

VARIABILIDAD DE LA DISTANCIA ENTRE PLANTAS DENTRO DE LA HILERA DE SIEMBRA Y SU EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN ARGENTINA, BRASIL Y ESTADOS UNIDOS

Emilio H. Satorre¹

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal, Cátedra de Cerealicultura CONICET – Universidad de Buenos Aires. Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura (IFEVA)
Buenos Aires, Argentina
E-mail: satorre@agro.uba.ar

Recibido: 22/03/2021
Aceptado: 23/06/2021

RESUMEN

Trabajos recientes de varias partes del mundo han reportado pérdidas de rendimiento de diferente magnitud asociadas a la variabilidad de la distancia entre las plantas dentro de las hileras de cultivos de maíz. Sin embargo, poco esfuerzo se ha hecho para cuantificar la variabilidad de esas estimaciones y compararlas. Aquí se exploran resultados de trabajos y estimaciones obtenidas en Argentina, Brasil y Estados Unidos con el objeto de establecer la magnitud y variabilidad de las pérdidas atribuibles a la desuniformidad de la distribución espacial de las plantas en cultivos de maíz. Se comparó el desvío estándar de la distancia entre plantas dentro de las hileras (DE; cm) como medida de desuniformidad y su relación con el rendimiento de los cultivos en las referencias estudiadas. En promedio, las pérdidas de rendimiento atribuibles a la variabilidad de la distancia entre las plantas dentro de la hilera fueron mayores en Argentina ($102,1 \pm 40,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) que en Estados Unidos y Brasil ($67,4 \pm 28,9$ y $57,0 \pm 38,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, respectivamente) cuando el DE superaba 5 cm. Se discute la importancia relativa de distintos factores determinantes de la desuniformidad y posibles causas de la variabilidad de la respuesta de los cultivos bajo distintos manejos y ambientes.

Palabras clave: establecimiento, desuniformidad espacial, uso de recursos, maíz, *Zea mays* L.

PLANT SPACING WITHIN-ROW VARIABILITY AND ITS EFFECT ON GRAIN YIELD OF MAIZE (*Zea mays* L.) IN ARGENTINA, BRAZIL AND USA

SUMMARY

Great differences in the magnitude of maize yield losses related to within-row plant spacing variability have been reported in recent literature worldwide. However, few efforts have been done to quantify and compare that losses and their variability. Research reports on this topic in Argentina, Brazil and USA were explored in order to establish the magnitude and variability of non-uniform plant stands effect on yield. Standard deviation (SD; cm) of the distance between plants within the row was used as non-uniformity measure and its relation to crop yield explored. Estimated yield losses due to plant spacing variability were larger in Argentina ($102.1 \pm 40.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) than in Brazil and USA (67.4 ± 28.9 and $57.0 \pm 38.4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, respectively) when $SD > 5 \text{ cm}$. The relative importance of various factors determining spatially variable crops and their effect on yield is discussed together with the possible causes of the responses observed under different environmental and cropping conditions.

Key Words: plant arrangement, spatial uniformity, resource use, maize, *Zea mays* L.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) posee una baja plasticidad vegetativa y reproductiva (Andrade *et al.*, 2005). Esto reduce su capacidad para compensar problemas ocasionados durante la emergencia y establecimiento, convirtiendo al maíz en un cultivo sensible a la cantidad y calidad del estand de plantas logradas por su influencia sobre el aprovechamiento de recursos y el rendimiento. De hecho, el logro de un cultivo a la densidad deseada con emergencia uniforme y distribución de las plantas equidistantes es señalado como una condición necesaria para lograr altos rendimientos y optimizar el uso de los recursos ambientales y tecnológicos por parte del cultivo (Maroni y Gargicevich, 1998; Satorre y Maddonni, 2018).

La uniformidad de siembra y el establecimiento de un cultivo de maíz pueden afectarse por múltiples factores que modifican la disposición de las semillas y el logro de las plantas en el terreno. Entre los más importantes suelen considerarse (i) el tipo de dosificador de la sembradora; (ii) la uniformidad en el calibre, forma y tamaño de la semilla; (iii) las características del sistema de conducción de la semilla (longitud y ángulo, entre otros, del tubo de bajada); (iv) la velocidad de siembra; (v) las condiciones del suelo a la siembra (temperatura, humedad); y (vi) la incidencia de plagas o enfermedades durante la emergencia (Balboa *et al.*, 2008; Searle *et al.*, 2008; Agnes *et al.*, 2010; Kocher *et al.*, 2011). La norma ISO 7256/1 (1984), en la evaluación de equipos sembradores, y muchos trabajos experimentales y relevamientos a campo (*i.e.* Nielsen, 1995; Lauer y Rankin, 2004; Liu *et al.*, 2004; Satorre, 2005; Balboa *et al.*, 2008; Ballvé *et al.*, 2015) coinciden en utilizar el desvío estándar de la distancia entre plantas dentro la hilera de siembra (DE) para determinar la calidad de siembra e implantación de los cultivos. En el cultivo implantado, el DE, como atributo poblacional del estand, es un indicador del grado de variabilidad en la distribución de los recursos disponibles para las plantas. En maíz, al aumentar el DE la inequidad en la distribución de los recursos entre las plantas aumenta y la reducción del rendimiento de las plantas que disponen de menor cantidad de recursos no es compensada por el mayor rendimiento de aquellas que disponen de mayor cantidad de recursos debido a su baja plasticidad reproductiva (Andrade *et al.*, 1996).

El concepto de desuniformidad del estand suele aplicarse no sólo a la distribución espacial de las plantas en el terreno, sino también a la distribución del tamaño o

biomasa de las plantas del cultivo, frecuentemente generado por diferencias en el momento de la emergencia o condiciones durante el crecimiento de las mismas (Satorre, 2005). La desuniformidad asociada a las diferencias de tamaño entre plantas suele referirse como desuniformidad temporal, en relación a la demora en emergencia de algunas plantas, aunque esta no siempre sea la causa de la desuniformidad del tamaño de plantas en el cultivo. En contrapartida, se denomina desuniformidad espacial del cultivo a la asociada a la distribución de las plantas dentro de la hilera de siembra. Los objetivos de este trabajo fueron (i) caracterizar la desuniformidad espacial, recopilando y analizando informes de relevamientos llevados a cabo en Argentina, Estados Unidos y Brasil sobre cultivos comerciales de maíz; (ii) analizar evaluaciones de la relación encontrada entre el DE y el rendimiento en ensayos, caracterizadas a través de un valor simple de pérdida de rendimiento por cada centímetro de incremento del DE (pendiente de la relación); y (iii) analizar, a partir de la información disponible, la variabilidad de las pérdidas reportadas y atribuibles a la desuniformidad espacial de los cultivos de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Resultados que caracterizan la desuniformidad de cultivos en distintos lugares fueron recopilados. Estos corresponden a valores medios o rangos de variabilidad de relevamientos de lotes comerciales extraídos de fuentes bibliográficas o informes de proyectos de extensión conducidos en lotes de producción. La finalidad de estos relevamientos era, en todos los casos, evaluar la calidad promedio de implantación de cultivos. En unos pocos casos los trabajos exploraban posibles asociaciones entre las características ambientales, tipo de siembra y sembradora o de cultivo con los valores obtenidos. Identificar las causales particulares de los valores de desuniformidad encontrados no forma parte del objetivo de este trabajo y detalles o menciones a los mismos pueden ser encontrados en las citas respectivas. En Argentina y Estados Unidos se relevó información de lotes de maíz temprano implantados tanto en siembra directa como convencional con distintos tipos de sembradoras (usualmente neumáticas, de dedos o de placa). Cuando los resultados se refieren a cultivos en siembras tardías se indica en el texto. Los híbridos utilizados (tanto de tipo flex o de espigas rígidas) y el manejo de los cultivos correspondían a los convencionales usados por los productores en cada región.

La estimación de los coeficientes de pérdida (kg de merma de rendimiento producidos por cada cm de DE) corresponde también a valores promedio obtenidos y reportados en la bibliografía a partir de ensayos conducidos para determinar el impacto de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento de plantas o cultivos de maíz. En unos pocos casos, las unidades o expresiones de los valores fueron transformadas a valores con unidades equivalentes para su análisis. Un total de 24 referencias (Cuadro 1) fueron utilizadas con reportes de valores del efecto de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento de maíz temprano de primera a partir de ensayos conducidos tanto en grandes parcelas a campo como en pequeñas parcelas bajo condiciones semi-controladas.

En los ensayos sobre grandes parcelas a campo se usaron sembradoras neumáticas y de placa y los patrones de desuniformidad se generaban a través de cambios en la velocidad de siembra, modificaciones de la placa o raleos posteriores a la emergencia de las plantas que permitían explorar comportamientos a campo con valores de DE entre 0-5 cm y hasta 25-30 cm según el trabajo. Los distanciamientos entre hileras variaron según ensayo entre 40 y 80 cm (Brasil), 52 y 70 cm (Argentina) y 76 cm (Estados Unidos). Los híbridos que se usaron en los ensayos, al igual que en los relevamientos de campo, correspondían a los difundidos en cada región tanto de tipo flex o de espigas rígidas. Los ensayos conducidos en condiciones semi-controladas correspondían a siembras manuales o con sembradoras que luego eran raleadas para generar los valores de desuniformidad explorados.

En todos los ensayos se utilizaron densidades equivalentes a cultivos comerciales de alto rendimiento y, de cada ensayo sólo se reportan coeficientes de pérdida cuando la densidad en los tratamientos de desuniformidad se mantuvo aproximadamente constante. Una vez más, identificar la causa de la variabilidad de resultados no fue objetivo de este análisis, sino dar testimonio de los posibles resultados atribuibles al efecto del DE de la distancia entre plantas dentro de las hileras de maíz sobre el rendimiento.

Los valores medios reportados en los trabajos encontrados fueron analizados a través de estadística descriptiva y ANOVA, considerando el país de origen como fuente de variación.

RESULTADOS

Desuniformidad espacial en cultivos comerciales

Observaciones en Argentina sobre lotes comerciales en distintas regiones muestran cultivos de maíz con valores medios desuniformidad espacial que varían en un rango amplio, según localidad y planteo productivo. En General Pico (La Pampa), el desvío estándar (en adelante, DE) de la distancia entre plantas en siembras tempranas de maíz varió en el rango 5,7-39,2 cm en tanto que en General Villegas (Buenos Aires) lo hizo entre 2,6 y 22,0 cm (Ballvé *et al.*, 2015). En siembras tardías de maíz el rango de variación del DE se redujo a valores entre 6,8-22,0 cm y 2,6-6,9 cm, para General Pico y General Villegas, respectivamente. En el norte y centro de Buenos Aires los mismos autores (Ballvé *et al.*, 2015) reportaron valores de desuniformidad espacial de los cultivos tempranos y tardíos con un rango de variabilidad más reducido (3,4 y 13,6 cm), sin diferencias entre fechas de siembra. En otro relevamiento (Guarino *et al.*, 2015), sobre 94 lotes de producción en el este de La Pampa, el valor promedio de DE de la distancia entre plantas en las líneas de siembra para maíz temprano y tardío fue de 12,9 y 11,8 cm, respectivamente. Similarmente, monitoreos en 130 lotes comerciales de maíz de siembras tardías en el norte de la provincia de Córdoba mostraron valores medios de DE de 13,5 y 12,0 cm durante la campaña 2017 y 2018, respectivamente. El 75% de los lotes mostró registros de DE superiores a 10 y 8 cm durante 2017 y 2018, respectivamente. En ambos años un 25% de los lotes superó valores de DE de 16 cm (Satorre *et al.*, 2019; Satorre, 2020). En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, en un relevamiento de 27 lotes comerciales Elorza y Satorre (2003) reportaron valores medios de DE entre 7,2 y 26,3 cm.

Observaciones en 354 lotes comerciales en los estados de Indiana y Ohio, Estados Unidos, mostraron que el 60% de ellos tuvo valores de DE entre 10 y 14 cm; pero un 16% de los lotes superó valores de 14 cm en DE (Nielsen, 2004). En Wisconsin, mediciones de desuniformidad espacial en 87 lotes de maíz tuvieron un valor promedio de DE de 8,4 cm, con un rango de variabilidad entre 5 y 15 cm (Rankin y Lauer, 2000). Poco después, los mismos autores reportaron en 127 lotes de maíz un valor medio de DE de 8,4 cm y valores en el rango 4,8-17,3 cm en el mismo estado (Lauer y Rankin, 2004). A su vez, sobre 350 lotes de maíz en Idaho, Walsh *et al.* (2018) observaron que sólo el 16% de los lotes había logrado estands con valores de DE inferiores a 7,6 cm. El 60% de los lotes tuvo valores de DE entre 10 y 13 cm

y un 25% de los lotes tuvo valores entre 15 y 30 cm de DE. Sin embargo, en North Dakota sobre 38 lotes comerciales Novak y Ransom (2018) reportaron valores medios de DE de 7 y 9 cm en grupos de cultivos considerados menos y más desuniformes, respectivamente.

Varios trabajos referidos a la desuniformidad de los cultivos en Brasil coinciden en señalar que la desuniformidad de la distribución de plantas en maíz es un aspecto con importantes márgenes de mejora, en regiones como Santa Catarina o Rio Grande Do Sul (Rizzardi *et al.*, 1994; Argenta *et al.*, 2001; Da Silveira *et al.*, 2005; Jasper *et al.*, 2006; Vian *et al.*, 2016). Sin embargo, ninguno de los autores provee valores de

referencia obtenidos en condiciones de campo.

En conjunto, con escasas excepciones, la caracterización de la desuniformidad de los cultivos a campo en Argentina y Estados Unidos muestra tanto cultivos muy uniformes (*i.e.* DE < 5 cm; Nielsen, 1993) como con una gran variabilidad en la desuniformidad espacial, incluso dentro de cada región relevada.

Los autores y profesionales coinciden en mencionar que existe un amplio margen de mejora en los procesos que intervienen en el logro de cultivos espacialmente uniformes, debiendo prestarse atención a una adecuada calidad de implantación para aspirar a altos rendimientos.

Cuadro 1. Referencias y valores promedio de coeficientes de pérdida de rendimiento ($\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$) por desuniformidad espacial (DE) en maíz.

Origen	Autor	Año	Coefficiente de Pérdida ($\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$)
Estados Unidos	Nielsen	1995	60
	Doerge y Hall	2001	100
	Duncan	2001	101
	Doerge <i>et al.</i>	2002	84
	Lauer y Rankin	2004	29
	Liu <i>et al.</i>	2004	36
	Nielsen	2006	62
Argentina	Elorza y Satorre	2004	122
	Andrade <i>et al.</i>	2005	100
	Satorre	2005	49
	Satorre	2005	53
	Satorre	2005	100
	Satorre	2005	108
	Satorre	2005	107
	Olmos y Menéndez	2005	147
	Giuliano <i>et al.</i>	2006	85
	Giuliano <i>et al.</i>	2006	128
	Balboa <i>et al.</i>	2008	181
Dámico <i>et al.</i>	2010	45	
Brasil	Rizzardi <i>et al.</i>	1994	14
	Sangoi <i>et al.</i>	2012	82
	Sangoi <i>et al.</i>	2012	41
	Kolling <i>et al.</i>	2016	110
	Kolling <i>et al.</i>	2016	38

Desuniformidad espacial y pérdida de rendimiento

El efecto de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento puede estimarse a partir de pendiente (b) en la Ecuación 1:

Ecuación 1

$$\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} = a \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} - b \text{ (kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}\text{)} \times \text{DE (cm)}$$

dónde " b " es la pérdida por cada unidad de aumento del DE de la distancia entre plantas dentro de la hilera del cultivo y " a ", el rendimiento del cultivo cuando todas las plantas son equidistantes; *i.e.* DE es igual a cero. Nielsen (1993; 2001) y Doerge *et al.* (2002) han indicado que un DE de 5 cm constituiría un umbral a partir del cual los rendimientos decrecen linealmente con el incremento de la desuniformidad. De este modo, la Ecuación 1 se expresaría como:

Ecuación 2

$$\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} = a \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} - b \text{ (kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}\text{)} \times [\text{DE (cm)} - 5] \text{ si DE} > 5 \text{ cm}$$

En Argentina varios ensayos fueron llevados a cabo en los últimos años para establecer la pérdida de rendimiento atribuible a la desuniformidad espacial del cultivo de maíz (Cuadro 1). En ellos, los valores de pérdida unitaria de rendimiento (b) variaron entre un máximo de 181 kg ha⁻¹ cm⁻¹ de DE de la distancia media entre plantas en la hilera por encima de 5 cm (Balboa *et al.*, 2008) y un mínimo de 45 kg ha⁻¹ cm⁻¹ (D'amico *et al.*, 2010). Las reducciones relativas de rendimiento de maíz debidas a este factor variaron entre 6 y 15% para cultivos con rendimientos entre 8000 y 14000 kg ha⁻¹ y valores medios de DE entre 7 y 14 cm (Bragachini *et al.*, 2002; Andrade *et al.*, 2005; Olmos y Menéndez, 2005; Satorre, 2005; Giuliano *et al.*, 2006; Balboa *et al.*, 2008).

Los trabajos realizados en Estados Unidos fueron los primeros en llamar la atención sobre el impacto de la desuniformidad espacial de maíz y han servido de base de casi todos los trabajos de Argentina y Brasil, comenzando por el realizado por Krall *et al.* (1977) y los realizados en la década del 90 por Nafziger *et al.* (1991), Nielsen (1995) y Nafziger (1996).

En esos trabajos fundacionales se reportaron pérdidas de rendimiento en maíz entre 230 y 60 kg ha⁻¹ cm⁻¹

de incremento del DE de la distancia entre plantas dentro de la hilera. Pérdidas entre 11 y 100 kg ha⁻¹ cm⁻¹ DE sobre un amplio rango de condiciones (sitios, años, densidades de cultivo y rendimientos) fueron reportados por varios autores (Doerge y Hall, 2001; Nielsen, 2001; Doerge *et al.*, 2002; Nielsen 2004; Lauer y Rankin, 2004; Liu *et al.*, 2004; Nielsen, 2006) (Cuadro 1).

A diferencia de Argentina y Estados Unidos, gran parte de las investigaciones en Brasil exploraron cultivos a varias distancias entre hileras (entre 40 y 80 cm) y suelen expresar la desuniformidad utilizando el coeficiente de variación (CV) de la distancia media entre plantas dentro de la hilera. El CV es igual al desvío estándar (DE) dividido por la distancia media entre plantas (cm) y multiplicado por 100. Las pérdidas de rendimiento en estos trabajos variaron entre 64 y 187 kg ha⁻¹ por cada 10% de incremento del CV (Rizzardi *et al.*, 1994; Sangoi *et al.*, 2012; Kolling *et al.*, 2016) equivalentes a pérdidas de entre 14 y 110 kg ha⁻¹ cm⁻¹ de aumento del DE, para los datos reportados con cultivos a densidades constantes entre 72000 y 83000 plantas ha⁻¹ y rendimientos de maíz superiores a 12000 kg ha⁻¹.

Variabilidad y efecto comparado de la desuniformidad espacial

Los resultados obtenidos por los autores en los ensayos relevados y llevados a cabo en los tres países, o calculados a partir de sus resultados, mostraron mayores coeficientes promedio de pérdida de rendimiento (b) en los trabajos de Argentina que en los trabajos de Estados Unidos y Brasil (Cuadro 2).

La variabilidad del efecto de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento en maíz citada en los trabajos analizados fue relativamente mayor entre las referencias al tema en Brasil (67,3%) que en Argentina (39,8%) y resultó intermedia entre los de Estados Unidos (43,8%) (Cuadro 1). Sin embargo, por el mayor valor de coeficiente de pérdida en Argentina el impacto sobre las diferencias de cuantificación de pérdidas de rendimiento de grano de maíz atribuibles a la desuniformidad espacial puede ser de mayor magnitud (Figura 1).

DISCUSIÓN

Son pocos los trabajos en la literatura que han reportado mermas de rendimiento despreciables, en relación al número de los que sugieren la existencia de pérdidas significativas en cultivos desuniformes, al estudiar el efecto del aumento de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento de grano de maíz (*i.e.* Erback *et al.*,

1972; Valentinuz *et al.*, 2007). Todos los autores coinciden, sin embargo, en señalar la importancia de lograr estands uniformes de maíz para lograr altos rendimientos del cultivo, y ningún trabajo ha mostrado que cultivos con distribución uniforme de plantas en la hilera reduzcan su rendimiento (Thompson, 2013).

Las altas velocidades de siembra se señalan como el causante más conspicuo de cultivos desuniformes en maíz. A mayor velocidad, la desuniformidad aumenta (*i.e.* Balboa *et al.*, 2008) y frecuentemente se reduce la densidad lograda. En este sentido, algunos resultados sugieren que las pérdidas de rendimiento en cultivos desuniformes de maíz tienden a reducirse si las poblaciones logradas están cerca de las deseadas (Nafziger, 1996). Entre las prácticas que mejoran la uniformidad del cultivo, la reducción de la velocidad es una de alto impacto. El calibre, forma y tamaño de la semilla de maíz es otro de los factores que incide sobre la calidad de siembra y uniformidad espacial del cultivo; por ello, la industria hace un gran esfuerzo en homogeneizar y

caracterizar el calibre de las semillas para su venta. Asimismo, otros trabajos señalan la influencia del tipo de dosificador sobre la desuniformidad del cultivo. Las diferencias entre tipos de dosificadores aparecen bajo condiciones de siembra con diferentes pendientes, sistemas de labranza y velocidades (Da Silveira *et al.*, 2005, Searle *et al.*, 2008; Kocher *et al.*, 2011). Los híbridos de maíz también pueden diferir en su respuesta a la desuniformidad espacial del stand. Los híbridos prolíficos, macolladores o de tipo flex, con mayor plasticidad reproductiva, podrían ser menos afectados por la desuniformidad (Andrade *et al.*, 2005).

Gran parte de los trabajos relevados analizaron la importancia relativa de las fallas y doble golpes sobre el efecto de la desuniformidad. La falla suele ser definida como aquella distancia entre plantas 1,75 veces mayor a la distancia normal deseada a la siembra. Mientras que el desplazamiento de las semillas en la línea podría tener un efecto despreciable si las plantas emergen corridas respecto de la ubicación buscada no más del 50%

Cuadro 2. Medidas resumen de coeficientes de pérdida de rendimiento ($\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$ de DE) obtenidos de trabajos experimentales publicados (casos) llevados a cabo en Argentina, Brasil y Estados Unidos. Se presenta el valor promedio \pm desvío estándar, el mínimo (Mín) y máximo (Máx) valor reportado, la mediana y los percentiles 25 y 75 de resultados obtenidos en los trabajos de cada país. La diferencia entre valores promedio resultó significativa ($p < 0,05$) y la mínima diferencia significativa ($p < 0,05$) fue 40 fue $\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$ DE. A los fines del trabajo, el coeficiente de pérdida es el valor de pérdida de rendimiento ($\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$ DE) por encima de 5 cm (Ecuación 2).

Pérdida de rendimiento ($\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$ de DE de la distancia entre plantas dentro la hilera)							
País	N° de casos	Promedio \pm DE	Mín	Máx	Mediana	P(25)	P(75)
Argentina	12	102,1 \pm 40,6	45	181	104	53	122
Brasil	5	57,0 \pm 38,4	14	110	41	38	82
Estados Unidos	7	67,4 \pm 28,9	29	101	62	36	100

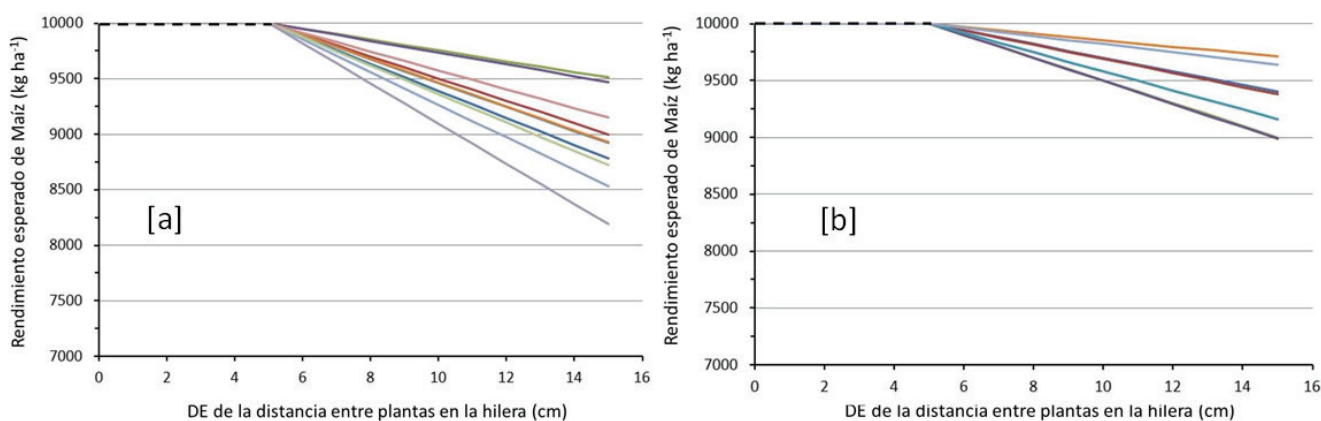


Figura 1. Modelos teóricos de las respuestas del rendimiento de maíz a la uniformidad de la distancia entre plantas dentro de la hilera de siembra según los coeficientes reportados en bibliografía de Argentina (a) y Estados Unidos (b). Los modelos lineales representan el rendimiento esperado de cultivos a una misma densidad y condición para cada coeficiente considerado en el análisis del Cuadro 1.

de la distancia normal entre plantas (Doerge y Hall, 2000). El incremento en el porcentaje de fallas ha sido identificado como el principal factor de pérdida atribuible a la desuniformidad espacial; de hecho, Nafziger (1996) señaló que las plantas distanciadas, debido a fallas, no podían compensar enteramente (sólo entre el 47 y 19%) la pérdida de una planta en el cultivo y, en cambio, que los dobles llegarían al 80% de la productividad de dos plantas bien distribuidas. Las características del híbrido o la condición de cultivo podrían tener efecto sobre el rendimiento aumentando la habilidad de las plantas para compensar la desuniformidad espacial ante el incremento del porcentaje de fallas o doble golpes en el cultivo. Es conocido que la mayor capacidad del híbrido para fijar granos con bajas tasas de crecimiento, la mayor plasticidad reproductiva y vegetativa del genotipo y la mayor densidad de siembra tienden a reducir la importancia del doble golpe en la determinación de mermas de rendimiento (Andrade *et al.*, 2005; Angelini *et al.*, 2009).

La desuniformidad espacial del stand se traduce en diferencias de crecimiento de las plantas lo que reduce el rendimiento de grano de maíz (Andrade y Abbate, 2005). Es de notar que muchos de los autores en los trabajos estudiados (Cuadro 1) coinciden en que la desuniformidad temporal (ver introducción), al aumentar el porcentaje de plantas estériles en el cultivo, es más importante que la espacial en maíz (*i.e.* Giuliano *et al.*, 2006; Nielsen, 2006). Sin embargo, muchos señalan que ambos tipos de desuniformidad son responsables de pérdidas significativas de rendimiento en condiciones de campo. Por ello, reducir la emergencia despereja de plantas y mejorar la uniformidad espacial buscando condiciones adecuadas y mejorando el proceso de siembra aparece como necesario para reducir pérdidas y aumentar la productividad de los cultivos en Argentina.

CONCLUSIÓN

Es frecuente que asesores y productores se refieran al impacto de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento de maíz utilizando valores de referencia simples, de citas extranjeras o locales como las presentadas en esta revisión. A la luz de la variabilidad de las estimaciones de pérdida, esas referencias deberían ser hechas con cautela. Las mermas de rendimiento atribuibles a la desuniformidad espacial estimadas a partir del DE de la distancia entre plantas dentro de la hilera sugieren que estas pueden alcanzar valores económicos significativos si se trasladan a cultivos bajo condiciones de producción. De hecho, las pérdidas de rendimiento medias esperables a partir de los valores reportados en trabajos de los tres países incluidos en este análisis (Argentina, Brasil y Estados Unidos) alcanzarían relevancia si se extrapolasen a la superficie sembrada con maíz. Sin embargo, el trabajo muestra que la variabilidad de estas estimaciones es grande y las causas que las determinan pueden ser atribuidas a factores tales como la operación de siembra, la densidad, el genotipo y el ambiente, entre las más importantes. Desarrollar modelos que puedan predecir con precisión los coeficientes de pérdida de rendimiento de grano atribuibles a cultivos de maíz bajo condiciones variables permitiría incorporar decisiones efectivas para reducir el impacto de la desuniformidad espacial y trasladar su margen de mejora a una mayor producción.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Federico Cola y Álvaro Fernández (Seedmatriz S.A.) por sus aportes y apoyo en la realización de este trabajo. Asimismo, agradece los comentarios y sugerencias realizados por los dos revisores que, sin dudas, han contribuido a mejorar el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Agnes, R. W., Tourn, M.C. y Soza, E. L. (2010). Variabilidad en la distribución de semillas de maíz: una revisión. *Revista Facultad de agronomía*, 30(1-2), 101-121.
- Andrade, F. H. y Abbate, P. (2005). Response of maize and soybean to variability in stand uniformity. *Agronomy Journal*, 97(4), 1263-1269.
- Andrade, F. H., Cirilo, A., Uhart, S. y Otegui, M. (1996). *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Dekalb Press, Ed. La Barrosa, Balcarce, Argentina. 292 pp.
- Andrade, F. H., Sadras, V. O., Vega, C. R. C. y Echarte, L. (2005). Physiological determinants of crop growth and yield in maize, sunflower and soybean: Their application to crop management, modelling and breeding. En M. Kang (ed.). *Genetic and production innovations in field crop technology: new developments in theory and practice*. Bigamton, NY: Haworth Press/CRC Press. Pp. 51-101.
- Angelini, D., Valentinuz, O. y Cabada, S. (2009). Desuniformidad espacial: Ciclo, macollaje y prolificidad afectan la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Científica Agropecuaria*, 13(1), 17-24.
- Argenta, G., Ferreira da Silva, P. R. y Sangoi, L. (2001). Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. *Ciencia Rural*, 31(6), 1075-1084.

- Balboa, G. R., Espósito, G. P., Castillo, C. A., Balboa, R. G. y De Deseo, G. (2008). Uniformidad espacial de plantación en maíz (*Zea mays* L.). Hoja de extensión, Universidad Nacional de Río Cuarto. Recuperado de: https://www.produccionvegetalunrc.org/images/fotos/699_BALBOA_GR.pdf
- Ballvé R., Alonso, M. y Satorre, E. H. (2015). Controlando la densidad de siembra de los cultivos. *Cultivar decisiones*, 87, 4. Recuperado de: <http://www.cultivaragro.com.ar/publicaciones.html>
- Bragachini, M., von Martini, A., Méndez, A., Pacioni, F. y Alfaro, M. (2002). *Siembra de maíz, eficiencia de implantación y su efecto sobre la producción de grano*. En Actas del III Taller Internacional de Agricultura de Precisión del cono Sur. Carlos Paz, Córdoba: Procisur/IICA, 9 pp.
- Da Silveira, J., Gabriel Filho, A., Tieppo, R., Torres, D., Baldessin Jr, A. y Boligon, F. (2005). Uniformidade de distribuicao de plantas e stande de milho (*Zea mays* L.) emfuncao do mecanismo dosador de sementes. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 27(3), 467-472.
- D'amico, J., Tesouro, O., Romito, A., Paredes, D. y Roba, M. (2010). Desuniformidad de distribución espacial. Caracterización de su impacto sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.). Parte II: Análisis a nivel de cultivo. *Informe técnico de siembra N° 13*. Inst. Ingeniería Rural CIA, CNIA, INTA Castelar, Argentina: Ediciones INTA.
- Doerge, T. y Hall, T. (2001). The value of planter calibration using the Meter Max System. *Crop insights*, 10(23), 1-4.
- Doerge, T., Jeschke, M. y Carter, P. (2002). Planting outcome effects on corn yield. *Cropinsights*, 12(2), 1-5.
- Elorza, F. M. y Satorre, E.H. (2003). Evaluación de la densidad y uniformidad de siembra en cultivos de maíz. Informe a Bellamar Estancias, 30 pp. Buenos Aires (no publicado).
- Erbach, D., Wilkins, D. y Lovely, W. (1972). Relationships between furrow opener, corn plant spacing, and yield. *Agronomy Journal*, 64(5), 702-704.
- Giuliano, D., Cirilo, A. y Otegui, M. E. (2006). *Desuniformidad espacial y temporal de plantas en el cultivo de maíz: Influencia de la densidad y la distancia entre surcos*. Actas VIII Congreso Nacional de Maíz: Generando Valor para un Futuro Sustentable. AIANBA –Asociación de Ingenieros Agrónomos del Norte de la Provincia de Buenos Aires–, Pergamino, Argentina. Recuperado de: <http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=181>
- Guarino G., Ballvé, R., Alonso, M. y Satorre, E. H. (2015). Calidad de siembra y de implantación de los cultivos de maíz en el Oeste pampeano. Red de Innovadores AAPRESID. *Revista Técnica de Maíz*, 8-12.
- ISO 7256/1. (1984). *Sowing equipment- Test methods, Part 1: Precision drills for sowing in lines*. 14 pp.
- Jasper, R., Janszen, U., Jasper, M. y García, E. (2006). Distribuição longitudinal e germinação de sementes de milhocomempregode tratamento fitossanitário e grafite. *Engenharia Agrícola*, 26(1), 292-299.
- Kocher, M. F., Coleman, J. M., Smith, J. A. y Kachman, S. D. (2011). Corn Seed Spacing Uniformity as Affected by Seed Tube Condition. *Applied Engineering in Agriculture*, 27(2), 177-183.
- Kolling, D., Sangoi, L., Souza, C., Casa, R., Schenatto, D., Giordani, W. y Boniatti, C. (2016). Tratamiento de sementescombio estimulante aomilho submetido a diferentes variabilidades na distribuicao espacial das plantas. *Ciencia Rural*, 46(2), 248-253.
- Krall, J., Esehie, H., Raney, R., Clark, S., Ten Eyck, G., Lundquist, M., Humburg, N., Axthelm, L., Dayton, A. y Vanderlip, R. (1977). Influence of within – row variability in plant spacing on corngrain yield. *Agronomy Journal*, 69(2), 797-799.
- Lauer, J. y Rankin, M. (2004). Corn response to within row plant spacing variation. *Agronomy Journal*, 96,1464-1468.
- Liu, W., Tollenaar, M., Stewart, G. y Deen, W. (2004). Impact of planter type, planting speed, and tillage on stand uniformity and yield of corn. *Agronomy Journal*, 96(6), 1668-1672.
- Maroni, J. y Gargicevich, A. (1998). Operación desiembrada, densidad y uniformidad de plantasen maíz. Impacto sobre rendimiento en granos. En: *Uso eficaz de las sembradoras para maíz*. Capítulo II: pp. 29. Morgan - Mycogen, Buenos Aires.
- Nafziger, E. D. (1996). Effects of missing and two plant hills on corn grain yield. *Journal Production Agriculture*, 9, 238-240.
- Nafziger, E., Carter, P. y Graham, E. (1991). Response of corn to uneven emergence. *Crop Science*, 31, 811-815.
- Nielsen, R. L. (1993). Planting speed effects on stand establishment and grain yield of corn. *Journal of Production Agriculture*, 8, 391-393.
- Nielsen, R. L. (1995). Planting speed effects on plant establishment and grain yield of corn. *Journal of Production Agriculture*, 8, 391-393.
- Nielsen, R. L. (2001). *Stand Establishment Variability in Corn*. Proceedings of the 2006 Indiana CCA Conference, Indianapolis, IN, EE.UU. Recuperado de: <https://www.agry.purdue.edu/cca/2006/pdf/nielsen.pdf>
- Nielsen, R. L. (2004). *Effect of plant spacing variability on corn grain yield*. *Corny news network*. Research Updates. Recuperado de: <https://www.agry.purdue.edu/ext/corn/research/psv/update2004.html>
- Nielsen, R. L. (2006). Effect of plant spacing variability on maize grain yield. *Proceedings of the 6th triennial conference 2006 of the Maize Association of Australia*. Griffith, NSW, Australia.
- Novak, L. y Ransom, J. (2018). Factors impacting corn (*Zea mays* L.) establishment and the role of uniform establishment on yield. *Agricultural sciences*, 9(10), 1317-1336.
- Olmos, M. y Menéndez, F. (2005). *Efectos de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento de cultivos de maíz sembrados con diferentes densidades*. Actas VIII Congreso Nacional del Maíz. Rosario, Santa Fe, Argentina. Pp. 97-100.
- Rankin, M. y Lauer, J. (2000). *Corn stand uniformity in Wisconsin*. University of Wisconsin-Extension UW-Madison Dept. of Agronomy. Recuperado de: Rizzardi, M., Boller, W. y Dalloglio, R. (1994). Distribuicao de plantas de milhonalinha de semente e seusefeitos nos componentes de producao. *Pesquisa agropecuaria Brasileira*, 29(8), 1131-1136.
- Sangoi, L., Schmitt, A., Vieira, J., Picoli Jr, G., Souza, C., Casa, R., Schenatto, D., Giordani, W., Boniatti, C., Machado, G. y Horn, D. (2012). Variabilidade na distribuicao espacial de plantas nalinha e rendimento de graos de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 11(3), 268-277.

- Satorre, E. H. (2005). *El arreglo espacial de las plantas del cultivo de maíz. Tendencias y efecto en los planteos de la región pampeana*. Actas VIII Congreso Nacional de Maíz, Rosario, Santa Fe, Argentina. Pp. 430-432.
- Satorre, E. H. (2020). Identificación de puntos de mejora de la productividad de los cultivos de Maíz. Unidad Territorial Córdoba Norte en la región Centro-Norte de Córdoba. *Informe de la Red agropecuaria de vigilancia tecnológica RAVIT*. 47 pp.
- Satorre, E. H., Berger, A. y Guarino, G. (2019). Identificación de puntos de mejora de la productividad de los cultivos de Soja y Maíz en la campaña 2018-19. Unidad Territorial Córdoba Norte en la región centro-norte de Córdoba. *Informe de la Red agropecuaria de vigilancia tecnológica RAVIT*. 88 pp.
- Satorre, E. H. y Maddonni, G. A. (2018) Spatial Crop Structure in Agricultural Systems. En: Meyers R. (ed.). *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. New York, EE.UU. Springer, <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6>; online ISBN 978-1-4939-2493-6
- Searle, C. L., Kocher, M. F., Smith, J. A. y Blankenship, E. E. (2008). Field slope effects on uniformity of corn seed spacing for three precision planting metering systems. *Biological Systems Engineering paper and publications*.
- Thompson, T. A. (2013). *Within-row spacing effect on individual corn plant yield*. MScThesis; Univ. of Illinois Urbana-Champaign, EE.UU., pp. 59.
- Valentinuz, O., Di Orio, C. y Cabada, S. (2007). *Velocidad de siembra y desuniformidad espacial en dos híbridos de maíz. Actualización técnica en Maíz, Girasol y Sorgo - INTA, EEA Paraná, Serie Extensión N° 44*, pp. 38-42.
- Vian, A., Santi, A., Amado, T., Cherubin, M., Simón, D., Damian, J. y Bredemeier, C. (2016). Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e suacorrelaçãocomvariáveis explicativas da planta. *Ciencia Rural*, 46(3), 464-471.
- Walsh O., Liang, X., Thornton, M. y Rogers, C. (2018). *Uniform plant stand is key to crop yield and quality*. Idaho Crop Improvement Association (ICIA). Extension University Idaho bulletin, 951, 11. Recuperado de: <https://www.extension.uidaho.edu/publishing/html/BUL951-Uniform-Plant-Stand-Is-Key-to-Crop-Yield-and-Quality.aspx?title=Crop%20Production&category1=Crops&category2=Cereals>