que la ocurrencia de plantas apareadas sin que sea modificada la densidad poblacional del cultivo, produce disminuciones significativas de rendimiento.

Trabajando con distribuciones que presentan menos del 20% de intervalos considerados Aceptables y una separación media de 15,4 cm, Nielsen (2004) reporta que la merma de rendimiento es de 1,14% por cada 16,6% que se incrementa el CV por encima de 33,3%. Liu et al. (2004b) trabajaron con una separación entre plantas de 18,4 cm y reportan que en distribuciones con una desviación estándar de hasta 23,9 cm, se produce una pérdida de 35,6 Kg ha⁻¹ por cada centímetro que se incrementa el desvío por encima de un umbral de 6,5 cm. Considerando que el rendimiento por hectárea fue de aproximadamente 10800 kg, la merma informada representa 0,33 % por cada 5,43% que aumenta el CV sobre una base de 35,32 %. Por último los autores informan que estos patrones de distribución, fueron obtenidos con una sembradora tipo *Air Drill* a una velocidad de 11,3 kilómetros por hora (3,14 m/s). Al respecto puede decirse que la máquina y la velocidad de avance no resultan apropiadas, al menos en la

Argentina, para la siembra de maíz (Delafosse, 1986). Tesouro et al. (2009) evaluaron 27 lotes comerciales de maíz sembrados con máquinas de precisión y encontraron un índice de aceptables en el rango del 54 al 91% y CV del 30 al 79%, muy por debajo de lo informado por Nielsen (2004) y Liu et al. (2004b).

El cultivo más irregular relevado por Tesouro et al. (2009) presentó un CV que supera en 46 unidades la base propuesta por Nielsen (2004), si sobre esta base se aplica la tasa de merma de rendimiento establecida por este autor, un cultivo con sólo el 54% de las separaciones ubicadas dentro de las 0,5 y 1,5 veces la distancia teórica de siembra tendría una pérdida atribuible a la desuniformidad en el arreglo espacial del orden del 3,2%. Del mismo modo, si se tomara la base y la tasa de pérdida de rendimiento informada por Liu et al. (2004b), el peor arreglo espacial registrado por Tesouro et al. (2009) presentaría una merma del orden del 2,7% por efecto de una inadecuada distribución. En contraposición, otros investigadores (Erbach et al., 1972; Liu et al., 2004a; Valentinuz et al., 2007) reportan que no existe una asociación entre la desuniformidad de distribución y el rendimiento en grano. Lauer & Rankin (2004) informan que las mermas de rendimientos son despreciables con niveles de desuniformidad por debajo de 12 cm de DST. Por su parte Gargicevich (2003) también informa que no existe efecto de la desuniformidad sobre el rendimiento al trabajar con patrones de distribución que no presentan fallas y/o entregas múltiples.

Estos resultados contradictorios podrían deberse a los diferentes factores que condicionan el efecto depresor de la desuniformidad sobre la producción por unidad de superficie. El efecto de la desuniformidad de distribución sobre el rendimiento depende de las características del genotipo (Andrade & Abbate, 2005). Estos autores afirman que los híbridos estables se caracterizan por una menor disminución de la biomasa ante la heterogeneidad y por sus menores umbrales necesarios para la producción de grano. En coincidencia, Valentinuz (2006) afirma que los híbridos podrían presentar una diferente respuesta a la desuniformidad de acuerdo a su habilidad para traducir en rendimiento en grano las variaciones de los recursos disponibles por planta.

Las condiciones ambientales también parecen tener influencia sobre la magnitud del efecto depresor que tiene la desuniformidad espacial sobre el rendimiento en grano. Valentinuz et al. (2007) informan que la deficiencia en la disponibilidad hídrica durante los meses en los que se desarrolla el periodo crítico del cultivo puede explicar la falta de asociación entre el rendimiento y la desuniformidad espacial.

Otros autores señalan aspectos metodológicos entre las causas de las contradicciones mencionadas. Para Nafziger (2006) la diversidad de respuestas que los investigadores reportaron frente a la irregularidad de distribución puede explicarse en que esa variabilidad no puede ser adecuadamente descripta por una medida como el desvío estándar. Nafziger (1996) afirma que tanto las fallas como las entregas múltiples contribuyen a incrementar el DST pero que ambos eventos generan respuestas inversas sobre el rendimiento, principalmente por sus efectos sobre la densidad poblacional del cultivo. Al respecto Liu et al. (2004a)

informa que en condiciones de campo la alta proporción de plantas separadas está asociada a altas proporciones de plantas agrupadas lo que provoca que los efectos opuestos que tienen sobre el rendimiento, mencionados por Nafziger (2006), se neutralicen mutuamente. Pero este equilibrio proporcional de fallas y entregas múltiples implica que no haya cambios en la densidad del cultivo.

Sin embargo algunos de los factores que condicionan las entregas múltiples y las fallas no se encuentran asociados y los principios físicos que pueden contribuir al incremento de entregas múltiples por parte del dosificador operan, en la mayoría de los casos, en detrimento del aumento de fallas y viceversa. En dosificadores neumáticos por depresión el incremento del régimen de la placa de siembra y el aumento del peso de las semillas genera un incremento de las fallas y una disminución de las duplicaciones (Barut & Ozmerzi, 2004). Asimismo, un mayor nivel de vacío empleado genera un incremento de las duplicaciones en detrimento de las fallas. En dosificadores mecánicos de placa alveolada, el aumento del régimen de la placa de siembra contribuye a incrementar las fallas mientras que las duplicaciones se ven favorecidas por la reducción de éste (Delafosse, 1986).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar el impacto de la distribución de plantas en la línea de siembra sobre el rendimiento del cultivo de maíz.

METODOLOGÍA

El ensayo se realizó en el campo experimental del Instituto de Ingeniería Rural - CNIA - INTA, en el partido de Hurlingham, provincia de Buenos Aires: 34° 36' 20,69" S; 58° 40' 2,56" O. La historia del lote es de 5 años de cultivo de soja (*Glycine max* M.) en siembra directa y el nivel de cobertura al momento de la siembra fue del 70%.

Para realizar la siembra se utilizó una sembradora marca Schiarre modelo Full Tekno SDX 2500 de siete surcos distanciados a 70 cm, traccionada por un tractor marca Deutz Modelo AX 120.

Características del tren de siembra:

- Cuchilla labrasurco de diseño turbo de 19 ondas y de 43,2 cm de diámetro.
- Abresurco: Doble disco de igual diámetro de 38,1 cm de diámetro.
- Rueda contactadora semilla - suelo: con banda de goma.
- Sistema limitador de profundidad: Doble rueda limitadora de profundidad de goma de igual diámetro apareadas al abresurco.
- Ruedas cerradoras de surco: Doble disco escotado con rueda de goma.

Características del sistema de dosificación:

- Mecánico de placa alveolada de eje vertical.
- Placa de siembra de 56 alvéolos distribuidos en dos circunferencias de 22 cm y 19,8 cm de diámetro respectivamente.

El tubo de bajada de semilla tiene una longitud de 58 cm, es metálico, recto y de forma tronco-piramidal. La

disposición presenta una inclinación de 10° respecto de la vertical, de tal manera que la boca de salida queda ubicada 10,1 cm por detrás de la boca de entrada. En función de este diseño la altura de caída de semilla desde que se libera del alveolo de la placa de siembra, es de 60,3 cm.

El mecanismo de enrase es mecánico, metálico, con regulación de la tensión del elemento enrasador. El mecanismo de expulsión de semilla es mecánico del tipo "gatillo".

La semilla empleada correspondió al híbrido DK 684 RR2, un material transgénico con resistencia al herbicida Glifosato (N-fosfometil glicina) producido por el semillero Dekalb -Monsanto. En términos morfológicos, la semilla utilizada corresponde a un calibre comercialmente clasificado como "redondo".

La siembra se realizó el día 29 de septiembre de 2007 a una velocidad de 6 km h⁻¹ (1,67 m s⁻¹) y la superficie sembrada fue de 2 hectáreas. La profundidad de siembra fue de 5 cm y la densidad teórica de 62 semillas cada 1000 centímetros lo que se corresponde con un distanciamiento entre semillas de 16,12 cm para una separación entre líneas de 70 cm.

Estos parámetros de densidad y velocidad de avance demandaron un régimen de la placa de siembra de 11,07 vueltas/minuto que se corresponde con una velocidad tangencial de 0,013 cm/seg de los alvéolos externos y de 0,011 cm seg⁻¹ de los alvéolos internos. En ambos casos, las velocidades fueron inferiores a las mencionadas por Delafosse (1986) como limitantes para logro de una adecuada distribución. También de acuerdo con este autor, los elementos de enrase fueron regulados para que mantuvieran una separación de 0,1 cm con la placa de siembra y la regulación de los elementos de expulsión se realizó para que penetraran hasta la mitad de la profundidad del alveolo.

La cosecha se realizó el 28 de febrero de 2008 luego de que el cultivo hubo alcanzado su madurez fisiológica.

Al momento de la cosecha, sobre lugares representativos del lote se determinaron al azar 4 sitios de muestreo de 0,01 ha de superficie, constituidos por 18 segmentos de surcos de 800 centímetros de longitud (Figura 1).

De acuerdo con Lauer & Rankin (2004) se consideró como sitio representativo del lote aquellos sectores que no presentaban plantas afectadas por factores que pudieran condicionar su normal desarrollo, como enfermedades o plagas. También se descartaron aquellas áreas que presentaron plantas con desarrollos anormales, plantas volcadas, visiblemente deterioradas o muertas.

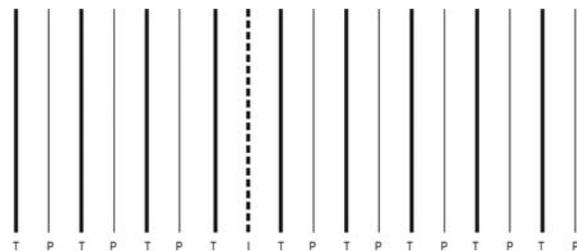


Figura 1: Esquema de muestreo en uno de los 4 sitios relevados

En cada sitio, para la línea I se individualizaron cada una de las plantas registrando la distancia, en centímetros, que las separaban de sus vecinas en la línea de siembra. Para las 8 líneas P se registraron los distanciamientos en la línea de siembra en centímetros y se recolectaron las plantas manteniendo la individualización para cada una de las líneas. Para las 9 líneas identificadas con la letra T se determinó la densidad poblacional mediante el recuento de plantas manteniendo la individualización por línea.

La trilla de las 4 líneas I se realizó manualmente y en forma individual registrando la producción de cada planta en gramos de grano por planta, mientras que la trilla de las líneas P y T se realizó manualmente pero en forma masal registrando el peso de grano producido por línea en gramos.

En todos los casos las espigas fueron secadas en horno eléctrico a 105 °C de temperatura hasta peso constante para uniformar el contenido de humedad de las muestras.

Para establecer el grado y el tipo de asociación entre la producción por planta y las dimensiones de la espiga se tomaron 58 espigas principales de diferentes tamaños de manera de abarcar todo el espectro de variabilidad morfológica para determinar la producción por planta (Líneas I). Se realizó la trilla manual y los granos recolectados se llevaron a horno eléctrico a 105 °C hasta peso constante para luego determinar la producción por espiga.

Siguiendo el criterio de Angeles-Gaspar et al. (2010) que sostiene que la longitud y el diámetro de las espigas son dos de las variables de mayor influencia para explicar el rendimiento en grano de maíz, para cada espiga se realizó una medición de la longitud total y dos mediciones del diámetro a la altura donde presentaba el mayor diámetro. Estas dos mediciones de diámetro, que luego fueron promediadas para generar una sola variable, se realizaron para atender la asimetría del órgano respecto de su eje principal.

Diseño Estadístico

Dado que sólo se estudiaron las variaciones de uniformidad y densidad ocurridas de manera espontánea, el diseño estadístico empleado es completamente al azar. Similar metodología fue empleada por Martin et al. (2005) para evaluar la respuesta del rendimiento del cultivo de maíz a la variabilidad en el rendimiento de las plantas.

Variables

Las variables explicativas como así también las variables respuesta se clasificaron en variables por individuo y variables por unidad de área. Las primeras fueron tomadas para cada una de las 183 plantas relevadas en las líneas I. Las variables por unidad de área fueron registradas en 36 líneas identificadas con las letras I y P y en las 36 líneas identificadas como T, que en este último caso sólo se emplearon para determinar diferencias de rendimiento por hectárea y densidad poblacional entre los 4 sitios relevados.

Variables Explicativas:

Variables explicativas individuales

Distancia mayor (D): Distancia en centímetros a la planta vecina más distante en la línea de siembra.

Distancia menor (d): Distancia en centímetros a la planta vecina más próxima en la línea de siembra:

Separación media (Sepa): Se obtuvo promediando las distancias en centímetros que separan a la planta de sus vecinas más próximas en la línea de siembra.

$$Sepa = \frac{D \oplus d}{2}$$

donde *D* es la distancia que la separa de su vecina más distante y *d* la que la separa de su vecina más próxima.

Asimetría (C): A fin de caracterizar la posición de la planta dentro del espacio lineal que le corresponde (Sepa) se determinó un coeficiente de asimetría (Tesouro et al., 2009) de acuerdo con la fórmula:

$$C = \left\{ 1 - \left[\frac{D - \left(\frac{D \oplus d}{2} \right)}{\left(\frac{D \oplus d}{2} \right)} \right] \right\} \otimes 100$$

donde *D* es la distancia que la separa de su vecina más distante y *d* la que la separa de su vecina más próxima. Debido a que expresa una proporción se le realizó la transformación angular según:

$$\text{Arco seno } C = \text{Arcsen}((C/100)^{1/2}) \times \pi \times 180^{-1}$$

A partir de la relación entre las distancias que separan al individuo de cada uno de sus vecinos es posible obtener una medida de desuniformidad completamente dissociada de la densidad, lo que permite estudiar separadamente los efectos de cada uno de estos dos factores, cuando se trabaja con muestras de poblaciones comerciales, sin un arreglo espacial diseñado arbitrariamente.

Condición: En función de las distancias que la separan de sus dos vecinas en la línea de siembra y de los criterios de la norma ISO 7256/1 se clasificó a cada individuo de acuerdo a si está separado por distancias consideradas Aceptable (A), Entrega Múltiple (D) o Falla (F). Dado que se consideraron las dos distancias, la identificación de cada una de las situaciones se realizó con dos letras indicando la clasificación de cada una de estas separaciones.

Variables explicativas poblacionales

Desvío estándar de la separación entre plantas (DST): El desvío estándar de una variable es igual a la raíz cuadrada de la suma de todas las diferencias de cada uno de los valores de la variable respecto de la media, elevada al cuadrado, dividida la cantidad de valores.

$$STD = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}$$

Coefficiente de Variación de la separación entre plantas (CV): El coeficiente de variación de una población determinada es igual al desvío estándar de esa muestra dividido por la media y multiplicado por 100.

$$CVS = \frac{STD}{\bar{X}} \otimes 100$$

Debido a que expresa en porcentaje se realizó la transformación angular de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Arco seno CV} = \text{Arcsen}((CVS/100)^{1/2}) \times \pi \times 180^{-1}$$

Los porcentajes y las proporciones requirieron una transformación ya que generalmente no siguen una distribución Normal. En estos casos la transformación angular es especialmente apropiada (Serrano Gallego, 2003).

Índice de Semillas aceptablemente sembradas (A): esta medida de uniformidad en la distribución de semillas está basada en la Norma ISO 7256/1 la cual considera como aceptable a toda aquella semilla ubicada en el surco a una distancia comprendida entre 0,5 X_{ref} y 1,5 X_{ref} , siendo la distancia de referencia (X_{ref}) la separación teórica entre semillas. Debido a que se expresa en porcentaje se le realizó la transformación angular según:

$$\text{Arco seno A} = \text{Arcsen}((A/100)^{1/2}) \times \pi \times 180^{-1}$$

Índice de Entregas múltiples o Duplicaciones (D): Es el porcentaje de semillas ubicadas a distancias menores a las 0,5 X_{ref} . Debido a que se expresa en porcentaje se le realizó la transformación angular según:

$$\text{Arco seno D} = \text{Arcsen}((D/100)^{1/2}) \times \pi \times 180^{-1}$$

Índice de Fallas (F): Corresponde al porcentaje de semillas ubicadas a distancias superiores a las 1,5 veces la distancia de referencia. Debido a que se expresa en porcentaje se le realizó la transformación angular según:

$$\text{Arco seno F} = \text{Arcsen}((F/100)^{1/2}) \times \pi \times 180^{-1}$$

Índice de Precisión (P): Representa el desvío estándar de las separaciones entre plantas de la misma línea que se encuentran dentro del rango de entre 0,5 y 1,5 X_{ref} .

Densidad (Dens.): Cantidad de plantas por unidad de superficie expresada en pl/ha.

Variables Respuesta:

Variables respuesta por individuo:

Producción individual (Prod.) en g planta⁻¹

Diámetro de la Espiga (Diámetro) en cm:

Largo de la Espiga (Largo) en cm.

Variable respuesta por unidad de área:

Rendimiento (Rend.) en kg ha⁻¹

Análisis de las variables por individuo.

Para determinar la asociación entre las variables se efectuaron análisis de regresión utilizando como variable dependiente la producción individual (Prod). Como variables independientes se utilizaron las que representan la densidad del cultivo (Sepa) con y sin la inclusión de la variable que caracteriza la posición del individuo dentro del espacio correspondiente (C). También se relacionó mediante análisis de regresión las variaciones que presentó la variable Prod en función de las variaciones de d y D.

Los criterios utilizados para determinar el mejor grado de ajuste de los modelos utilizados se basaron en la Suma de Cuadrados del Error y la coherencia biológica del modelo (Noguera et al., 2008), el Cuadrado Medio del Error, el Coeficiente de Determinación, el análisis de los residuales y de los residuos estudentizados.

El análisis de varianza se realizó tomando como variable de clasificación la variable *condición* y como variables dependientes las variables *separación media*, *producción individual* y *coeficiente de asimetría*. Las comparaciones de medias se realizaron por medio del test de LSD.

Análisis de las variables por unidad de área.

Con los valores de rendimiento en kg ha⁻¹ y densidad en pl ha⁻¹ registrados en las líneas T se realizó un análisis de varianza para detectar diferencias entre los 4 sitios de muestreo.

A partir de la información relevada en las líneas I y P se estudió la existencia de relaciones entre el rendimiento del cultivo y la uniformidad y densidad. Para ello se realizaron análisis de regresión simple y múltiple por mínimos cuadrados totales.

El rendimiento del cultivo fue empleado como variable dependiente. También se realizaron regresiones entre las variables consideradas explicativas para estudiar las variaciones que se dan entre ellas.

A fin de evitar la influencia diferencial de factores micro-ambientales que pudieran estar asociadas principalmente a la calidad del suelo y/o al relieve se realizó un análisis de varianza para detectar diferencias de rendimiento entre los sitios relevados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento promedio de todas las muestras fue de 4634,87 kg ha⁻¹. Las diferencias entre sitios no resultaron estadísticamente significativas. Expresado en términos porcentuales, el sitio que presentó el mayor rendimiento superó en un 4,76% al de menor producción por unidad de superficie y en sólo un 1,91% al rendimiento promedio de todas las muestras.

La densidad promedio de las 36 muestras evaluadas fue de 87557,70 plantas por hectárea. Al igual que en el análisis del rendimiento no se detectaron diferencias significativas para los cuatro sitios evaluados, registrándose una diferencia porcentual del 1,68% entre el sitio 1 y el sitio 4 que presentaron el valor máximo y mínimo respectivamente.

El rendimiento del cultivo fue inferior a los rendimientos históricos para la zona donde se realizó la experiencia. Presumiblemente la escasez de lluvias, registradas en los meses del año en los que se desarrolla el período crítico del cultivo, condicionó la expresión de un mayor potencial de rendimiento.

A. Análisis por individuo

A1. Respuesta de la producción de grano por planta a las variaciones de espacio disponible.

Los valores observados para la variable Sepa presentaron una menor dispersión respecto a la media muestral, la cual arrojó un valor de 16,87 cm que resultó un 4,63% mayor a la separación teórica (X_{ref}) de 16,12 cm.

Respecto de la variabilidad observada para la variable Prod, presenta un valor medio de 53,83 g, una relación máximo/mínimo de 5,83 y un desvío estándar de 14,45 g lo que determina un coeficiente de variación de 26,84%, lo cual es coincidente con lo informado por Edmeades & Daynard (1979) y Andrade & Abbate (2005) quienes observaron CV para la producción por planta de entre 21% y 30% para una densidad poblacional de 8 pl m⁻².

Relacionando ambas variables mediante la producción por unidad de superficie que presentó cada planta, el mayor rendimiento obtenido fue de 9246,92 kg ha⁻¹ y correspondió a una planta con una producción de 43,69 g y una separación media de 6,75 cm. Por su parte, el menor rendimiento registrado alcanzó los 1179,34 kg ha⁻¹ merced a una producción de 18,57 g para una separación media de 22,5 cm.

Si bien el rendimiento máximo obtenido resulta 7,84 veces superior al mínimo, esta disparidad observada es menor a la reportada por Martin et al. (2005) quienes informan que el rendimiento de las plantas con mayor producción por unidad de superficie es en promedio 11,1 veces mayor que el registrado para las plantas que menos rindieron, llegando a observar valores de hasta 22,4 veces para esta razón entre rendimiento máximo y mínimo.

La producción individual en granos por planta resultó dependiente del espacio disponible cuantificado a partir de la separación en la línea de siembra. Esta variación de la producción de las plantas, proporcional a la modificación del espacio, resultó altamente significativa (Figura 2). Tomando como variable dependiente el valor promedio que asume Prod para cada valor de Sepa registrado, el modelo de regresión lineal simple logra explicar una mayor porción de la variabilidad manteniendo una alta significancia estadística.

A2. Respuesta a las variaciones de uniformidad

La inclusión del coeficiente de asimetría C en el modelo anteriormente utilizado (Figura 2) para evaluar la respuesta de la producción individual (Prod) a las variaciones de la separación media (Sepa) no logró significancia. Tampoco se obtuvo significancia con el modelo simple que la tiene como única variable dependiente.

De la clasificación en función de la variable Condición surgieron cuatro grupos de individuos. Uno de estos, Condición AA, se compone por 145 plantas que están separadas de sus vecinas en la línea de siembra por dos distanciamientos considerados aceptables. El grupo AF se compone de 25 plantas que tienen a una de sus vecinas separada por una distancia aceptable y a la otra por una falla. El conjunto AD está integrado por las 9 plantas que presentan una de sus separaciones aceptable y la otra considerada duplicación. Por último, el cuarto grupo de Condición DF, reúne a las 4 plantas que están separadas de sus vecinas por un distanciamiento considerado una falla, siendo el otro una duplicación. Cada una de estas cuatro condiciones reúnen individuos con distintos espacios disponibles, pero también con distintas posiciones relativas dentro de ese espacio con que cuentan. En la figura 3 se muestran los diferentes grupos en función de estas dos variables.

El análisis de varianza para las variables Separación media, Producción y Coeficiente de asimetría, tomando como factor de clasificación la variable Condición se presenta en la Tabla 1.

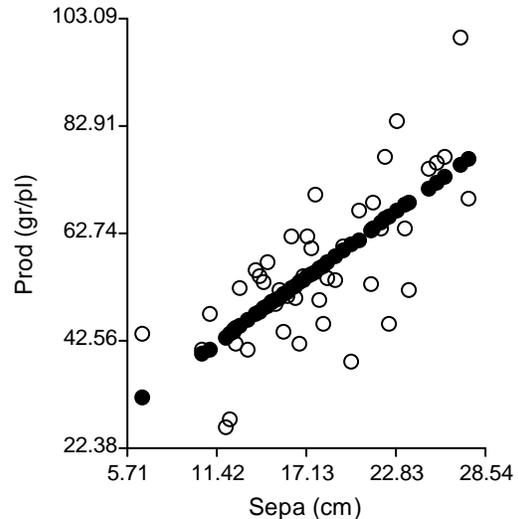


Figura 2: Respuesta de la producción individual (Prod) al espacio disponible representado por la Separación media (Sepa). $Prod = 2,16 Sepa + 17,09$. $R^2 0,53$. $p > F 0,0001$. $SCE = 4214,54$

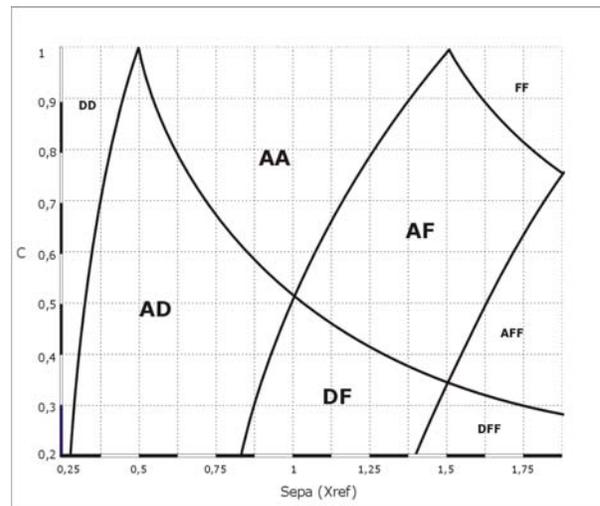


Figura 3: Diferentes niveles teóricos de simetría C y de separación media Sepa expresada en separación teórica (Xref) que pueden presentar los individuos agrupados de acuerdo a la Condición.

Tabla 1: Análisis de varianza para Sepa, Prod y C en función de la variable Condición. Media: Valor medio para la variable; Grupos homogéneos: Letras iguales se corresponden a grupos con medias estadísticamente iguales; % Var_A: Variación porcentual respecto de la condición AA; dms: diferencia mínima significativa en la comparación de medias. Método de comparación de medias LSD Fisher a una significancia del 5%.

| Condición | Sepa (cm) | | Prod (gr pl ⁻¹) | | Arco seno C | |
|-----------|-----------|-------------------|-----------------------------|-------------------|-------------|-------------------|
| | Media | %Var _A | Media | %Var _A | Media | %Var _A |
| AD | 12,22 c | -24,08 | 46,79 c | -10,77 | 43,80 c | -35,50 |
| AA | 16,10 b | - | 52,43 b | - | 67,91 a | - |
| DF | 15,81 b | -1,86 | 57,63 b | +9,91 | 36,14 d | -46,78 |
| AF | 23,14 a | +43,64 | 63,89 a | +21,83 | 56,88 b | -16,24 |
| Dms | 1,28 | | 8,91 | | 5,76 | |

En el caso de las plantas clasificadas como AF las tres variables analizadas presentaron diferencias significativas respecto del conjunto AA. Un incremento del orden del 22% de la producción se logró merced a un aumento de prácticamente el 44% de la separación entre plantas. Este incremento resultó coincidente con los resultados presentados por Pommel & Bonhomme (1998) quienes informan incrementos de próximos al 25% y Nafziger (1996) quien sostiene que las dos plantas vecinas a una falla pueden compensar hasta un 47% de la merma de producción ocasionada por a la ausencia de una planta.

Los individuos de la población clasificados como AD, presentaron diferencias significativas para las variables Sepa y C respecto de la condición AA. La reducción del distanciamiento en aproximadamente un 24% provocó una baja en la producción de algo menos del 11%, lo cual es coincidente con lo informado Liu et al. (2004c) y Gargicevich (2003).

Las plantas en condición DF sólo se diferenciaron estadísticamente de las AA en la simetría. La ausencia de significancia en la diferencia observada para la variable Prod, fue también informada por Liu et al. (2004c).

La respuesta de la variable Prod resultó significativa frente a la distancia al vecino más cercano (d) ($F=2,51$ $p=0,0131$) y la distancia al vecino más alejado (D), ($F=4,31$ $p<0,0001$) cuando estas dos fueron empleadas conjuntamente como variables independientes en un análisis de regresión.

En la Figura 4, se muestra un plano de respuesta de la producción individual frente a las variaciones de estas dos distancias que separan a cada planta de sus vecinos en la línea de siembra. En esta figura puede verse que las líneas que delimitan las áreas del plano con diferente nivel de producción, mantienen un cierto paralelismo con las líneas de trazos, indicadoras de la separación media. En función de ello puede notarse, que la producción individual de las plantas observadas estuvo asociada a cambios en la separación media y no a las variaciones en la asimetría.

La producción de cada uno de los individuos resultó afectada por la cantidad de espacio de que disponen, independientemente de cual sea la cercanía a uno de sus vecinos. En cierta medida podría presumirse que la mayor competencia por los recursos que establece un individuo con su vecino más cercano es, de alguna manera, atenuada por el menor nivel de competencia que le ofrece su vecino más distante.

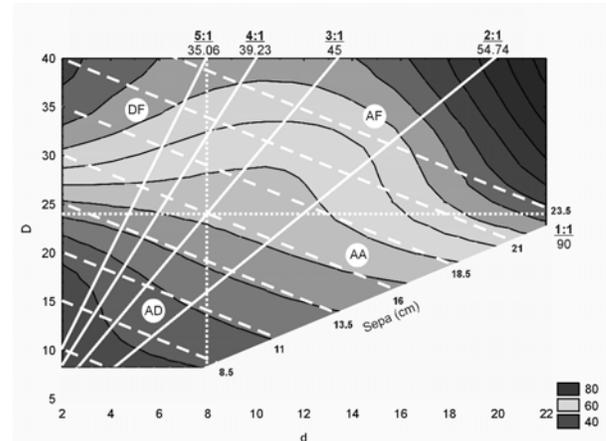


Figura 4: Plano de respuesta de la producción individual (Prod, g pl⁻¹) a las variaciones de las distancias entre sus vecinos en la línea de siembra (interpolación polinómica spline). Referencias: D: Distancia al vecino mas alejado (cm); d: Distancia al vecino mas cercano (cm); Sepa: Separación media (cm); Líneas enteras blancas: Isolinias que unen puntos con iguales relaciones de D/d (Para cada línea se indica el valor de esta relación y el valor correspondiente del coeficiente de asimetría C expresado en Arc seno de C); Líneas de trazos: Isolinias que unen puntos con iguales separaciones medias; Líneas de puntos: Límites de las áreas del plano ocupadas por cada condición.

B. Análisis por unidad de área

La densidad del cultivo presentó un CV de 9,18% (Tabla 2) y resultó similar al informado por Lauer y Rankin (2004) para un relevamiento realizado sobre 127 lotes comerciales de maíz.

Tabla 2: Valores máximos y mínimos para la densidad del cultivo en pl ha⁻¹ y los índices A, D y F en %.

| | Máximo | Mínimo |
|----------|------------|-----------|
| Densidad | 119.068,79 | 72.097,11 |
| A | 100 | 66,67 |
| D | 20 | 0 |
| F | 23,07 | 0 |

El rendimiento del cultivo tuvo una variación proporcional positiva al incremento de la densidad poblacional. En la Figura 5 se observa el modelo que mejor explicó las variaciones de rendimiento resultando ser el lineal simple, con la variable densidad elevada a la primera potencia como dependiente.

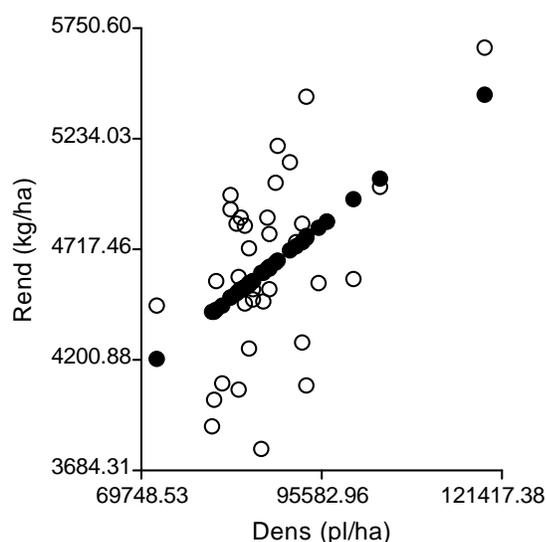


Figura 5: Respuesta del rendimiento a las variaciones de densidad poblacional. $Rend = 2323.65 + 0,03 dens$. Coeficiente de determinación, $R^2=0,25$. $F= 10,93$; $p=0,0023$. Cuadrado medio del error = 140091,27; Error estándar para la estimación de la variable independiente = 0,03

En el estudio por unidad de área, las variables que cuantifican la densidad y las que cuantifican la desuniformidad están estrechamente relacionadas, lo cual se debe a que las variaciones de los índices A, D y F responden a cambios que se dan simultáneamente en la dispersión de los espaciamientos en la línea de siembra respecto de la media y en la densidad poblacional (Tabla 3).

Tabla 3: Regresiones simples entre los índices A, D y F y el coeficiente de variación de la separación en la línea de siembra (Arco seno CV). R^2 : Coeficiente de determinación; b y Cte: Estimadores de los parámetros de la regresión.

| Variable independiente | R^2 | b | Cte. | F Pr>F |
|------------------------|-------|-------|-------|---------------------|
| Arco seno A | 0,69 | -0,54 | 73,68 | 77,56 $p<0,0001$ |
| Arco seno D | 0,23 | 0,35 | 31,60 | 9,98 $p=0,0034$ |
| Arco seno F | 0,48 | 0,51 | 28,06 | 32,04 $p<0,0001$ |

La asociación entre el incremento proporcional de las condiciones de distribución anómalas y la medida de dispersión de los distanciamientos en la línea de siembra es coincidente con lo informado por Liu et al. (2004a) y Lauer y Rankin (2004) quienes informan que la ocurrencia de fallas tiene un mayor impacto sobre el CV; consecuentemente se produce una asociación inversa entre esta variable y el porcentaje de separaciones consideradas aceptables (Figura 6). Respecto de la respuesta de la densidad poblacional frente a estas mismas variables también resultan esperables los resultados obtenidos, mientras que el incremento de las duplicaciones tiende a incrementar la densidad, un aumento de la proporción de fallas genera una disminución de ésta.

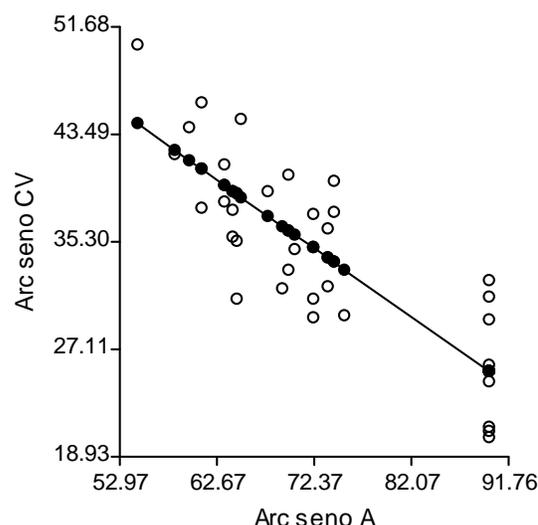


Figura 6: Respuesta del coeficiente de variación de la separación en la línea de siembra (Arc seno CV) a las variaciones en el porcentaje de separaciones consideradas aceptables (Arc seno A). $Arco\ seno\ de\ CV = 73,68 - 0,54\ Arco\ seno\ A$. $p<0,0001$.

En el caso del índice A, la falta de significancia indicaría que un incremento de la proporción de separaciones consideradas aceptables, no genera cambios en la densidad poblacional, en la medida en que esté acompañado de una proporción equilibrada de fallas y duplicaciones. Este último hecho resulta más claramente descrito con los resultados que se presentan a continuación.

Un análisis de regresión entre el índice A y la densidad poblacional ($pl\ ha^{-1}$) tomando las muestras compuestas por fallas y separaciones aceptables, y las conformadas por separaciones aceptables únicamente, demuestra que un aumento del índice A, generado a partir de la disminución de la fallas, provoca un incremento de la densidad ($F=14,64$; $p<0,001$).

Del mismo modo al tomar las muestras que se componen de separaciones consideradas duplicaciones y aceptables y de separaciones consideradas aceptables únicamente, el análisis de regresión con las mismas variables que en el caso anterior, evidencia que

el aumento de A en detrimento de las duplicaciones genera una disminución de la densidad ($F=20,71$; $p=0,0005$).

Al evaluar las variaciones del rendimiento respecto del incremento de las medidas de dispersión de la separación entre plantas en la línea de siembra no se logró establecer relación alguna.

En la presente experiencia los valores mínimos y máximos de DST fueron de 2,07 y 11,07, se correspondieron con valores de CV de 12,17 y 59%, y resultaron similares a los empleados por Liu et al. (2004a) y Valentinuz et al. (2007) con los cuales también es coincidente la falta de respuesta del rendimiento a la dispersión en la línea de siembra. Sobre estos resultados obtenidos, los primeros autores sostienen que estos niveles de irregularidad en el arreglo espacial no resultan suficientemente elevados como para afectar el rendimiento. Para los segundos investigadores, la incidencia de un déficit hídrico sufrido por el cultivo durante el periodo crítico podría ser la causa de esta falta de asociación. Sin embargo Giuliano et al. (2005) informa que la desuniformidad espacial no afectó el rendimiento del cultivo cuando este se desarrolló sin limitaciones hídricas ni nutricionales y con la presencia de plantas dominantes y dominadas.

Lauer y Rankin (2004) informan mermas de rendimiento cercanas al 1% por cada centímetro que se incrementa el desvío estándar, una vez que la desuniformidad en la línea de siembra supera el 67,5% de CV, desuniformidad que según estos autores sólo es superada en menos del 5% de los lotes comerciales y que resultó superior a los máximos niveles registrados en esta experiencia.

Aplicando la tasa de merma formulada por Nielsen (2004) para las 36 líneas relevadas en esta experiencia, el promedio de merma de rendimiento fue de sólo 0,3% con un máximo de 1,76 % que se corresponde con un CV en la línea de siembra de 59%. Por otra parte sólo en la mitad de los casos se observaron niveles de desuniformidad mayores al 33,3% de CV, que es la base sobre la cual este autor registró pérdidas de

rendimiento. Del mismo modo, aplicando el criterio de merma de rendimiento reportado por Liu et al (2004 b) sobre las muestras relevadas en este trabajo, se observó que el 40% de los casos superó el 35,32% de CV que es el máximo nivel de desuniformidad en la línea de siembra sobre el cual los autores informaron mermas de rendimiento. Las pérdidas alcanzaron un promedio de 0,2% con un máximo de 1,44%.

Analizando la significancia obtenida por los modelos y los valores que adquirió el coeficiente b en cada caso, surge que el rendimiento mantuvo una variación proporcional similar a la que manifestó la densidad poblacional frente a estas mismas variables independientes. Del mismo modo, las variaciones de densidad y de rendimiento son explicadas más acabadamente por el modelo que cuenta conjuntamente con los índices D y F como variables independientes. (Tablas 4 y 5).

Mientras que el incremento de las duplicaciones tiende a aumentar la densidad y el rendimiento, una mayor proporción de fallas provoca el efecto inverso, lo cual es coincidente con lo informado por Nafziger (1996) y Liu et al (2004a). La situación de equilibrio que se dé entre los aportes al rendimiento de las Fallas y las Duplicaciones estará condicionada a que se mantenga compensada la densidad poblacional.

En términos porcentuales, los modelos presentados en las Tablas 4 y 5 muestran que por cada unidad de incremento en el índice F se producen reducciones del 0,5% en la densidad poblacional y del 0,48% en el rendimiento. Nafziger (1996) reporta mermas de 0,52% y Pommel & Bonhomme (1998) del 0,84%.

En el caso de las duplicaciones, por cada unidad de incremento del índice D se producen aumentos de 0,47% en la densidad poblacional y de 0,58% en la producción por unidad de superficie.

Del análisis de los resultados obtenidos en las observaciones en el contexto de unidad de área, surge que la respuesta del rendimiento del cultivo sólo estuvo asociada a las variaciones de densidad que pueden estar ocasionadas por la distribución anómala de plantas en la línea de siembra.

Tabla 4: Regresión múltiple entre los índices D y F, y el rendimiento del cultivo (Rend) expresado en $kg\ ha^{-1}$. R^2 : Coeficiente de determinación; b y Cte: Estimadores de los parámetros de la regresión.

| Variables independientes | R^2 | b | Cte. | $\frac{F}{T} \frac{Pr>F}{Pr>t}$ |
|--------------------------|-------|--------|----------|---------------------------------|
| | 0,29 | | 4.676,38 | <u>6,68</u> $p=0,0038$ |
| Arco seno D | | 27,09 | | -2,36 $P=0,0248$ |
| Arco seno F | | -22,48 | | 2,84 $p=0,0078$ |

Tabla 5: Regresión múltiple entre los índices D y F, y la densidad del cultivo (Dens) expresado en $pl\ ha^{-1}$. R^2 : Coeficiente de determinación; b y Cte: Estimadores de los parámetros de la regresión.

| Variables independientes | R^2 | b | Cte. | $\frac{F}{T} \frac{Pr>F}{Pr>t}$ |
|--------------------------|-------|---------|-----------|---------------------------------|
| | 0,55 | | 90.812,45 | <u>19,40</u> $p<0,0001$ |
| Arco seno D | | 426,88 | | 4,39 $P=0,0001$ |
| Arco seno F | | -451,12 | | 4,39 $p=0,0001$ |

Tabla 6: Regresión múltiple entre las dimensiones de la espiga expresadas en mm y la producción en g planta⁻¹. R²: Coeficiente de determinación; b y Cte: Estimadores de los parámetros de la regresión.

| Variables independientes | R ² | b | Cte. | $\frac{F}{T}$ Pr>F Pr>t |
|--------------------------|----------------|--------|--------|-------------------------------|
| | 0,98 | | 166.26 | $\frac{3,53}{14,94}$ p<0,0001 |
| Largo | | 0,6623 | | 14,94 p<0,0001 |
| Diámetro | | -12,97 | | -5,42 p<0,0001 |
| Diámetro ² | | 0,211 | | 6,85 p<0,0001 |

Por otra parte, la posibilidad de diferenciar tales anomalías de la distribución en fallas y duplicaciones, de acuerdo a los criterios de la norma ISO, permite observar que otras medidas de dispersión comúnmente empleadas, como el desvío estándar o el coeficiente de variación, no caracterizan adecuadamente la desuniformidad del arreglo. Esto se debe a que el desvío estándar y el coeficiente de variación no logran detectar las variaciones de densidad que se pueden generar como consecuencia de una distribución irregular.

Al igual que las fallas, la ocurrencia de duplicaciones contribuye a incrementar la dispersión en la línea de siembra. Sin embargo, al analizar los aportes que las plantas en una y otra situación realizan al rendimiento resulta evidente que estos son opuestos. Este hecho, que puede explicarse principalmente por la respuesta del rendimiento a la densidad poblacional, fue también informado por Nafziger (1996).

C. Implicancias de la densidad y la uniformidad en las dimensiones de la espiga

Mediante un análisis de regresión y luego de un proceso de selección de variables donde fueron incluidas Diámetro y Largo de la espiga elevadas a la primera, segunda y tercera potencia, pudo establecerse que el largo de la espiga, el diámetro y el diámetro elevado a la segunda potencia explican el 98% del peso del grano producido por una espiga (Tabla 6).

Sobre la base de las variables que logran este ajuste, e hipotetizando que morfológicamente la espiga de maíz se asemeja a un cilindro, puede asumirse que la producción individual está en función de la superficie de este órgano.

Esta asociación tan estrecha entre la producción y las dimensiones de la espiga ponen de manifiesto que los cambios en la uniformidad del arreglo espacial, que se traduzcan en variabilidad de la producción individual, podrían repercutir en la irregularidad de tamaño de este órgano, pudiendo generar incrementos de las pérdidas de cosecha debido a problemas en la armonización del material con los sistemas recolectores y trilladores de la cosechadora.

En este sentido, Pozzolo (comunicación personal, 2009) afirma que en maíz, una gran proporción de las pérdidas de cosecha se producen durante el proceso de recolección, y una de las principales causas de ello es la variabilidad en el tamaño de las espigas. Severa (2005) informa que esta desuniformidad del tamaño de espigas, ocasiona que las espigas de menor tamaño sean muy difíciles de recolectar por lo tanto la máquina tiende a desgranarlas, también hay que tener en cuenta que estas espigas de menor tamaño tienen una menor humedad al momento de cosecha en relación a las

espigas de mayor tamaño, por lo tanto mientras más pequeñas, serán más susceptibles al desgrane. Esta problemática impone la necesidad de trabajar en la búsqueda de otras posibles causas de la variabilidad en el tamaño de la espiga que se originen por efecto de la labor de siembra.

CONCLUSIONES

- Si la densidad se mantiene constante, la desuniformidad de los espaciamientos en la línea de siembra no afecta el rendimiento del cultivo.
- El rendimiento del cultivo de maíz es afectado por las variaciones de densidad ocasionadas por las anomalías en la distribución de semillas.
- La variación de rendimiento por efecto de la calidad de distribución de plantas en la línea de siembra es mejor explicada por la proporción de fallas y duplicaciones que por el desvío estándar de los distanciamientos en la línea de siembra.

AGRADECIMIENTOS

A la Lic. Adriana Peralta, responsable de la biblioteca del Instituto de Ingeniería Rural –INTA Castelar por su cordial disposición y colaboración en la búsqueda de antecedentes bibliográficos.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, H.F. & P.E. Abbate.** 2005. Response of Maize and Soybean to variability in stand uniformity. *Agron. J.* 97: 1263 – 1269.
- Angeles-Gaspar, E., E. Ortiz-Torres, P.A. López, G. López-Romero.** 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molxacac, Puebla. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 33 (4): 287-296.
- Armando, M., M.C. Tourn & H. Rosatto.** 2005. Efecto de la velocidad de avance sobre la uniformidad de distribución y emergencia de maíz. *Actas del Congreso Argentino de Ingeniería Rural:* 77 – 81.
- Baumer, R.** 1999. Sembradoras y fertilizadoras para siembra directa. *Publicación Técnica. Serie Siembra Directa N° 2.* INTA. APRESID. Buenos Aires. Argentina. 345 pp
- Barut, Z.B. & A. Özmerzi.** 2004. Effect of different operating parameters on seed holding in the single seed metering unit of a pneumatic planter. *Turk Journal Agric* 28: 435 – 441.
- Celik, A; I. Ozturk, & T. Way.** 2007. Effects of various planters on emergence and seed distribution uniformity

- of sunflower. *Applied Engineering in Agriculture* 23 (1): 57-61.
- dos Reis, A.V. & A dos S. Alonço.** 2001. XXX Congreso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2001. 4 pp
- D'Amico, J.P., S. Duro, D. Paredes, M. Roba, A. Romito, L. Venturelli & O. Tesouro.** 2007a. Evaluación de un sistema dosificador neumático por depresión. Parte I: Ensayo con semilla de maíz". IX Congreso de Ingeniería Rural y Primero de MERCOSUR "La Ingeniería Rural y el cambio climático". Córdoba, 19 – 22 de Septiembre de 2007. pp: 61-68.
- D'Amico, J.P., S. Duro, D. Paredes, M. Roba, A. Romito, L. Venturelli & O. Tesouro.** 2007b. Evaluación de un sistema dosificador neumático por depresión. Parte II: Ensayo con semilla de girasol". IX Congreso de Ingeniería Rural y Primero de MERCOSUR "La Ingeniería Rural y el cambio climático". Córdoba, 19 – 22 de Septiembre de 2007. pp: 69-77.
- Delafosse, R.** 1986. Máquinas sembradoras de grano grueso. Santiago de Chile. FAO. 48 pp.
- Edmeades, G.O. & T.B. Daynard.** 1979. The developmental of plant to plant variability in maize at different planting densities. *Can. J. Plant Sci.* 59: 561–576.
- Erbach, D.C., D.E. Wilkins & W.G. Lovely.** 1972. Relationships between furrow opener, corn plant spacing and yield. *Agron J.* 64: 702 – 704.
- Gargicevich, A.** 2003. Efecto de la irregularidad en el espaciamiento interplantas en la línea de siembra sobre el rendimiento del maíz. Para mejorar la producción 23. INTA EEA Oliveros: 65 – 68
- Gargicevich A.L. J. Maroni, C. Asenjo & C. González.** 2005. Efecto de la dispersión en el espaciamiento entre las plantas sobre el rendimiento del maíz. VIII Congreso Nacional del Maíz. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. pp: 94 – 96.
- Giuliano, G., A. Cirilo & M. Otegui.** 2005. Desuniformidad espacial y temporal de plantas en el cultivo de maíz: Influencia de la densidad y la distancia entre surcos. VIII Congreso Nacional del Maíz. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. pp: 71.
- ISO.** 1984. International Organization for Standardization. Sowing equipment - Test Methods - Part 1: Precision drills for sowing in lines. 7256/1. 12 pp.
- Jasper, R, U. Janszen, M. Jasper & L. Garcia.** 2006a. Distribuição longitudinal e germinação de sementes de milho com emprego de tratamento fitossanitário e grafite. *Eng. Agríc., Jaboticabal* vol. 26 (1): 292 – 299.
- Jasper, R, M. Jasper & L. Garcia.** 2006b. Seleção de sementes de milho durante a simulação da sementeira com disco perfurado horizontal. *Eng. Agríc., Jaboticabal* vol. 26 (2): 434 – 441.
- Kachman, S & J. Smith.** 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. *Transaction of the ASAE* 38 (2): 379-387.
- Karayel, D. & A. Özmerzi.** 2002. Effects of tillage methods on sowing uniformity of maize. *Canadian Biosystems Engineering* 44: 2.23 – 2.26.
- Karayel, D., M. Wiesehoff, A. Özmerzi & J. Müller.** 2006. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seed using high-speed camera system. *Computers and Electronics in Agricultura* 50: 89 – 96.
- Krall, J.M., H.A. Esehcie, R.J. Raney, S. Clark, G. TenEyck, M. Lundquist, N.E. Humburg, L.S. Axthelm, A.D. Dayton & R.L. Vanderlip.** 1977. Influence of within – row variability in plant spacing on corn grain yield. *Agron. J.* 69: 797 – 799.
- Lauer, J.G. & M. Rankin.** 2004. Corn response to within row plant spacing variation. *Agron. J.* 96: 1464 – 1468.
- Liu, W., M. Tollenaar, G. Stewart & W. Deen.** 2004a. Within – row plant spacing variability does not affect corn yield. *Agron. J.* 96: 275 – 280.
- Liu, W., M. Tollenaar, G. Stewart & W. Deen.** 2004b. Impact of planter type, planting speed, and tillage on estándar uniformity and yield of corn. *Agron. J.* 96: 1668 – 1672.
- Liu, W., M. Tollenaar, G. Stewart & W. Deen.** 2004c. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. *Crop Sci.* 44: 847 – 854.
- Maroni, J. & A. Gargicevich.** 1998. Operación de siembra, densidad y uniformidad de plantas en maíz. Impacto sobre rendimiento en granos. Capítulo II, Morgan - Mycogen S.A. Bs. As. 29 pp.
- Maroni, J., A. Gargicevich & C. González.** 2001. Comportamiento de las sembradoras para maíz de la región maicera Argentina. VII Congreso Nacional de Maíz. CD-ROM y ACTAS. Asociación Ingenieros Agrónomos Norte de Buenos Aires.
- Maroni, J., C. Fernández Asenjo & M. Dalla.** 2004. Prestaciones de un dosificador neumático para la siembra monograno de semillas de girasol. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario.* Año IV (5): 99 – 104.
- Maroni, J. & C. Fernández Asenjo.** 2006. Novedoso dispositivo dosificador monograno de semillas. *UNR. Facultad de Ciencias Agrarias. Agromensajes* 18: 10 – 11.
- Martin, K.L., P.J. Hodgen, K.W. Freeman, R. Melchiori, D.B. Arnall, R.K. Teal, R.W. Mullen, K. Desta, S.B. Philips, M.L. Soile, M.L. Stone, O. Caviglia, F. Solari, A. Bianchini, D.D. Francis, J.S. Schepers, J.L. Hatfield & W.R. Raun.** 2005. Plant to plant variability in corn production. *Agron. J.* 97: 1603 – 1611.
- MAGYP.** 2011. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. Disponible en: <http://www.minagri.gob.ar/site/index.php>. Último acceso: Noviembre 2011.
- Murray, J.R.; Tullberg, J.N.; Basnet, B.B.** 2006. Planters and their components: types, attributes, functional requirements. Classification and description. *ACIAR Monograph* N° 121.
- Nafziger, E. D.** 1996. Effects of missing and two-plant hills on corn grain yield. *J. Prod. Agric.* 9: 238 – 240.
- Nafziger, E. D.** 2006. Inter- and intraplant competition in corn. Online. *Crop Management* doi: 10.1094/CM-2006-0227-05-RV. Disponible en: <http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/cm/review/2006/compete/>. Último acceso: Noviembre 2011
- Nielsen, R. L.** 1995. Planting speed effects on stand establishment and grain yield of corn. *Journal of Production Agriculture* 8: 391-393.

- Nielsen, R. L.** 2003. Stand establishment variability in corn. AGRYU 91-01 Agronomy Department. Purdue University. Indiana. USA. 10 pp.
- Nielsen, R. L.** 2004. Effect of Plant Spacing Variability on Corn Grain Yield. Disponible en: <http://www.kingcorn.org/research/psv/Update2004.html>. Último acceso: Noviembre 2011
- Noguera, R. R.; R.L. Pereira & C.E. Solarte.** 2008. Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en cuyes (*Cavia porcellus*) desde el nacimiento hasta la edad del sacrificio. Livestock Research for Rural Development. 20 (5). Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd20/5/nogu20079.htm>. Último acceso: Noviembre 2011.
- Olmos, M. & F.J. Menéndez.** 2005. Efectos de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento de cultivos de maíz sembrados con diferentes densidades. VIII Congreso Nacional del Maíz. Pergamino, Buenos Aires, Argentina: 97 – 100.
- Özmerzi, A., D. Karayel & M. Topakei.** 2002. Effect of sowing depth on precision seeder uniformity, *Biosystems Engineering* 82 (2): 227–230.
- Panning, J. W., M. F. Kocher, J. A., Smith & S. D. Kachmann.** 2000. Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugarbeet planters. *Transaction of the ASAE* 16 (1): 7-13.
- Pommel, B. & R. Bonhomme.** 1998. Variations in the vegetative and reproductive systems in individual plants of an heterogeneous maize crop. *Eur. J. Agron.* 8: 39–49.
- Raoufat, M. H. & A. Matbooei.** 2007. Row cleaners enhance reduced tillage planning of corn in Iran. *Soil & Till. Res* 93: 152 – 161.
- Rossi, D.** 2007. Evolución de los cultivares de maíz utilizados en la argentina. UNR. Facultad de Ciencias Agrarias. *Agromensajes* 22: 3 – 10.
- Saaby, G.H., G. Marrón & M. C. Tourn.** 2006. Sistemas de dosificación de placa alveolada: Efecto del agregado de aditivos sobre la uniformidad de descarga de maíz (*Zea mays* L.). XXVII Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas. Universidad Nacional del Nordeste - UNNE. Facultad de Ciencias Agrarias. CD-ROM.
- Schneider, E. C. & S. C. Gupta.** 1985. Corn emergence as influenced by soil temperature, matric potential and aggregate size distribution. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 48: 415 – 422.
- Serrano Gallego, R.** 2003. Introducción al análisis de datos experimentales: Tratamiento de datos en Bioensayos Universitat Jaume I. 44 pp.
- Severa, A.** 2005. Eficiencia de cosecha de Maíz. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/balcarce/precop/eficCosMaiz.htm> Último acceso: Noviembre 2011.
- Singh, R; G. Singh & D. Saraswat.** 2005. Optimization of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planning cottonseed. *Biosystems Engineering* 92 (4): 429 – 438.
- Tesouro, M. O., R. M. Delafosse & A. A. Onorato.** 2004. Análisis de la influencia del tamaño del alvéolo, en el desempeño del dosificador de fondo plano, con semilla de girasol. Disponible en www.inta.gov.ar/iir/info/documentos/siembra/girasol.pdf. Último acceso: Noviembre 2011.
- Tesouro, M. O., J. P. D'Amico, D. Paredes, A. Romito, M. Roba, G. Loyde & M. Casartelli.** 2009. Desuniformidad en la distribución de las plantas de girasol (*Helianthus annuus* L.): Impacto sobre la producción individual y el rendimiento del cultivo. X Congreso Argentino de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR. 2009. Rosario. Santa Fe. Argentina: 68.
- Tollenar, M. & J. Wu.** 1999. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerant. *Crop Sci.* 39: 1597-1604.
- Valentinuz, O.** 2006. Maíz: Bases para la construcción de rendimientos altos y estables. Actualización técnica de Maíz. INTA EEA Paraná. Serie Extensión 41: 14-18.
- Valentinuz, O.** 2007. Maíz: Uniformidad de Plantas y Tolerancia al Estrés. Disponible en http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/evaluacion_manejo/unif_estres.htm. Último acceso: Noviembre 2011.
- Valentinuz, O., C. L. Di Orio & S. Cabada.** 2007. Velocidad de siembra y desuniformidad espacial en dos híbridos de maíz. Actualización técnica. Maíz, girasol y sorgo. INTA EEA Paraná. Serie Extensión 44: 38-42.
- Vanderlip, R.L., J. C. Okonkwo, & J.A. Schaffer.** 1988. Corn response to precision of within-row plant spacing. *App. Agric. Res.* 3: 116 – 119.
- Wanjura, D.F. & E. B. Hudspeth.** 1969. Performance of vacuum wheels metering individual cottonseed. *Transaction of ASAE* 12 (6): 775 – 777.
- Yazgi, A. & A. Degirmencioglu.** 2007. Optimization of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology. *Biosystems Engineering* 97: 347 – 356.