

Carrera de *Magister Scientiae* en Mecanización Agraria

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
Universidad Nacional de La Plata

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

Maestrando: Ing. Agr. Juan Pablo D'Amico

Director: Dr. Ing. Agr. Oscar Pozzolo

Asesor Técnico: Ing. Agr. Omar Tesouro

Introducción y Antecedentes

El cultivo de maíz en la Republica Argentina

La producción de maíz en la República Argentina alcanzó las 20.482.570 tn en 2005. Este volumen de producción se correspondió con una superficie cosechada de 2.783.436 ha y un rendimiento promedio de 7.359 Kg ha⁻¹ (Umaran 2006).

Los rendimientos por hectárea se duplicaron desde principios de la década el 90 del siglo pasado 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).

La labor de siembra en el cultivo de maíz.

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 y 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). Karayel y Özmerzi (2002) afirman que, en teoría, las sembradoras de precisión ubican las semillas en los lugares requeridos otorgando a cada semilla una adecuada superficie disponible.

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 y Alonço 2001) el mantenimiento y operación de la máquina (Maroni *et al.* 2001), el régimen de giro de la placa de siembra (Barut y Özmerzi 2004), el nivel de vacío en sembradoras neumáticas (Singh *et al.* 2005), el tamaño y forma de los alvéolos (Yazgi y Degirmencioglu 2007), la agresividad del enrasador (Murray *et al.* 2006), la altura de descarga de la semilla respecto del fondo del surco (Wanjura y Hudspeth 1969), la geometría del tubo de bajada (Raoufat y 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), el tipo de abresurco (Erbach *et al.* 1972).

Según Kachman y Smith (1995) 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. También afirman que muchos de los factores que condicionan esta diferencia no son explicados por las prestaciones de la sembradora en términos de distribución. Lauer y Rankin (2004) incluyen dentro de estos a 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. Sobre este último aspecto mencionado Schneider y Gupta (1985) reportan que la emergencia del maíz está influenciada por la temperatura del suelo, el potencial mátrico y la distribución del tamaño de agregados.

La distribución de semillas: implicancias en la uniformidad y la densidad del cultivo.

En la labor de siembra realizada con sembradoras de precisión las fallas y duplicaciones pueden tener distinto origen. Panning *et al.* (2000) sostienen que 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. 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 a 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. Al respecto Liu *et al.* (2004a) sostienen que las plantas de maíz irregularmente distribuidas en la línea de siembra representan una combinación de altas y bajas densidades.

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 espaciamiento entre surcos y el promedio de las distancias que la separan de sus vecinas de la misma línea de siembra (Martin *et al.* 2005).

Karayel *et al.* (2006) afirman que 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.

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)* establecido 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; Jasper *et al.*, 2006b; Celik *et al.*, 2007; D'Amico *et al.*, 2007b; D'Amico *et al.*, 2007c) 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.*, 2005; Maroni y 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; Liu *et al.*, 2004b; Martin *et al.*, 2005; Olmos y 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 distanciadas 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 dificultoso lograr una asociación directa entre las prestaciones de la sembradora y el rendimiento del cultivo debido a la inconmensurabilidad de las variables.

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 y Smith (1995) quienes también afirman que la utilización de los índices adoptados por la norma ISO 7256/1 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.

Según Tollenaar y Wu (1999), la distribución uniforme de plantas aumenta la tolerancia del maíz a condiciones de estrés. Valentinuz (2007) sostiene que las fallas que presentan las sembradoras en transferir las semillas desde el mecanismo de distribución hasta el suelo se traducen en 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.

Sin embargo los resultados reportados por diversos autores son contradictorios en lo que respecta al efecto que la desuniformidad tiene sobre el rendimiento. Olmos y Menéndez (2005) informaron mermas de rendimiento de hasta 147 Kg ha⁻¹ por cada centímetro de DST con densidades de 71.000 pl ha⁻¹, pero no encontraron efecto alguno de la desuniformidad sobre el rendimiento con una densidad poblacional de 58.000 pl ha⁻¹. Nielsen (1993) 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 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%. Es decir que la peor distribución registrada por este autor con 128,3% de CV, y aproximadamente 60% de duplicaciones y 20% de fallas, presentaría una merma del 6,52%. Puede suponerse que la exagerada desuniformidad de los patrones de distribución utilizados por este investigador explicaría la respuesta obtenida. Sin embargo, al analizar la información vertida en su publicación surge que el efecto, si bien existe, no presenta una magnitud comparable a la gran desuniformidad empleada en sus experimentos.

Liu *et al.* (2004b) trabajaron con una densidad poblacional de 71.500 pl ha⁻¹ y un distanciamiento entre líneas de 76 cm, lo que determina una separación entre plantas de 18,4 cm. Estos autores reportan que en distribuciones con una desviación estándar de hasta 23,9 cm, que representa un CV de 129,89%, 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 %. Haciendo el mismo razonamiento que en el caso anterior, al pasar de una población con un CV de 35,32% a otra con 129,89%, se estaría resignando un 5,75% de rendimiento. Por último los autores informan que estos patrones de distribución, que resultan tan exageradamente irregulares como los evaluados por Nielsen (2004), fueron obtenidos con una sembradora tipo *Air Drill* a una velocidad de 11,3 kilómetros por hora. 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).

En un relevamiento realizado por el INTA (Tesouro et al. 2008) sobre 27 lotes comerciales de maíz en el área de influencia de los partidos de Pergamino y Rojas en la provincia de Buenos Aires los niveles extremos de dispersión en la línea de siembra estuvieron en el orden de 30 y 79% de CV. Estos valores que se corresponden con 91 y 54% de semillas aceptablemente sembradas, se ubican muy por debajo de los máximos niveles de dispersión en la línea de siembra empleados por Nielsen (2004) y Liu et al. (2004b) debido posiblemente a que las velocidades de siembra registradas por Tesouro et al. 2008 no superaron los 8,5 km h⁻¹ y las máquinas relevadas fueron en todos los casos sembradoras de precisión.

El cultivo más irregular relevado por Tesouro et al. (2008) 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. (2008) presentaría una merma del orden del 2,7% por efecto de una inadecuada distribución.

Si bien este análisis fue realizado tomando resultados obtenidos bajo diferentes condiciones y ambientes, resulta útil para equiparar los valores que asumen el índice A y el CV de manera de aportar una idea mas clara del tipo de distribución con la que han trabajado estos autores y las mermas de rendimiento que han obtenido.

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 y 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. Según Andrade y Abbate (2005) el efecto de la desuniformidad de distribución sobre el rendimiento depende de las características del genotipo. 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 distantes 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 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.

Barut y Ozmerzi (2003) reportan que 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. También informan 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).

Objetivos

Objetivo General

Caracterizar el impacto de la distribución de plantas en la línea de siembra sobre el rendimiento del cultivo de Maíz.

Objetivos Específicos

- 1- Determinar la relación entre el rendimiento de maíz y la desuniformidad espacial de distribución a partir de diferentes metodologías para su cuantificación.
- 2- Determinar si existen efectos sobre el rendimiento debido a la variación de la densidad ocasionada por la irregularidad de los espaciamientos entre plantas en la línea de siembra.

Hipótesis

Hipótesis Fundamental

Las prestaciones de una sembradora determinan los máximos niveles de uniformidad espacial y densidad poblacional de un cultivo.

Hipótesis de Trabajo

1. Las variaciones de rendimiento del cultivo de maíz por efecto de la irregularidad en los espaciamientos en la línea de siembra son igualmente explicadas por el desvío estándar de la separación entre plantas que por la proporción de fallas y duplicaciones.
2. El rendimiento del cultivo de maíz es independiente de la irregularidad de los espaciamientos entre plantas en la línea de siembra.

Materiales y Métodos

Del sitio

El ensayo se realizó en el campo experimental del Instituto de Ingeniería Rural - CNIA - INTA, en el partido de Hurlingham, provincia de Buenos Aires. 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%.

Del Procedimiento Experimental

Equipo de siembra:

Se utilizó una sembradora marca Schiarre modelo Full Tekno 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 apareada 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, de forma tronco-piramidal con una boca de entrada de 5 cm de ancho y 3,5 cm de largo y una boca de salida de 2,4 cm de ancho y 3,5 cm largo. La disposición de este tubo 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 y de que la boca de salida se ubica 3,2 cm por encima del fondo del surco, la altura de caída de semilla desde que se libera del alveolo de la palca 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 mecánico es del tipo "gatillo".

Semilla:

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.

Para una densidad a cosecha de 68.571 pl ha⁻¹ en un cultivo establecido en la localidad de Colón, Provincia de Buenos Aires, Ferraris y Couretot (2008) informan las características de este híbrido (tabla 1).

Tabla 1: Características del híbrido DK 6842 RR2 informadas por Ferraris y Couretot (2008).

Altura de la planta	233 cm
Índice de prolificidad	105
Posición de la espiga al momento de la cosecha	Inclinada
Cantidad de hileras de granos por espiga	14 a 16
Punta de espiga	ligeramente cubierta de granos
Rendimiento en grano ajustado a un 13,5% de humedad gravimétrica	10995 kg ha ⁻¹
Granos por espiga	650
Peso de mil granos	273 gr
Peso hectolítrico	72,2 gr

En términos morfológicos, la semilla utilizada corresponde a un calibre comercialmente clasificado como “redondo” y sus dimensiones se presentan en la tabla 2.

Tabla 2: Dimensiones de la semilla del híbrido DK 6842 RR2 empleada en esta experiencia.

	Largo	Ancho	Espesor	Peso de 1000 semillas
Media	0,971 cm	0,735 cm	0,619 cm	260,3 gr
Desvío estándar	0,094 cm	0,047 cm	0,048 cm	
Coefficiente de variación	9,68 %	6,24 %	7,75 %	

Labor de siembra:

La labor se realizó el día 29 de Septiembre de 2007 a una velocidad de 6 km h⁻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 10 metros de surco 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 rpm que se corresponde con una velocidad tangencial de 1,3 m seg⁻¹ de los alveolos externos y de 1,1 m seg⁻¹ de los alvéolos internos resultando, en ambos casos, 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.

De la toma de datos:

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 100 m² de superficie, constituidos por 18 segmentos de surcos de 8 metros de longitud (figura 1).

De acuerdo con Lauer y 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.

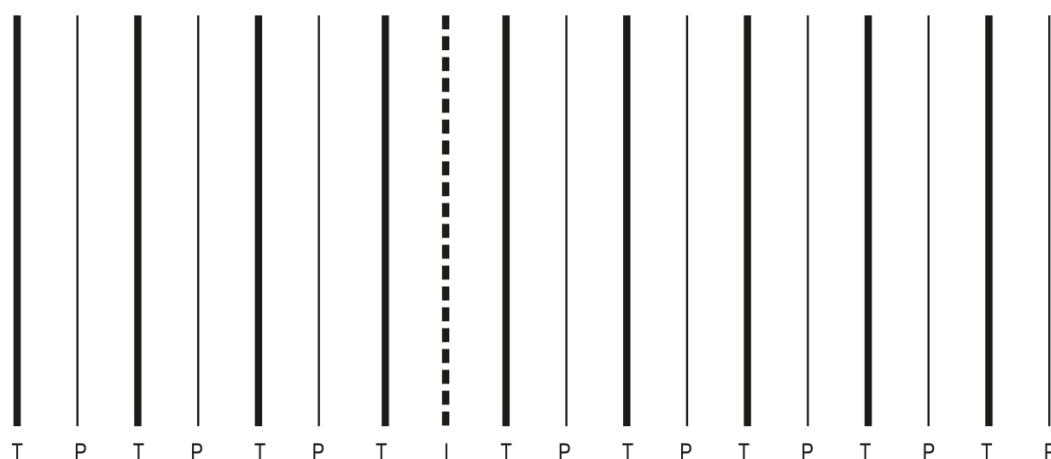


Figura 1: Esquema de muestreo en uno de los 4 sitios relevados

En cada sitio, para la línea I se individualizaron cada una de las plantas registrando la distancia que las separaban de sus vecinas en la línea de siembra en centímetros. 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 observado en las muestras tomadas para determinar la producción por planta (Líneas I). Para estas muestras que fueron tomadas de las líneas T, empleadas para determinar el rendimiento de cada sitio, no se realizó el tratamiento térmico previo a la realización de las mediciones de diámetro y largo para evitar variaciones en el tamaño del órgano a causa del tratamiento térmico. Posteriormente 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.

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

Del 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 por individuo:

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 mas próxima en la línea de siembra:

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

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

donde D es la distancia que la separa de su vecina mas distante y d la que la separa de su vecina mas 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 mas distante y d la que la separa de su vecina mas 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 disociada 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 esta separado por distancias consideradas Aceptable (A), Entrega Múltiple (D) o Falla (F). Dado que se consideraran 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 por unidad de área

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 precisan de transformación ya que generalmente no siguen una distribución Normal. En estos casos la transformación angular es especialmente apropiada (Serrano Gallego 2003).

Indice 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.

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

Indice 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:

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

Indice 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:

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

Indice 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⁻¹.

Variables Respuesta:

Variables respuesta por individuo

Producción individual (Prod.) en gr 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

Del método estadístico

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.

Fórmula para la determinación de las pérdidas de rendimiento en función del Coeficiente de variación de los espaciamientos entre plantas en la línea de siembra enunciada por Nielsen (2004).

$$\% \text{ de pérdida de rendimiento} = -2,29 + 0,07 CV$$

Fórmula para la determinación de las pérdidas de rendimiento en función del Coeficiente de variación de los espaciamientos entre plantas en la línea de siembra enunciada por Liu et al. (2004b).

$$\% \text{ de pérdida de rendimiento} = -2,17 + 0,06 CV$$

Resultados y Discusión

Los parámetros climáticos fueron tomados de los Boletines Climatológicos elaborados por el Instituto de Clima y Agua del INTA Castelar (2009) y se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Datos climáticos correspondientes a la localidad Castelar para los meses indicados de los años 2007 y 2008 respectivamente. **EVT:** Evapotranspiración potencial. **BH:** Balance Hídrico. **Tb:** Temperatura Base.

Mes	Temperatura media (°C)	Días de Heladas	Heladas (°C)	Precipitación (mm)	EVT (mm)	BH (mm)	°Días Tb 10
Septiembre				87,2	75,9	11,3	342,3
Octubre	18,3			207,5	69,7	137,8	258,6
Noviembre	17,9	15 nov	-0,5	55,6	140,0	-84,4	236,6
Diciembre	22,0			32,0	157,3	-125,3	372,1
Enero	24,4			70,1	185,3	-115,2	445,6
Febrero	24,4			185,6	115,8	69,8	418,8
Marzo	20,9			120,5	96,9	23,6	339,4
Abril	16,9	30 abr	-1,4	20,6	63,8	43,2	213,7

Se realizó un análisis de varianza para detectar diferencias de rendimiento entre los sitios relevados 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.

En la tabla 4 se presenta el análisis de la varianza de los rendimientos obtenidos en cada sitio y en la tabla 5 el de las densidades poblacionales que presentaron.

Tabla 4: Resultados del análisis de varianza. **Rendimiento:** Rendimiento medio de los sitios relevados. **n:** Cantidad de muestras relevadas en cada sitio. **Dms:** Diferencia mínima significativa expresada en Kg.ha⁻¹. **LSD 0,05:** Método de comparación de medias LSD Fisher a una significancia del 5%. **ns:** diferencia no significativa.

Sitio	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	N	Dms = 420,54 LSD 0,05
-------	------------------------------------	---	--------------------------

1	4500,20	9	ns
2	4601,84	9	ns
3	4705,39	9	ns
4	4728,42	9	ns

Tabla 5: Resultados del análisis de varianza. **Densidad:** Densidad media de los sitios relevados. **n:** Cantidad de muestras relevadas en cada sitio. **Dms:** Diferencia mínima significativa expresada en pl ha⁻¹. **LSD 0,05:** Método de comparación de medias LSD Fisher a una significancia del 5%. **ns:** diferencia no significativa.

Sitio	Densidad (pl ha ⁻¹)	n	Dms = 6503.62 LSD 0,05
1	88319,15	9	ns
3	87972,82	9	ns
2	87112,33	9	ns
4	86830,28	9	ns

El rendimiento promedio de todas las muestras fue de 4.634,87 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 87.557,70 pl ha⁻¹. 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.

De los resultados presentados surge también que 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

A 1 Respuesta de la producción de grano por planta a las variaciones de espacio disponible.

En la tabla 6 se presenta la estadística descriptiva para las variables Prod y Sepa.

Tabla 6: Estadística descriptiva para los valores observados de Producción individual (Prod) y Separación media (Sepa). **n:** número de observaciones, **Media:** Media aritmética, **DST:** Desvío estándar, **CV:** Coeficiente de variación, **Mín:** Mínimo valor registrado, **Max:** Máximo valor registrado.

	Prod	Sepa
n	183	183
Media	53,83 gr pl ⁻¹	16,87 cm
DST	14,45 gr pl ⁻¹	3,30 cm
CV	26,84 %	19,57 %
Mín.	17,04 gr pl ⁻¹	6,75 cm
Max.	99,42 gr pl ⁻¹	27,50 cm

Los valores observados para la variable Sepa presentaron una menor dispersión y una media de 16,87 cm. que resulta un 4,63% mayor a la separación teórica (Xref) de 16,12 cm. En la figura 2 se presenta el histograma de frecuencias para esta variable.

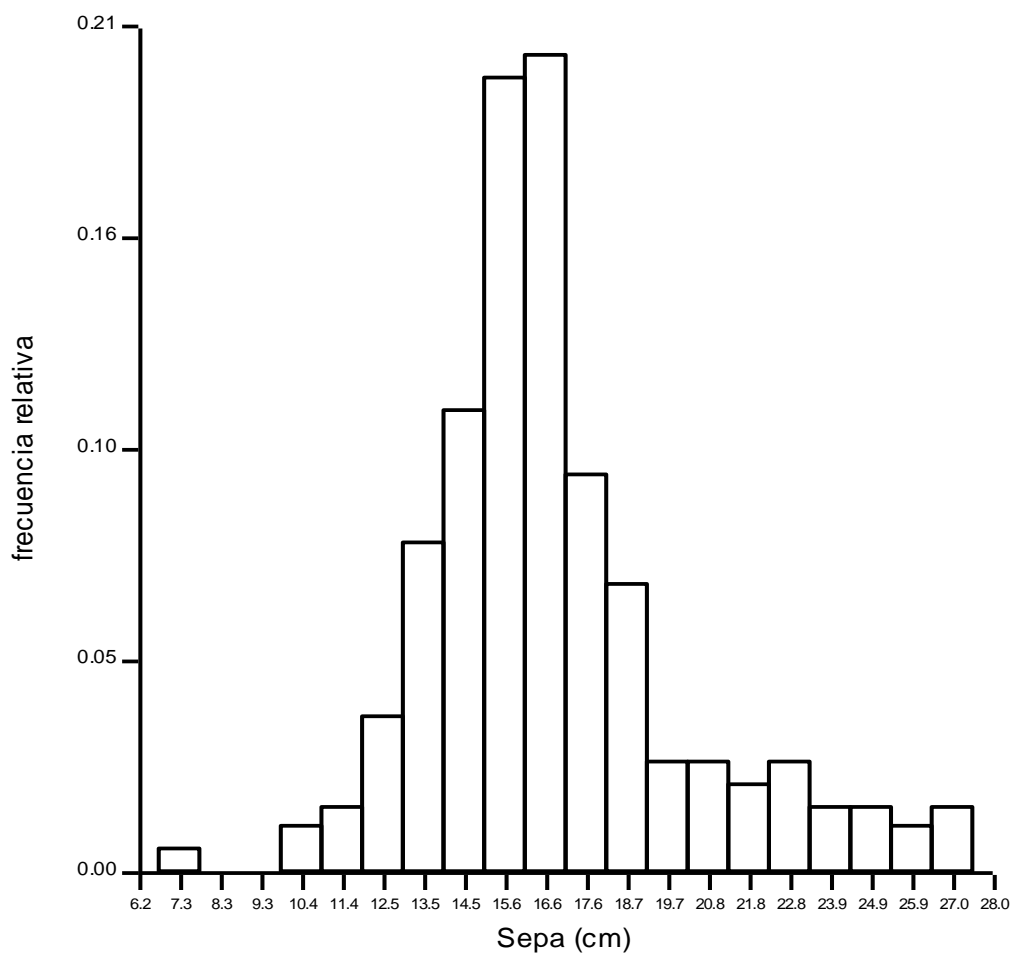


Figura 2: Histograma de frecuencias relativas de los valores observados de la variable Sepa.

Respecto de la variabilidad observada para la variable Prod, presenta un valor medio de 53,83 gr, una relación máximo/mínimo de 5,83 y un desvío estándar de 14,45 gr lo que determina un coeficiente de variación de 26,84%, lo cual es coincidente con lo informado por Emeades y Daynard (1979) y Andrade y Abbate (2005) quienes observaron CV para la producción por planta de entre 21% y 30% para una densidad poblacional de 80.000 pl ha⁻¹.

Relacionando ambas variables mediante la producción por unidad de superficie que presentó cada planta, el mayor rendimiento obtenido fue de 9.246,92 Kg ha⁻¹ y correspondió a una planta con una producción de 43,69 gr y una separación media de 6,75 cm. Por su parte, el menor rendimiento registrado alcanzó los 1.179,34 Kg ha⁻¹ merced a una producción de 18,57 gr 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 3). El modelo de regresión lineal simple, con la variable Sepa como dependiente, logró el mayor coeficiente de determinación y el menor cuadrado medio del error. (Anexo Estadístico)

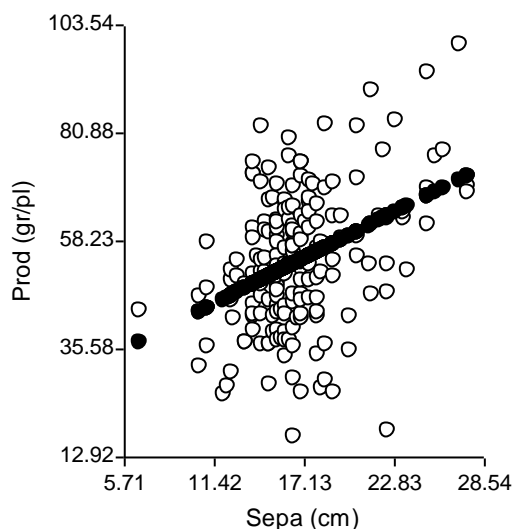


Figura 3: Respuesta de la producción individual (Prod) al espacio disponible representado por la Separación media (Sepa). Prod = 1,69 Sepa+25,41. R² 0,15. p > F 0,0001. SCE = 32360,95

Pese a que este modelo logra explicar sólo una porción acotada de la variabilidad que expresa la variable Prod, presenta un elevado nivel de significancia y su desempeño resulta similar al presentado por Nafziger (2006) que obtiene un coeficiente de determinación de 0,22 cuando trabaja con una

densidad de 75.000 pl ha⁻¹ mientras que no logra ningún tipo de asociación cuando la densidad poblacional es de 62.500 pl ha⁻¹.

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 (Figura 4)

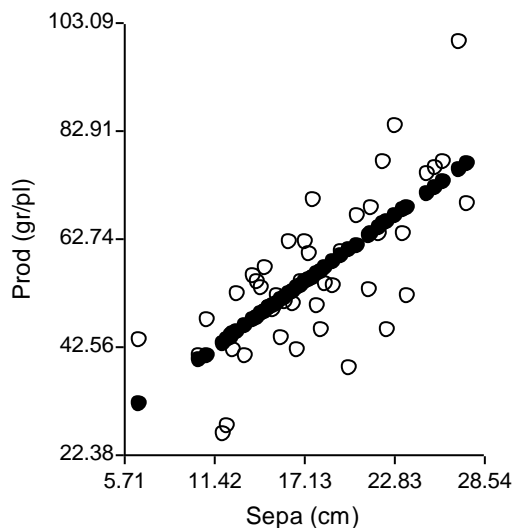


Figura 4: Respuesta de la producción individual (Prod) al espacio disponible representado por la Separación media (Sepa). $Prod = 2,16 Sepa + 17,09$. $R^2 = 0,53$. $p > F = 0,0001$. $SCE = 4214,54$

A 2 Respuesta a las variaciones de uniformidad

En la tabla 7 se presenta la estadística descriptiva para la variable C y su correspondiente transformación a Arco seno C.

Tabla 7: Estadística descriptiva de los valores observados de Coeficiente de asimetría (C) y de su correspondiente transformación a arco seno (Arco seno C). **n:** número de observaciones, **Media:** Media aritmética, **DST:** Desvío estándar, **CV:** Coeficiente de variación, **Mín:** Mínimo valor registrado, **Max:** Máximo valor registrado.

	C	Arco seno C
n	183	183
Media	0,79	64,52
DST	0,15	11,65
CV	19,42 %	18,05 %
Mín.	0,24	29,50
Max.	1,00	90,00

La inclusión del coeficiente de asimetría C en el modelo anteriormente utilizado (Figura 3) para evaluar la respuesta de la producción individual (Prod) a las variaciones de la separación media

(Sepa) no logró significancia (Tabla 8). Tampoco se obtuvo significancia con el modelo simple que la tiene como única variable dependiente (Tabla 9).

Tabla 8: Análisis de regresión entre la separación media (Sepa) y el coeficiente de asimetría (C), y la producción individual (Prod). R^2 : Coeficiente de determinación; **b** y **Cte**: Estimadores de los parámetros de la regresión.

Variab les independientes	R^2	b	Cte.	F Pr>F T Pr>t
Sepa Arco seno C	0,15	1,68 -0,04	27,89	<u>15,77 p<0.0001</u> 30,96 p<0,0001 0,18 p=0,6700

Tabla 9: Análisis de regresión entre el coeficiente de asimetría (C), y la producción individual (Prod). 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 C	0,0027	-0,06	58,01	0,49 p=0,4827

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.

En la tabla 10 se presentan los límites de los intervalos de cada uno de los distanciamientos en función de la clasificación por Condición para una separación teórica (X_{ref}) de 16,12 cm.

Tabla 10: Valores máximos y mínimos que puede asumir la separación al vecino mas cercano d y la separación al vecino mas distante D en la línea de siembra para una separación teórica de siembra de 16,12 cm. **n**: cantidad de individuos observados para cada condición.

Condición	Intervalo para la variable d (cm)	Intervalo para la variable D (cm)	n
AA	8,6 – 24,8	8,6 – 24,8	145
AF	8,6 – 24,8	24,8 – 40,3	25
AD	0 – 8,6	8,6 – 24,8	9
DF	0 – 8,6	24,8 – 40,3	4

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 5 se muestran los diferentes grupos en función de estas dos variables.

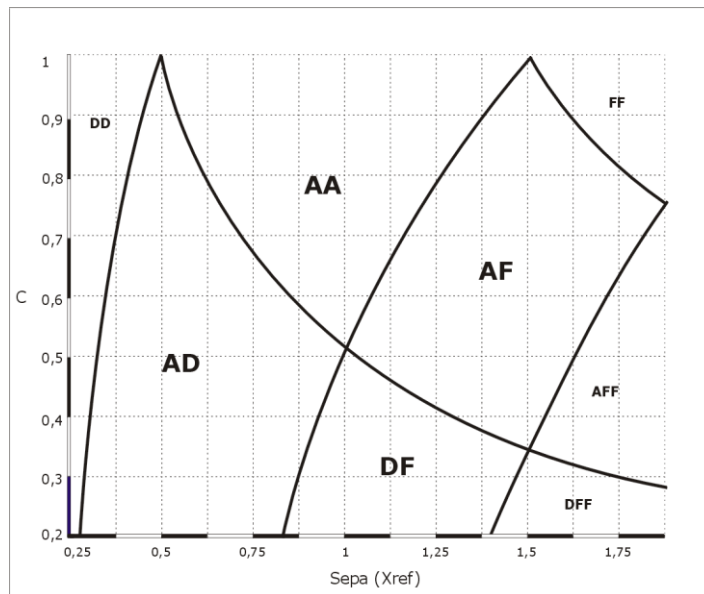


Figura 5: Diferentes niveles teóricos de simetría C y de separación media Sepa expresada en separación teórica (Xref) que pueden presentar los individuos agrupados de acuerdo a la Condición.

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 las tablas 11, 12 y 13.

Tabla 11: Análisis de varianza para Sepa, en función de la variable Condición. **Media:** Valor medio para la variable en cm; **Grupos homogéneos:** Letras iguales se corresponden con 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%.

Sepa (cm)			
Condición	Media	Grupos homogéneos	%Var _A
AD	12,22	c	-24,08
AA	16,10	b	—
DF	15,81	b	-1,86
AF	23,14	a	+43,64
Dms		1,28	

Tabla 12: Análisis de varianza para Prod, en función de la variable Condición. **Media:** Valor medio para la variable en gr pl⁻¹; **Grupos homogéneos:** Letras iguales se corresponden con 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%.

Prod (gr pl ⁻¹)			
Condición	Media	Grupos homogéneos	%Var _A
AD	46,79	c	-10,77
AA	52,43	b	—
DF	57,63	b	+9,91
AF	63,89	a	+21,83
Dms		8,91	

Tabla 13: Análisis de varianza para C, en función de la variable Condición. **Media:** Valor medio para la variable; **Grupos homogéneos:** Letras iguales se corresponden con 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%.

Arco seno C			
Condición	Media	Grupos homogéneos	%Var _A
AD	43,80	c	-35,50
AA	67,91	a	—
DF	36,14	d	-46,78
AF	56,88	b	-16,24
Dms		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 y 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 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 (2005).

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).

A partir de los valores medios presentados en la tabla 10 y 11, resulta evidente la falta de asociación entre las variables Prod y Arco seno C. (Figura 6).

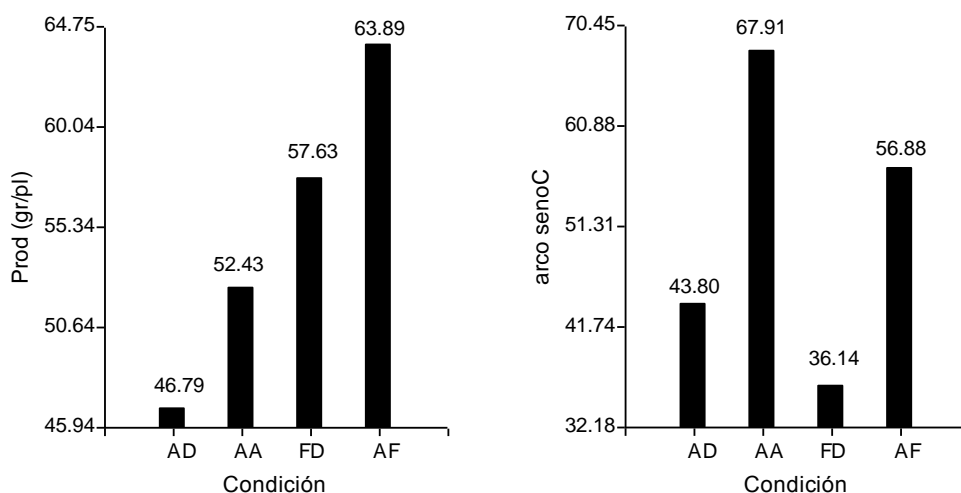


Figura 6: **Izquierda:** Valores medios de producción individual (Pod) para cada una de las cuatro condiciones. **Derecha:** Valores medios coeficiente de asimetría (arco seno C) para cada una de las cuatro condiciones.

La respuesta de la variable Prod resultó significativa frente a la distancia al vecino más cercano (d) y la distancia al vecino más alejado (D), cuando estas dos fueron empleadas conjuntamente como variables independientes en un análisis de regresión (Tabla 14)

Tabla 14: Regresión entre la distancia al vecino mas cercano (d) en cm. y la distancia al vecino mas distante (D) en cm, y la producción individual (Prod) en gr pl⁻¹. **R²:** Coeficiente de determinación; **b** y **Cte:** Estimadores de los parámetros de la regresión.

Variables independientes	R ²	b	Cte.	<u>F Pr>F</u> <u>T Pr>t</u>
d	0,15	0,75	25,60	15,73 p<0.0001
D		0,89		2,51 p=0,0131
				4,31 p<0.0001

En la figura 7, 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.

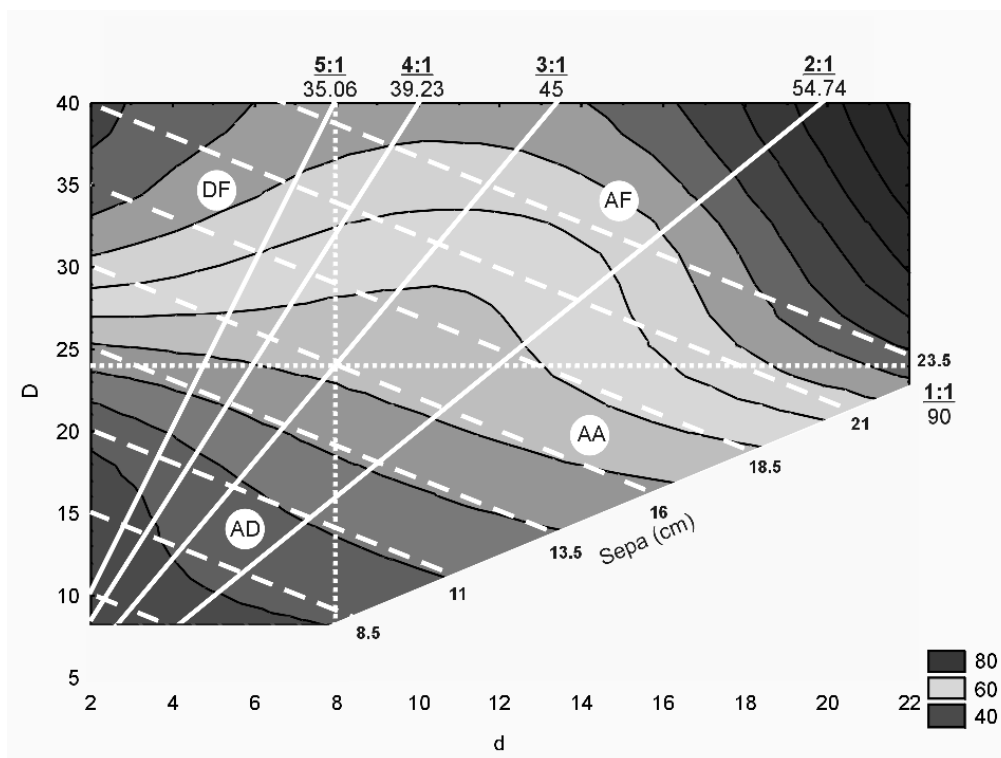


Figura 7: Plano de respuesta de la producción individual (Prod , gr pl^{-1}) a las variaciones de las distancias entre sus vecinos en la línea de siembra (interpolación polinómica *spline*). **Referencias:** **D:** Distancia al vecino más alejado (cm); **d:** Distancia al vecino más cercano (cm); **Sepa:** 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 $\text{Arc seno de } C$); **Líneas de trazos:** Isolinias que unen puntos con iguales separaciones medias; **Líneas de puntos:** Límites de las áreas del plano ocupadas por cada condición.

La producción de cada uno de los individuos resultó afectada por la cantidad de espacio de que disponen, independientemente de cuál 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.

B Análisis por unidad de área

La densidad del cultivo observada presentó un máximo de $119.068,79 \text{ pl ha}^{-1}$ y un mínimo de $72.097,11 \text{ pl ha}^{-1}$. El CV para esta variable fue de 9,18% y resultó similar al informado por Lauer y Rankin (2004) para un relevamiento realizado sobre 127 lotes comerciales de Maíz.

Los índices D y F presentaron medias de 4,80 y 5,54 respectivamente con mínimos de 0 en ambos casos y máximos de 20,00 para las duplicaciones y 23,07 para las fallas.

Para el índice A se registró un promedio de 88,91; un mínimo de 66,67 y un máximo de 100 que fue observado en 9 de las 36 líneas relevadas.

El rendimiento del cultivo mostró una variación proporcional positiva al incremento de la densidad poblacional. El modelo que mejor explicó las variaciones de rendimiento resultó ser el lineal simple, con la variable densidad elevada a la primera potencia como dependiente.

Este modelo que se muestra en la figura 8 presentó significancia estadística ($F=10,93$ $p=0,0023$); el menor cuadrado medio del error: 140.091,27; el menor error estándar para la estimación de la variable dependiente: 0,03 y un coeficiente de determinación de 0,25.

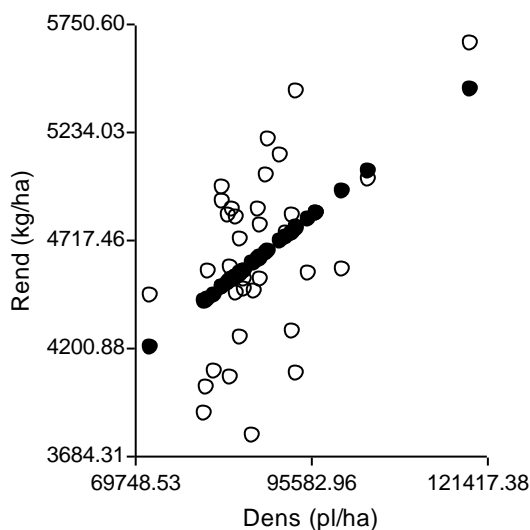


Figura 8: Respuesta del rendimiento a las variaciones de densidad poblacional. Rend = 2323.65 + 0,03 dens. Coeficiente de determinación, $R^2=0,25$. $p=0,0023$.

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 (tablas 15 y 16).

Tabla 15: 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 9).

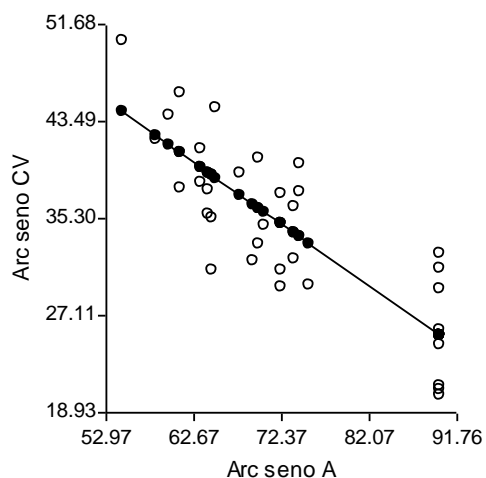


Figura 9: Respuesta del coeficiente de variación de la separación en la línea de siembra (Arc seno CV) a las variaciones en el porcentaje de separaciones consideradas aceptables (Arc seno A). Arco seno de CV= 73,68 -0,54 Arco senoA. $p < 0,0001$.

Respecto de la respuesta de la densidad poblacional frente a estas mismas variables (tabla 16) 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.

Tabla 16: Regresiones simples entre los índices A, D y F y densidad poblacional (Dens) en pl ha⁻¹. R²: 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	0,0001	21,78	86.850,48	0,03 p=0,8617
Arco seno D	0,24	397,68	85.720,60	10,27 p=0,003
Arco seno F	0,28	-424,07	93.433,47	12,56 p = 0,0012

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 descripto con los resultados que se presentan a continuación.

Un análisis de regresión entre el índice A y la densidad poblacional 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 (Tabla 17).

Tabla 17: Regresión entre el índice A y la densidad (pl ha^{-1}) para las muestras con distanciamientos considerados fallas y las muestras con todos los distanciamientos considerados aceptables. 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	0,41	322,78	60.626,07	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 (Tabla 18).

Tabla 18: Regresión entre el índice A y la densidad (pl ha^{-1}) para las muestras con distanciamientos considerados duplicaciones y las muestras con todos los distanciamientos considerados aceptables. 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	0,61	-609,52	143.734,14	20,71 $p=0,0005$

Resulta evidente que una mayor proporción de espaciamientos considerados aceptables se traducirá en una menor dispersión en la línea de siembra y en una mayor aproximación entre las densidades teórica y efectiva.

Al evaluar las variaciones del rendimiento respecto del incremento de las medidas de dispersión de la separación entre plantas en la línea de siembra DST y CV no se logró establecer relación alguna. (Tabla 19).

Tabla 19: Regresiones simples entre las medidas de dispersión en la línea de siembra y el rendimiento en Kg ha^{-1} . R^2 : Coeficiente de determinación; **b** y **Cte**: Estimadores de los parámetros de la regresión.

Variable independiente	R^2	B	Cte.	F Pr>F
DST	0,03	-29,86	4797,31	0,86 $p=0,3618$
Arc seno CV	0,002	-2,64	4724,87	0,07 $p=0,7929$

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%.

En la tabla 20 se presentan los resultados alcanzados con las muestras relevadas en esta experiencia aplicando las tasas de pérdida de rendimiento informadas por Nielsen (2004) y Liu et al (2004b) para un rendimiento promedio de 4634,87 Kg ha⁻¹.

Tabla 20: Resultados alcanzados aplicando los criterios de pérdida de rendimiento formulados por Nielsen (2004) y Liu et al (2004b) sobre las muestras relevadas en esta experiencia.

	Nielsen (2004)	Liu et al. (2004b)
CV base propuesto por los autores (%)	33,3	35,32
Tasa de pérdida propuesta por los autores en % de rendimiento	0,07	0,06
Tasa de pérdida propuesta por los autores en Kg ha⁻¹	3,18	2,82
Cantidad de casos que superan la base propuesta	17	14
% de casos que superan la base propuesta	47,22	38,89
Pérdida promedio %	0,28	0,19
Pérdida promedio Kg ha⁻¹	12,89	8,81
Pérdida máxima %	1,76	1,44
Pérdida máxima Kg ha⁻¹	81,57	66,74

CV base propuesto por los autores: Nivel de desuniformidad en la línea de siembra por debajo del cual no se registran pérdidas de rendimiento. **Tasa de pérdida propuesta por los autores (%):** Porcentaje de rendimiento que se pierde por cada 1% que se incrementa el CV por encima de la base propuesta. **Tasa de pérdida propuesta por los autores en kg**

ha^{-1} : $Kg\ ha^{-1}$ de rendimiento que se pierden por cada 1% que se incrementa el CV por encima de la base propuesta (calculado para un rendimiento promedio de $4.634,87\ Kg\ ha^{-1}$). **Cantidad de casos que superan la base propuesta**: Cantidad de muestras que presentaron una CV superior al propuesto como base por el autor. **% de casos que superan la base propuesta**: % de líneas que presentaron una CV superior al propuesto como base por el autor. **Pérdida promedio %**: Valor medio de las mermas de rendimiento expresado en %. **Pérdida promedio $Kg\ ha^{-1}$** : Valor medio de las mermas de rendimiento expresado en $Kg\ ha^{-1}$ (calculado para un rendimiento promedio de $4.634,87\ Kg\ ha^{-1}$). **Pérdida máxima %**: Mayor % de pérdida de rendimiento calculada de acuerdo a la propuesta de cada autor. **Pérdida máxima $Kg\ ha^{-1}$** : Mayor pérdida de rendimiento calculada de acuerdo a la propuesta de cada autor para un rendimiento promedio de $4.634,87\ Kg\ ha^{-1}$.

La respuesta del rendimiento resultó significativa frente a las variaciones de los índices D y F (Tabla 21).

Tabla 21: Resultados de las regresiones entre los índices A, D y F y el rendimiento del cultivo (Rend) expresado en $Kg\ ha^{-1}$. **R²**: 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	0,0018	-0,49	4.671,00	0,01 p=0,9396
Arco seno D	0,16	16,61	4.520,56	6,05 p=0,0193
Arco seno F	0,12	-14,35	4.803,21	4,42 p=0,0432

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 (Tabla 16).

Del mismo modo, las variaciones de densidad y de rendimiento son explicadas mas acabadamente por el modelo que cuenta conjuntamente con los índices D y F como variables independientes y en ambos casos muestran una asociación similar (Tablas 22 y 23).

Tabla 22: Resultados de la regresión múltiple entre los índices D y F, y el rendimiento del cultivo (Rend) expresado en $Kg\ ha^{-1}$. **R²**: Coeficiente de determinación; **b** y **Cte**: Estimadores de los parámetros de la regresión.

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

Tabla 23: Resultados de la regresión múltiple entre los índices D y F, y la densidad del cultivo (Dens) expresado en $pl\ ha^{-1}$. **R²**: Coeficiente de determinación; **b** y **Cte**: Estimadores de los parámetros de la regresión.

Variables independientes	R²	b	Cte.	F Pr>F T Pr>t
	0,55		90.812,45	<u>19,40 p<0.0001</u>
Arco seno D		426,88		4,39 P=0,0001
Arco seno F		-451,12		4,39 p=0,0001

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 22 y 23 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 y 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.

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 las 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 25).

Tabla 25: Regresión múltiple entre las dimensiones de la espiga expresadas en mm y la producción en gr planta⁻¹. **R²**: Coeficiente de determinación; **b** y **Cte**: Estimadores de los parámetros de la regresión.

Variables independientes	R²	b	Cte.	F Pr>F T Pr>t
Largo	0,98	0,6623	166.26	<u>3,53 p<0,0001</u> 14,94 p<0,0001
Diámetro		-12,97		-5,42 p<0,0001
Diámetro²		0,211		6,85 p<0,0001

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) 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, más susceptibles al desgrane serán.

En base a los resultados obtenidos en esta experiencia se cuenta con elementos para rechazar las dos hipótesis de trabajo formuladas.

Conclusiones

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.

El rendimiento del cultivo de maíz es afectado por las variaciones de densidad ocasionadas por las anomalías en la distribución de semillas.

Referencias Bibliográficas

Armando, M; Tourn, M.C.; Rosatto, H. 2005. Efecto de la velocidad de avance sobre la uniformidad de distribución y emergencia de maíz. Actas del Congreso Argentino de Ingeniería Rural p: 77 – 81.

Andrade, F.H., C. Vega, S. Uhart, A. Cirilo, M. Cantarero y O. Valentinuz. 1999. Kernel Number determination in Maize. Crop Sci. 39: 453-459.

Andrade, H.F.; Abbate, P.E. 2005. Response of Maize and Soybean to variability in stand uniformity. Agron. J. 97: 1263 – 1269.

Baumer, R. 1999. Sembradoras y fertilizadoras para siembra directa. Publicación Técnica. Serie Siembra Directa Nº 2. INTA. APRESID. Buenos Aires. Argentina.

Barut, Z.B.; Özmerzi A. 2004. Effect of different operating parameters on seed holding in the single seed metering unit of a pneumatic planter. Turk Journal Agric 28 p: 435 – 441.

Celik, A; Ozturk, I; Way, T. 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.; Alonço, A dos S. 2001. XXX Congreso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2001.

D'Amico, J.P.; Duro, S.; Paredes, D.; Roba, M.; Romito, A.; Venturelli, L.; Tesouro, O. 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.

D'Amico, J.P.; Duro, S.; Paredes, D.; Roba, M.; Romito, A.; Venturelli, L.; Tesouro, O. 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.

Delafosse R. 1986. Máquinas sembradoras de grano grueso. Santiago de Chile. FAO.

Edmeades, G.O.; Daynard, T.B.; 1979. The developmental of plant to plant variability in maize at different planting densities. Can. J. Plant Sci. 59: 561–576.

Erbach, D.C.; Wilkins, D.E.; Lovely, W.G. 1972. Relationships between furrow opener, corn plant spacing and yield. Agron J. 64: 702 – 704.

Ferraris y Couretot (2008) Caracterización y Evaluación comparativa de Cultivares de Maíz en la localidad de Colón (Bs As). Campaña 2007/08. INTA Pergamino en: <http://www.inta.gov.ar/PERGAMINO/info/informacion.htm>

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: 65 – 68. INTA EEA Oliveros.

Gargicevich A.L.; Maroni J.; Asenjo C.; González C. 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. p: 94 – 96.

Giuliano, G.; Cirilo, A.; Otegui, M. 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. p: 71.

Internacional Organization for Standardization. 1984. Sowing equipment - Test Methods - Part 1: Precision drills for sowing in lines. 7256/1.

Jasper, R; Janszen, U; Jasper, M; Garcia, L. 2006a. Distribuição longitudinal e germinação de sementes de milho com emprego de tratamento fitossanitário e grafite. Eng. Agríc., Jaboticabal vol. 26 N°1: 292 – 299.

Jasper, R; Jasper, M; Garcia, L. 2006b. Seleção de sementes de milho durante a simulação da semeadura com disco perfurado horizontal. Eng. Agríc., Jaboticabal vol. 26 N°2 : 434 – 441.

Kachman, S; Smith, J. 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. Transaction of the ASAE 38 v: 2 p: 379-387.

Karayel, D.; Özmerzi, A. 2002. Effects of tillage methods on sowing uniformity of maize. Canadian Biosystems Engineering. 44: 2.23 – 2.26.

Karayel, D.; Wiesehoff, M.; Özmerzi, A.; Müller, J. 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.; Esehie, H.A.; Raney, R.J.; Clark, S.; TenEyck, G.; Lundquist, M.; Humburg, N.E.; Axthelm, L.S.; Dayton, A.D.; Vanderlip, R.L. 1977. Influence of within – row variability in plant spacing on corn grain yield. Agron. J. 69: 797 – 799.

Lauer, J.G.; Rankin, M. 2004. Corn response to within row plant spacing variation. Agronomy Journal 96: 1464 – 1468.

- Lima e Silva, P.S.; Teixeira Diniz Filho, E.; da Rocha, E.; Ramos Duarte, S. 1998. Falhas e preciação experimental na avaliação dos rendimentos de grãos verdes e secos de milho. *Revista Ceres*: 45 (261): 419 – 435.
- Liu, W.; Tollenaar, M.; Stewart, G.; Deen, W. 2004a. Within – row plant spacing variability does not affect corn yield. *Agron. J.* 96: 275 – 280.
- Liu, W.; Tollenaar, M.; Stewart, G.; Deen, W. 2004b. Impact of planter type, planting speed, and tillage on standard uniformity and yield of corn. *Agron. J.* 96: 1668 – 1672.
- Liu, W.; Tollenaar, M.; Stewart, G.; Deen, W. 2004c. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. *Crop Sci.* 44: 847 – 854.
- Maroni, J.; Gargicevich A. 1998. Operación de siembra, densidad y uniformidad de plantas en maíz. Impacto sobre rendimiento en granos. Capítulo II, pp. 29. Morgan - Mycogen S.A. Bs. As.
- Maroni, J.; Gargicevich, A. y Gonzalez, C. 2001. Comportamiento de las sembradoras para maíz de la región maicera Argentina. VII Congreso Nacional de Maíz. CD-R y ACTAS, Asociación Ingenieros Agrónomos Norte de Buenos Aires.
- Maroni, J.; Fernandez Asenjo, C.; Dalla Marta, M. 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. Nº 5* : 99 – 104.
- Maroni, J., Fernandez Asenjo, C.; Dalla Marta, M. 2005. Prestaciones de un dosificador neumático para la siembra monograno de semillas de girasol. UNR. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias.* 5: 99 – 104.
- Maroni, J., Fernandez Asenjo, C. 2006. Novedoso dispositivo dosificador monograno de semillas. UNR. *Facultad de Ciencias Agrarias. Agromensajes* 18: 10 – 11.
- Martin, K.L.; Hodgen, P.J.; Freeman, K.W.; Melchiori, R.; Arnall, D.B.; Teal, R.K.; Mullen, R.W.; Desta, K.; Philips, S.B.; Soile, M.L.; Stone, M.L.; Caviglia, O.; Solari, F.; Bianchini, A.; Francis, D.D.; Schepers, J.S.; Hatfield, J.L.; Raun, W.R. 2005 Plant to plant variability in corn production. *Agron. J.* 97: 1603 – 1611.
- Murray, J.R.; Tullberg, J.N.; Basnet, B.B. 2006. Planters and their components: types, attributes, functional requirements. Classification and description. *ACIAR Monograph* Nº 121.
- Nafziger, E.D., Carter, P.R., Graham, E.E., 1991. Response of corn to uneven emergence. *Crop Sci.* v:31 p: 811–815.
- Pommel, B., Bonhomme, R., 1998. Variations in the

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. En: <http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/cm/review/2006/compete/>

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.

Nielsen, R. L. 2004 Effect of Plant Spacing Variability on Corn Grain Yield. En <http://www.kingcorn.org/research/psv/Update2004.html>

Noguera, R.R; Pereira, R.L.; Solarte, C.E. “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) 2008.

Olmos, M; Menéndez, F.J. 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. p: 97 – 100.

Özmerzi, A; Karayel, D; Topakei M. 2002. Effect of sowing depth on precision seeder uniformity, *Biosystems Engineering* 82 (2), pp. 227–230.

Panning, J.W.; Kocher, M.F.; Smith, J.A.; Kachmann, S.D. 2000. Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugarbeet planters. *Transaction of the ASAE* 16 v: 1 p: 7-13.

Paszkiwicz, S. y S. Butzen. 2001. Corn hybrid response to plant population. *Crop Insights*. En: <http://www.pioneer.com/usa/agronomy/corn/1106.htm>

Pommel, B., Bonhomme, R., 1998. Variations in the vegetative and reproductive systems in individual plants of an heterogeneous maize crop. *Eur. J. Agron.* v:8 p: 39–49.

Raoufat, M.H.; Matbooei, A. 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.; Marrón, G.; Tourn, M.C. 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. Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Agronomía.

Schneider, E. C.; Gupta, S. C. 1985. Corn emergence as influenced by soil temperature, matrix 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. p: 44

Servicio Meteorológico Nacional. 2009. Boletín Agroclimatológico. En: <http://www.smn.gov.ar>

Severa, A. 2005. Eficiencia de cosecha de Maíz. En: <http://www.inta.gov.ar/balcarce/precop/eficCosMaiz.htm>

Singh, R; Singh, G; Saraswat, D. 2005. Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseed. *Biosystems Engineering* 92 v 4, p: 429 – 438.

Tesouro, M.O.; Delafosse, R.M.; Onorato, A.A. 2004. Análisis de la influencia del tamaño del alvéolo, en el desempeño del dosificador de fondo plano, con semilla de girasol. En www.inta.gov.ar/iir/info/documentos/siembra/girasol.pdf .

Tesouro, M.O.; D'Amico, J.P.; Paredes, D.; Romito A.; Roba, M.; Loyde, G.; Casartelli, M. 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.

Tollenaar, M., 1992. Is low plant population a stress in maize? *Maydica* v: 37 p: 305–311.

Tollenaar, M.; Wu, J. 1999. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. *Crop Sci.* 39 p: 1597-1604.

Umaran, I. 2006a. Producción de Maíz 2006. SAGPYA. Subsecretaría de Agricultura, Ganadería y Forestación. DNPAyF. Dirección de Agricultura. En: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>

Valentinuz, O. 2006. Maíz: Bases para la construcción de rendimientos altos y estables. Actualización técnica de Maíz. INTA EEA Paraná. Serie Extensión N° 41.

Valentinuz, O. 2007. Maíz: Uniformidad de Plantas y Tolerancia al Estrés. En [http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion vegetal/maiz/evaluacion manejo/unif estr es.htm](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/evaluacion_manejo/unif_estres.htm)

Valentinuz, O.; Di Orio, C.L.; Cabada, S. 2007. Velocidad de siembra y desuniformidad espacial en dos híbridos de maíz. Actualización técnica. Maíz, girasol y sorgo. INTA EEA Paraná. Serie Extensión Nº 44.

Vanderlip, R.L.; Okonkwo, J. C.; Schaffer, J.A. 1988. Corn response to precision of within-row plant spacing. *App. Agric. Res.* 3: 116 – 119.

Veronesi, J. A.; Cruz, C. D.; Correa, L. A.; Scapim, C. A. 1995. Comparação de métodos de ajuste do rendimento de parcelas com estandes variados. *Pesq Agrop Bras.* 30 (2): 169 – 174.

Wanjura, D.F.; Hudspeth, E.B. 1969. Performance of vacuum wheels metering individual cottonseed. *Transaction of ASAE* 12 (6): 775 – 777.

Yazgi, A; Degirmencioglu, A. 2007. Optimisation of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology. *Biosystems Engineering* 97 p: 347 – 356.