

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ÁREA DE CONSOLIDACIÓN
SISTEMAS AGRÍCOLAS DE PRODUCCIÓN
EXTENSIVOS

*“Evaluación del distanciamiento entre hileras, en el cultivo
de maíz mediante un Meta-Analysis”*



Autores:

- **Marcos Manuel Pablo**
- **Lampa Juan Cruz**

Tutor:

- **Ing. Agr. José Raúl Giupponi**

Consultor:

- **Ing. Agr. Franco Bardeggia**

AÑO 2023



AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por el inmenso apoyo y consideración.

A Ernesta Fabio por brindarnos su conocimiento y apoyo.

A Angelica Calderon por su contribución en el área estadística del trabajo.

A Raúl Giupponi por ayudarnos en los momentos finales del trabajo.

Y finalmente a Franco Bardeggia (Aapresid) y Federico Pagnan (INTA) por permitirnos trabajar junto a ellos y ayudarnos durante el desarrollo del trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen.....	6
Introducción.....	7
Objetivos.....	11
Materiales y Métodos.....	12
Resultados y Discusión.....	19
Conclusión.....	26
Bibliografía.....	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Detalle de los Estudios seleccionados para el meta-análisis.....	15
Tabla 2. Efecto global del cociente de medias y heterogeneidad para el modelo de efectos fijos en RTO.....	19
Tabla 3. Efecto global del cociente de medias y heterogeneidad para el modelo de efectos fijos en RI%.....	22
Tabla 4. Medidas resumen para el cociente de medias de rendimiento en los niveles de N, densidad y productividad.....	22
Tabla 5. Medidas resumen para el cociente de medias de RI % en los niveles de N, densidad y productividad.....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de los criterios de exclusión para el meta-análisis.....	13
Figura 2. Localización de los 18 experimentos.....	14
Figura 3. Imagen de parte de la base de datos para el meta-análisis.....	16
Figura 4. Gráfico Forest Plot de diferencias de medias para el modelo de efectos fijos en RTO....	20
Figura 5. Gráfico Forest Plot de diferencias de medias para el modelo de efectos fijos en %RI....	21
Figura 6. Gráfico Funnel Plot de diferencias de medias para el modelo de efectos fijo.....	21
Figura 7. Relación entre la productividad y el cociente de medias en rendimiento.....	23
Figura 8. Relación entre los cocientes de medias de rendimiento e intercepción de la radiación solar	24

RESUMEN

En este trabajo se utilizó la técnica del meta-análisis (MA) y de la revisión sistemática de bibliografía (RS), para dilucidar cómo es la respuesta del rendimiento del maíz al estrechar las distancias entre hileras. Esto bajo distintos tipos de situaciones ambientales. Debido a la cantidad de información disponible relacionada a esta temática, gracias a la RS se seleccionaron 18 papers y con estos trabajos se llevó a cabo un MA. En él se evaluaron los rendimientos de maíz en grano, ajustando un modelo de efectos fijos (MEF) y un análisis de relación del rendimiento y el % de radiación interceptada en el periodo crítico del cultivo con el distanciamiento entre hileras, junto con otras variables como densidad, fertilización nitrogenada y la productividad. El MEF dio como resultado un efecto global de un cociente de medias de 1,064, lo que evidencia un incremento en el rendimiento del 6,4% con respecto al grupo control. En cuanto la captación de la radiación, el MEF dio como resultado un efecto global de un cociente de medias de 1,039, lo que evidencia un incremento en el porcentaje de radiación interceptada de 3,9 del tratamiento experimental con respecto al testigo. Con la información obtenida, es posible concluir que el estrechamiento de la distancia entre surcos posibilita un incremento en el rendimiento del grano de maíz, en mayor o menor magnitud, dependiendo del ambiente en donde este se produzca; altas, medias y bajas disponibilidades de nitrógeno; altas, medias y bajas densidades de plantas y altas y bajas productividades. Un análisis similar también se llevó a cabo para establecer la relación del rendimiento en grano con la cantidad de radiación interceptada por el cultivo.

Palabras clave: *Zea mays*, *Meta-Analysis*, distanciamiento entre hileras, rendimiento.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz es el de mayor área sembrada y cosechada del mundo. Además, de ser el más producido y consumido. Tiene la particularidad de contar con la más amplia cantidad de países participantes en su producción. La materia prima (grano), los productos de su transformación, la tecnología para la producción del cereal y sus derivados son elementos centrales en las negociaciones entre países y bloques del mundo (MAIZAR, 2023).

El rendimiento de los cultivos de maíz se ve influenciado por una serie de factores clave, que incluyen la calidad del suelo, índices productivos, condiciones climáticas favorables en términos de radiación y temperatura durante el ciclo de crecimiento, así como una cantidad adecuada de precipitaciones. La fotosíntesis, que permite a los cultivos capturar dióxido de carbono y producir biomasa, es esencial para el rendimiento del maíz, y la cantidad de cosecha de granos depende de esta biomasa generada.

El aumento de la biomasa a lo largo del tiempo se debe a la interacción entre la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo (RFAi) y la eficiencia con la que el cultivo utiliza esta radiación para producir biomasa (EUR) (Andrade *et al.* 2005). Una alta cobertura y el mantenimiento de una superficie foliar adecuada son cruciales para interceptar una cantidad significativa de radiación fotosintéticamente activa durante el ciclo de crecimiento, lo que a su vez favorece una mayor producción de biomasa, destinada a particionarse entre los distintos órganos de la planta, determinando así el rendimiento del grano (Andrade *et al.* 1996).

Entre los factores de manejo que contribuyen a una mayor intercepción de radiación en el maíz se incluyen la distancia entre hileras, la densidad de siembra, la fecha de siembra y la fertilización.

Una menor distancia entre surcos permite una distribución más uniforme de las plantas en planteamientos de alta densidad, lo que mejora la cobertura del suelo y aumenta la captura de radiación en las primeras etapas del crecimiento (Maddonni *et al.* 2001).

Esta práctica, la de estrechar hileras, resulta en un aumento de la biomasa en variedades de maíz de ciclo corto e intermedio, o cuando la distancia entre plantas dentro de

la hilera es reducida (Andrade *et al.* 1996; Cirilo *et al.* 2000). Sin embargo, en cultivos con una gestión adecuada de la densidad y otros factores, los resultados no suelen variar significativamente en comparación con los espacios recomendados (Cirilo *et al.* 2004).

Además de aumentar la intercepción de radiación, al reducir la distancia entre hileras se busca aprovechar en términos de logística de la maquinaria agrícola, que esta pueda ser compartida con otros cultivos como por ejemplo el de soja.

Cuando se evalúa la interacción entre esta práctica y otros aspectos del manejo, como la dosis de fertilizante, más específicamente la dosis de nitrógeno, se observa que, con dosis más bajas, la mejora en el rendimiento es significativa en hileras estrechas comparadas con los distanciamientos convencionales (Barbieri *et al.* 2008). La fertilización con nitrógeno es indispensable ya que es uno de los nutrientes primarios que los cultivos requieren en mayores cantidades, éste incrementa el tamaño de las células, área foliar y la actividad fotosintética generando un impacto positivo en el rendimiento del cultivo de maíz (Hashemi *et al.*, 1994). La disponibilidad de nitrógeno regula la tasa de expansión foliar y, en consecuencia, la eficiencia en la intercepción de la radiación (Uhart y Andrade, 1995).

En cuanto a la relación con la densidad de siembra, en cultivos con bajas densidades y menor productividad, no se observa una respuesta significativa al estrechamiento de las hileras, a diferencia de los cultivos densos de alta productividad, donde los rendimientos superan las 10.1 toneladas y se registran diferencias significativamente a favor de los espacios estrechos. En estos casos, la disposición más uniforme de las plantas en la hilera, lograda mediante el espaciamiento estrecho, resulta en un uso más eficiente de los recursos como el agua, la luz y los nutrientes (Strieder *et al.* 2008).

Con densidades de siembra convencionales (6-9 semillas por metro cuadrado) para el maíz y en ausencia de deficiencias de nutrientes o agua, los beneficios de reducir la distancia entre hileras suelen notarse principalmente en las primeras etapas del crecimiento, y estas diferencias tienden a disminuir a medida que el cultivo avanza hacia el periodo crítico (Cirilo *et al.* 2000).

La respuesta del rendimiento a la reducción de la distancia entre hileras depende de la

mejora que se logre en la eficiencia de la intercepción de la radiación solar por parte del canopeo y la cantidad de biomasa que el cultivo alcance en el momento de la floración, que es el período crítico para determinar el rendimiento (Andrade *et al.* 2002).

El análisis conjunto de una cantidad considerable de ensayos podría mejorar la comprensión del efecto de variables de suelo, clima y manejo sobre los patrones de respuesta. Por ejemplo, mediante la integración de varios ensayos sobre distanciamientos entre hileras, integrando las interacciones con otras prácticas de manejo como lo son la densidad o la dosis de fertilizante.

Hoy en día, la investigación agrícola se ha vuelto más accesible gracias a la proliferación de artículos de investigación en formato digital. Esto facilita la recopilación y el análisis de grandes cantidades de información, lo que se conoce como "metaconocimiento" (Evans y Foster, 2011). De esta manera, existen diferentes técnicas con enfoques diferentes: i) cualitativo, cuando el objetivo principal es hacer una descripción del estado de un tema, comúnmente denominadas "revisiones sistemáticas"; y ii) cuantitativo, cuando incluye el procesamiento matemático de los datos recolectados, también denominadas como "meta-análisis" (Borenstein *et al.*, 2009; Philibert *et al.* 2012).

En el caso del meta-análisis, está siendo usada en el contexto de las ciencias agrícolas como herramienta de análisis de varios caracteres de interés agronómico; por ejemplo los efectos ambientales que podrían modificar la composición de la semilla (Rotundo y Westgate, 2009), la comparación de rendimientos de maíz y trigo en diferentes sistemas de cultivo (Hossard *et al.*, 2016; Miguez y Bollero, 2005) y QTLs* para la resistencia a enfermedades en el maíz y para la tolerancia a la sequía en el maíz (Hao *et al.* 2010; Rossi *et al.* 2019; Zhao *et al.* 2015). Por ende, en este trabajo se propone utilizar esta técnica, para dilucidar cómo es la respuesta del rendimiento en maíz al estrechar las distancias entre hileras bajo distintos tipos de situaciones ambientales.

En la actualidad, la mayoría de las investigaciones sobre los espacios entre las hileras en el cultivo de maíz en Argentina se basan en ensayos individuales, y ocasionalmente, se realizan redes de ensayos con análisis estadísticos tradicionales o conjuntos de experimentos en las mismas bases de investigación. Para analizar y comprender las relaciones entre el rendimiento y la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (RFAi) con el

estrechamiento de hileras en el cultivo de maíz, resulta sumamente útil emplear un enfoque cualitativo como la revisión sistemática (RS) para recopilar información.

La RS permite extraer información valiosa de diversos estudios relacionados en torno a una pregunta de investigación específica. Además, facilita la síntesis de la información científica disponible, contribuye a aumentar la validez de las conclusiones de los estudios primarios y, por último, identifica áreas que merecen ser exploradas en futuras investigaciones (Ferreira González et al., 2011).

Después de realizar una revisión sistemática de la literatura relacionada con la pregunta de investigación, la información pertinente de los estudios individuales suele ser reunida y sometida a un análisis conjunto utilizando modelos estadísticos característicos del meta-análisis (MA) (Akobeng, 2005; Borenstein et al., 2009, 2010; Sánchez-Meca, 2010). El meta-análisis ofrece la ventaja de mejorar la estimación del efecto global del tratamiento al utilizar diversos modelos estadísticos, como los modelos de efectos fijos y aleatorios. Estos modelos se pueden representar visualmente mediante un Gráfico Forest Plot (FP). El FP es uno de los gráficos más comunes en el contexto del meta-análisis, ya que proporciona una visión conjunta de los resultados de los estudios primarios, así como del efecto global. Además, muestra las ponderaciones o "pesos" estimados para el modelo estadístico empleado, los cuales influyen en la estimación global del tamaño del efecto. Cabe destacar que el tamaño del efecto global o promedio estimado tiene en cuenta la información propia de cada estudio primario, como el tamaño de la muestra evaluada y el número de eventos reportados (Borenstein et al., 2009). Cabe mencionar que, la exclusión de estudios relevantes, como la inclusión de estudios inadecuados en el MA, pueden agregar/generar sesgo. Para evitar este tipo de problemáticas, lo ideal sería seguir un esquema de selección adecuado en la RS. Una herramienta gráfica que permite la identificación de posibles sesgos de publicación, es el Funnel Plot o Diagrama de embudo (Duval y Tweedie, 2000; Sterne *et al.* 2011).

A la luz de la información anteriormente mencionada, se plantean las preguntas guía de este estudio: ¿Puede la técnica del meta-análisis proporcionar las herramientas necesarias para explicar los efectos del estrechamiento entre hileras en el cultivo de maíz? ¿Es factible llevar a cabo análisis conjuntos que incluyan otras variables, como la fertilización o la densidad de las plantas?

OBJETIVO GENERAL

Aplicar técnicas propias del meta-análisis para analizar y concluir la respuesta del rendimiento en maíz al estrechar las distancias entre hileras en distintas situaciones ambientales.

Objetivos específicos

- Encontrar una correlación entre la densidad de plantas y el distanciamiento de hileras con respecto al rendimiento.
- Encontrar una correlación entre la fertilización nitrogenada y el distanciamiento de hileras con respecto al rendimiento.
- Analizar y encontrar una respuesta de la captación de radiación fotosintéticamente activa al estrechar las distancias entre hileras.

MATERIAL Y MÉTODOS

RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para recolectar la información, mediante la RS, se eligieron palabras claves relacionadas a la pregunta de investigación, mediante esto se formó el constructor de búsqueda en formato P-I-O (Population-Intervention-Outcome) siendo (maize OR “zea mays”) AND (“row spacing” OR “narrow spacing”) AND (“yield” OR “Radiation interception” OR “production”). Esta estructura de búsqueda nos permitió conseguir un gran volumen de resultados y estudios primarios considerables relacionados al efecto del estrechamiento entre hileras con el rendimiento o la radiación interceptada en el cultivo de maíz.

La búsqueda se llevó a cabo en la plataforma ResearchGate en la sección de research (investigación) mediante un motor de búsqueda semántica que navega por los recursos internos y externos de investigación de las principales bases de datos como PubMed, CiteSeer y arXiv; entre otros, para encontrar los mejores resultados en trabajos de investigación. Este motor de búsqueda permite hallar resultados más precisos procesando resúmenes científicos mediante el análisis de una mayor cantidad de términos utilizados en la búsqueda de palabras clave.

Los hallazgos se importaron a Zotero, un gestor bibliográfico que permitió la compresión, organización y sincronización de citas bibliográficas, así como la eliminación de estudios duplicados. Luego, se procedió a la selección de aquellos descubrimientos que contenían palabras clave relacionadas con el constructo de búsqueda en el título. Posteriormente, se realizó una selección basada en el resumen. Los experimentos que pasaron esta fase inicial fueron examinados en su totalidad. Como resultado de esta selección, se obtuvieron un total de 18 documentos, de los cuales se extrajeron datos específicos necesarios para la creación de la base de datos. Estos datos incluyen el número de muestras en el grupo experimental (estrechamiento de hileras), la media del grupo experimental, el número de muestras en el grupo de control (distanciamientos convencionales) y la media del grupo de control. Además, se recopilaron datos relacionados con las prácticas de manejo de la fertilización nitrogenada y la densidad de siembra, que son fundamentales para evaluar y calcular su interacción con el estrechamiento de hileras.

Finalmente, se consideraron observaciones adicionales, como las condiciones específicas de

cada experimento, como el sistema de riego y la productividad del sistema, entre otros.

De los papers se extrajeron una totalidad de 91 observaciones para la confección de la base de datos. El tamaño del efecto usado en el MA, fue el cociente de medias (CM), siendo este el cociente entre la media del grupo experimental y la media del grupo control. En la siguiente imagen (fig 1) se puede observar el procedimiento y el volumen de papers seleccionados en cada etapa.

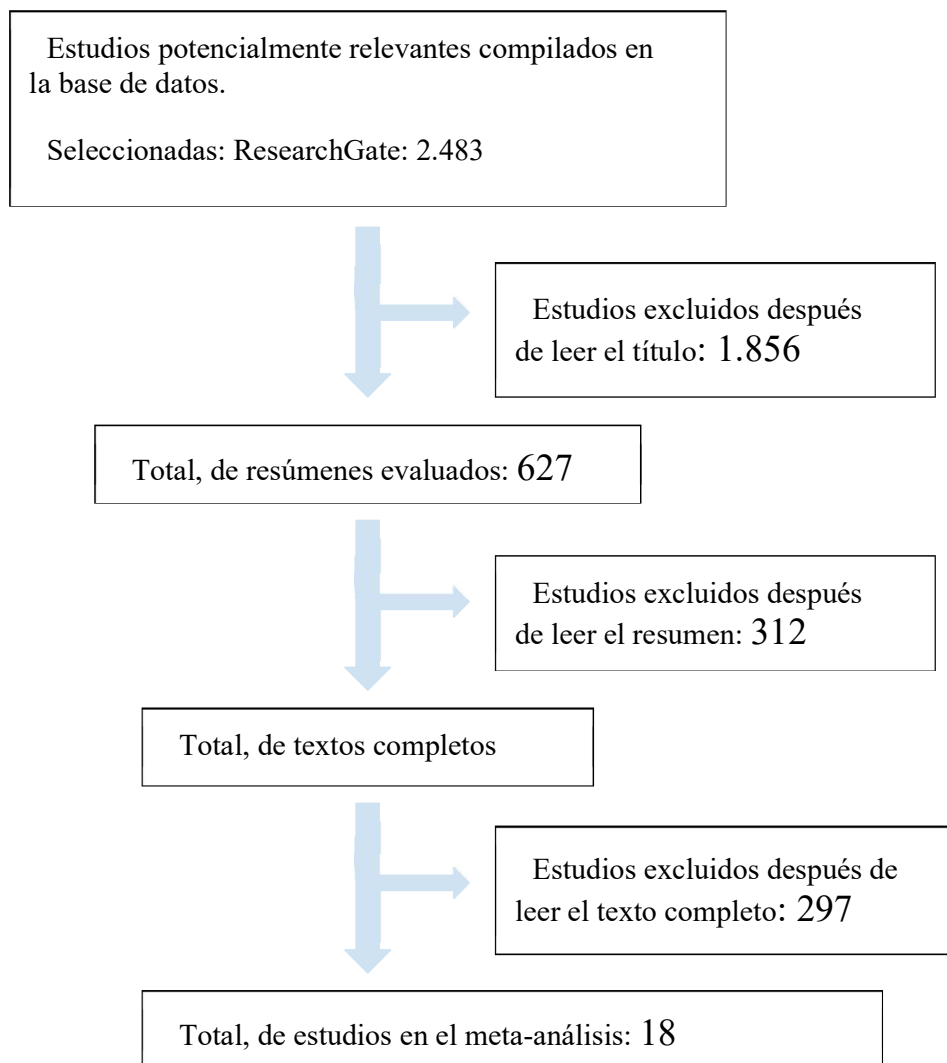


Figura 1. Diagrama de flujo de los criterios de exclusión para el meta-análisis.

El conjunto de datos global de los 18 experimentos incluyó 182 tratamientos y 16 localizaciones diferentes, 91 de los tratamientos corresponden a distanciamientos estrechos de hileras (0,35m; 0,38m; 0,4m; 0,42m y 0,45m), la otra mitad corresponde a distanciamientos convencionales de hileras (0,52m; 0,7m; 0,76 y 0,8m) (Tabla 1). Los experimentos se localizan en 6 países distintos (fig 2), siendo estos dos sudamericanos, un norteamericano, un europeo y dos asiáticos. 12 de los 18 experimentos se ubican entre Argentina y Brasil, le sigue Estados Unidos con 3 y por último Hungría, Mongolia y China con 1 experimento por país.

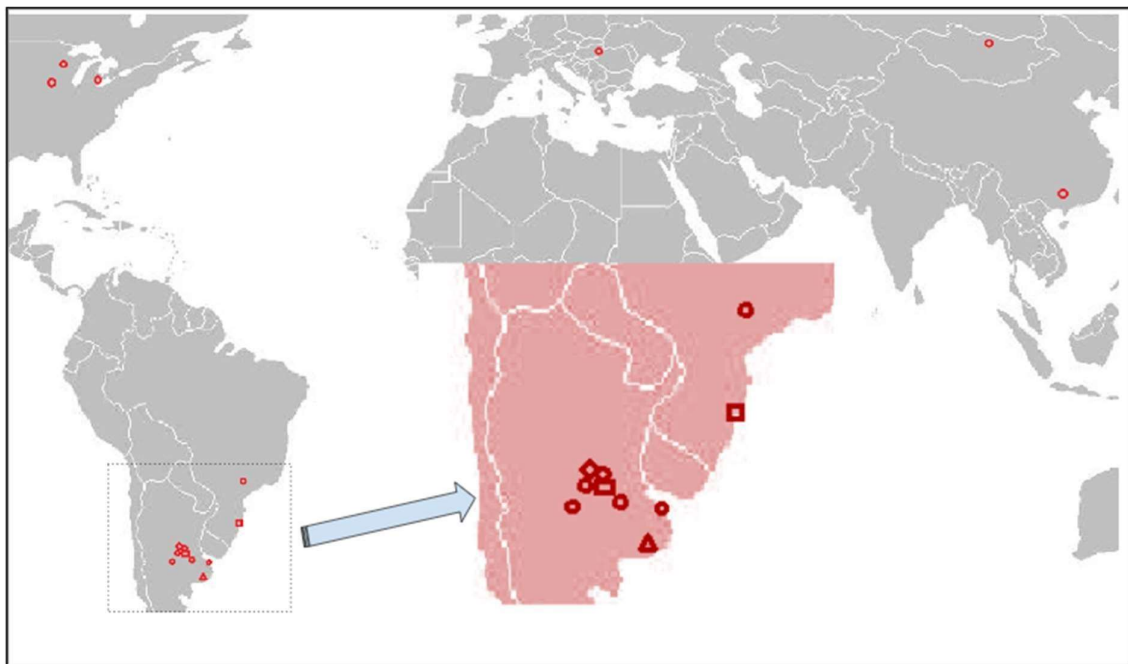


Figura 2. Localización de los 18 experimentos: Argentina (10 lugares), Estados Unidos (3 lugares), Brasil (2 lugares), Hungría (1 lugar), Mongolia (1 lugar) y China (1 lugar). Los rombos representan 5 estudios, los triángulos 4 estudios, los cuadrados 3 estudios y los círculos un solo estudio.

Además, en los experimentos 1, 2, 4, 12, 13 y 17 (tabla 1) se incluyó la variable intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (RFAi). Por esta razón en estos 6 experimentos no se evaluará solamente el rendimiento.

Exp	Material	Densidad de plantas pl/m ²	Fertilización Nitrogenada kg/ha	Fecha de siembra	Espaciamientos entre hileras m	Observaciones
1	Dekalb 615 Dekalb 696 ACA 402	8,1	60	26/10/2002	0,70 vs 0,35	Secano
	Dekalb 696 ACA 402 Dekalb 615	8,1	60	08/10/2003	0,70 vs 0,35	Secano
2	C7031	5,1		26/10/1996	0,70 vs 0,35	Secano
		6,3				
3	Cargill 901 Braskalb XL 214	5	180	22/09/1998	0,4 vs 0,8	Secano
		6,5				
4	Dekalb 636 Dekalb 639	7,3	0 120	18/10/1995	0,70 vs 0,35	Bajo Riego
		7,65	0 140	20/10/1996	0,70 vs 0,35	Bajo Riego
5	Dekalb 639	7,9	0 90 140 180	---	0,70 vs 0,35	Bajo Riego
			0 180			
6	DK 615 DK-7220 AX 7761	7,6 6,6	0 180	25/10/2001	0,70 vs 0,35	Bajo Riego Secano
		9,2				
7	ACA 473 DK-7270 KWS 3916 LT 723	8,8	173 179	15/09/2020 19/09/2020	0,38 vs 0,52	Secano
		8,5	145 154	15/09/2020 28/09/2020	0,42 vs 0,52	
		8,6	174 122	17/09/2020 17/09/2021	0,35 vs 0,70	
		8		27/09/2021 28/09/2021		
8	DK-493GR	8,4	60	27/05/1998	0,38 vs 0,76	Bajo Riego
9	P30K73	6	127	---	0,4 vs 0,8	Secano
10	N4640Bt	6	140	12/05/1997	0,38 vs 0,76	Bajo Riego
		7				
		8 9				
11	Liang Yu 99	7,5	138	---	0,4 vs 0,65	Bajo Riego
				15/06/2011	0,4 and 0,5	
12	N4640Bt	6,25	120	17/06/2012	vs	Secano
				19/06/2013	0,7 and 0,8	
13	DK190MG	4,5	128	15/10/2006	0,38 vs 0,52	Secano
		6,2				
		7,3				
		5,8				
14	DK190MG	6,8		12/11/2007		
		7,8				
15	Sarolta NK Lucius P 9494	5	105	8/11/2004	0,4 vs 0,8	Bajo Riego
		7				
		9				
16	Pioneer 32R2	7	70	21/10/2003	0,4 vs 0,8	Secano
		4,5	140			
		5	225			
17	Penta	5,5	70	13/10/2004		
		6,2	140			
		225	225			
18	Pioneer 3790	4,9	200	31/05/1986	0,38 vs 0,76	Bajo Riego
		7,4				
		9,9				
		12,4				
19	Pioneer 32R2	4,9	105	08/11/2004	0,4 vs 0,8	Secano
		7,4				
		9,9				
		12,4				

Tabla 1. Detalle de los Estudios seleccionados para el meta-análisis.

CONFORMACIÓN DE LA BASE DE DATOS

A los estudios obtenidos se les extrajo información importante para la elaboración y conformación de la base de datos (fig 3) la cual se utilizó posteriormente para aplicar herramientas propias del meta-análisis. La primera columna del archivo es “Paper”, que conlleva el nombre de los autores y el año de publicación del artículo; la segunda columna “Ne” tiene la información del número de repeticiones de cada tratamiento del grupo experimental; la tercera columna “Me” contiene la media grupal (rendimiento en kg/ha⁻¹) del grupo experimental; la cuarta columna “Se” contiene la desviación estándar del grupo experimental. En la quinta, sexta y séptima columna contienen “Nc”, “Mc” y “Sc” que son las mismas variables, pero para el grupo control, ósea, a los distanciamientos convencionales. La octava columna “N Dosis” contiene la cantidad de kg/ha⁻¹ de fertilizante nitrogenado aplicado al tratamiento. La novena columna “Dosis N” categoriza en 3 grupos diferentes a las dosis de fertilización (baja [00;100], media [100;150] y alta [150;300]). En las columnas 10 y 11, al igual que la dosis de nitrógeno, contienen la cantidad y la categorización de la densidad de plantas por metro cuadrado (baja [4;5,5], media [5,5;7] y alta [7;12,4]). Por último, en la última columna se calculó el cociente de medias (mean ratio) entre la media experimental y la media control “CM”.

Paper	Ne	Me	Se	Nc	Mc	Sc	N Dosis	Dosis N	densidad de plantas	densidad	CM
Farham et al. 2001	3	10692	1069,2	3	11701	1170,1	140	Dosis media	7	Densidad media	0,91376805
Farham et al. 2001	3	11163	1116,3	3	12172	1217,2	140	Dosis media	8	Densidad alta	0,91710483
Farham et al. 2001	3	10894	1089,4	3	11432	1143,2	140	Dosis media	9	Densidad alta	0,95293912
Farham et al. 2001	3	10356	1035,6	3	11096	1109,6	140	Dosis media	6	Densidad media	0,9333093
Farham et al. 2001	3	11432	1143,2	3	10961	1096,1	140	Dosis media	7	Densidad media	1,04297053
Farham et al. 2001	3	11163	1116,3	3	10894	1089,4	140	Dosis media	8	Densidad alta	1,02469249
Farham et al. 2001	3	10222	1022,2	3	11432	1143,2	140	Dosis media	9	Densidad alta	0,89415675
Farham et al. 2001	3	9280	928	3	10020	1002	140	Dosis media	6	Densidad media	0,9261477
Farham et al. 2001	3	11230	1123	3	10625	1062,5	140	Dosis media	7	Densidad media	1,05694118
Farham et al. 2001	3	10894	1089,4	3	10894	1089,4	140	Dosis media	8	Densidad alta	1
Farham et al. 2001	3	11029	1102,9	3	10625	1062,5	140	Dosis media	9	Densidad alta	1,03802353
Maddonni et al. 2014	3	7550	755	3	9018	901,8	128	Dosis media	4,5	Densidad baja	0,83721446
Maddonni et al. 2014	3	9417	941,7	3	10894	1089,4	128	Dosis media	6,2	Densidad media	0,86442078
Maddonni et al. 2014	3	9751	975,1	3	11168	1116,8	128	Dosis media	7,3	Densidad alta	0,87311963
Maddonni et al. 2014	3	7171	717,1	3	9056	905,6	128	Dosis media	5,8	Densidad media	0,79185071

Figura 3. Imagen de parte de la base de datos para el meta-análisis.

META-ANÁLISIS

Se llevó a cabo el MA para obtener las medidas globales de la respuesta del estrechamiento del surco en las hileras de maíz y para obtener diferencias tanto en el rendimiento como en la radiación interceptada. Se utilizó un modelo de efectos fijos para el tamaño del efecto. El cociente de medias de los rendimientos y la radiación interceptada en el cultivo de maíz fue obtenido mediante la división de la media del tratamiento experimental y la media del tratamiento control respectivamente.

Para analizar los datos recolectados se realizaron gráficos forest plot (fig 4 y 5) mediante la aplicación Jamovi. En esta representación, cada estudio se muestra como un cuadrado, cuyo tamaño refleja típicamente su contribución al efecto global. Además, cada cuadrado se encuentra dentro de un segmento que ilustra los extremos de su intervalo de confianza. Cuando estos intervalos no se superponen con el valor cero de la variable de resultados, se considera que el resultado es estadísticamente significativo. Por otro lado, la medida resumen se representa como un diamante, donde el centro del diamante indica su estimación puntual y su amplitud muestra los márgenes de su intervalo de confianza.

El forest plot incluye la prueba de heterogeneidad (I^2), que mide la variabilidad entre estudios, indicando cómo de comparables son los estudios analizados. Analizando la I^2 nos permitió decidir si mantener el modelo de efectos fijos (MEF) para el tamaño del efecto o cambiar a un modelo de efectos aleatorios (MEA). El MEF se caracteriza por considerar la misma varianza para todos los estudios primarios analizados, es decir, no contempla la presencia de posibles fuentes de heterogeneidad entre los hallazgos recolectados. No obstante, al realizar un MEF se está asumiendo que los estudios primarios evaluados poseen las mismas condiciones de análisis.

Se llevó a cabo también un análisis más profundo, observando en los diferentes estudios y tratamientos las diferencias en fertilización nitrogenada (kgN/ha^{-1}), densidad de plantas (pl/m^2) y productividad relacionada al tratamiento control (kg grano/ha^{-1}). Se categorizó en torno a estas 3 variables usando como tamaño del efecto global el cociente de medias.

SESGO DE PUBLICACIÓN

El sesgo de publicación ocurre cuando los resultados de los estudios publicados no representan de manera precisa la totalidad de los resultados de investigaciones relevantes. Por lo general, los estudios con resultados positivos o significativos tienen más probabilidades de ser publicados, mientras que los estudios con resultados negativos o no significativos pueden tener menos probabilidades de ser publicados o de ser publicados de manera menos prominente.

El funnel plot (o diagrama de embudo) permite identificar este sesgo de publicación al representar gráficamente los resultados de los estudios en un gráfico bidimensional. En el eje horizontal se muestra una medida del efecto (la diferencia estandarizada de medias), y en el eje vertical se muestra una medida de la precisión del estudio (generalmente el error estándar o el tamaño de la muestra). Cada estudio se representa como un punto en el gráfico (Duval y Tweedie, 2000; Sterne et al., 2011).

En resumen, se utilizó este gráfico para visualizar y evaluar la asimetría en la distribución de los resultados de los estudios, lo que puede indicar la posible influencia del sesgo de publicación en un metaanálisis o una revisión sistemática. Ayudándonos a interpretar los resultados de manera más precisa y a tener en cuenta la posible subrepresentación de estudios con resultados negativos o no significativos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio, se optó por utilizar el cociente de medias (CM) como la medida del tamaño del efecto para llevar a cabo el MA. Este es el cociente entre la media del grupo experimental y la media del grupo control. Se ajustó un MEF para el CM del rendimiento de grano, la estimación del efecto global para este modelo fue de un CM de 1,064. Este valor se encuentra en un intervalo cuyos límites inferiores y superiores son 1,039 y 1,090 (tabla 2).

Tabla 2. Efecto global del cociente de medias y heterogeneidad para el modelo de efectos fijos en RTO.

Fixed-Effects Model (k = 17)							
	Estimate	se	Z	p	CI Lower Bound	CI Upper Bound	
Intercept	0.0645	0.0132	4.88	< .001	0.039	0.090	
	[3]
Heterogeneity Statistics							
Tau	Tau ²	I ²	H ²	R ²	df	Q	p
0.000	0 (SE= NA)	63.54%	2.743	.	16.000	43.881	< .001

Se analizó también la heterogeneidad entre estudios (I^2), los resultados arrojaron una I^2 de 63,54% (un valor mayor al 75% indica alta heterogeneidad entre estudios) evidenciando que no existe alta heterogeneidad entre estudios (Borenstein *et al.* 2009). En el caso del porcentaje de radiación interceptada también se ajustó un MEF, la estimación del efecto global fue un CM de 1,039. Este valor se encuentra en un intervalo cuyos límites inferiores y superiores son 1,014 y 1,064 (tabla 3).

Tabla 3. Efecto global del cociente de medias y heterogeneidad para el modelo de efectos fijos en RI%.

Fixed-Effects Model (k = 6)							
	Estimate	se	Z	p	CI Lower Bound	CI Upper Bound	
Intercept	0.0388	0.0129	3.02	0.003	0.014	0.064	
[3]							
Heterogeneity Statistics							
Tau	Tau ²	I ²	H ²	R ²	df	Q	p
0.000	0 (SE= NA)	62.69%	2.680	.	5.000	13.400	0.020

En el caso de la heterogeneidad entre estudios, también resultó menor al 75% (62,69%) demostrando que tampoco existe una heterogeneidad alta en este caso.

Como se puede observar en las figuras 4 y 5, el resultado final (rombo) no atraviesa la línea vertical de no efecto en ninguno de los 2 casos, por lo tanto, podemos concluir que si existe una diferencia significativa entre tratamientos.

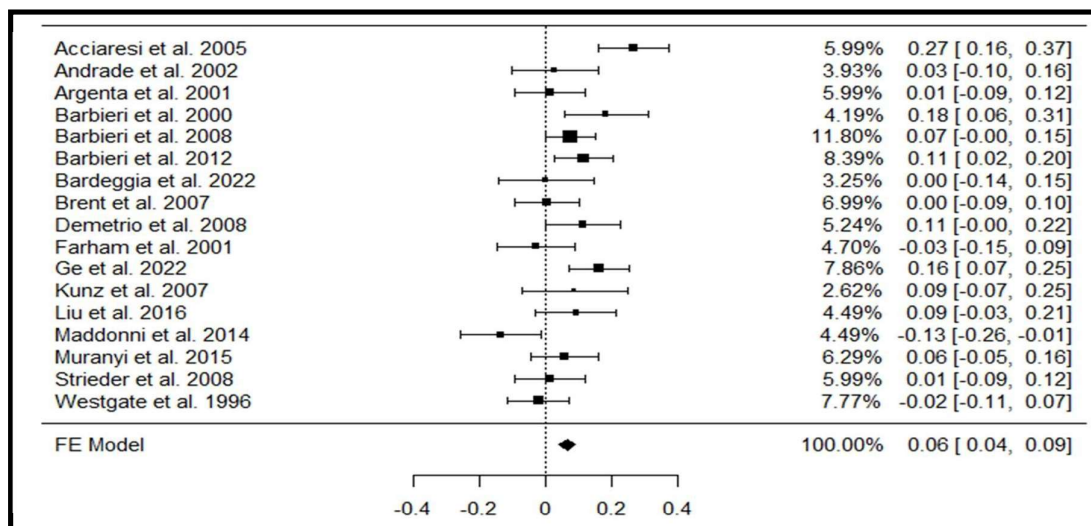


Figura 4. Gráfico Forest Plot de cociente de medias para el modelo de efectos fijos en RTO.

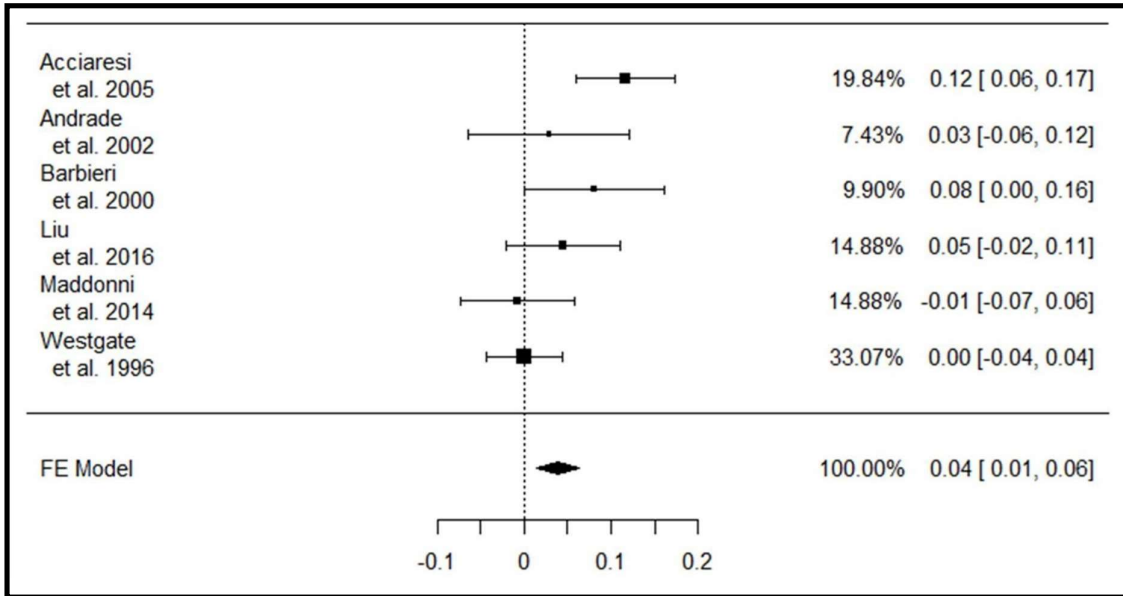


Figura 5. Gráfico Forest Plot de cociente de medias para el modelo de efectos fijos en %RI.

Además, se analizó mediante un funnel plot, la posible existencia de que haya un sesgo de publicación, al observar la figura 8, podemos ver que la distribución es simétrica, afirmando de esta manera que no habría tal sesgo.

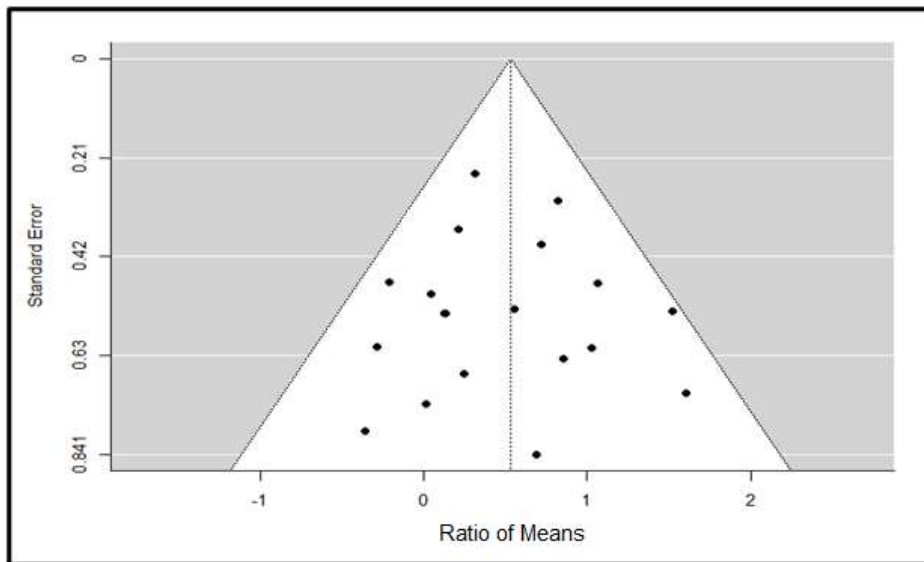


Figura 6. Gráfico

Funnel Plot de cociente de medias para el modelo de efectos fijos.

Al evaluar las diferencias de RTO y RFAi entre diferentes distanciamientos mediante el CM, se buscó correlacionar al cociente de medias de estas variables con otras como la

densidad de plantas (pl/m^2), la fertilización nitrogenada (kgN/ha^{-1}) y la productividad del tratamiento control (kg grano/ha^{-1}).

Se realizó un análisis del cociente de medias, como se muestra en la Tabla 4, considerando diversos niveles de N (nitrógeno), densidad de siembra y productividad.

Los resultados destacan que, en relación al nitrógeno, se observaron incrementos del 19% en el rendimiento para bajas dosis, mientras que en dosis medias prácticamente no hubo diferencia, y en altas dosis se registró un aumento del 3%. En contraste, al examinar la densidad de siembra, se encontraron variaciones importantes en plantaciones densas (alta densidad), el rendimiento aumentó en un 7%, en densidades medias, existió una diferencia del 3% a favor de los espaciamientos reducidos, y en bajas densidades, las diferencias prácticamente no fueron apreciables.

Tabla 4. Medidas resumen para el cociente de medias de rendimiento en los niveles de N, densidad y productividad.

Dosis N	Densidad	Productividad	n	Media	D.E	MAX	MIN
Alta			34	1,03	0,074	1,24	0,9
Media			41	1	0,092	1,2	0,79
Baja			16	1,19	0,17	1,47	0,91
	Alta		51	1,07	0,137	1,47	0,87
	Media		26	1,03	0,106	1,2	0,79
	Baja		14	0,99	0,087	1,11	0,84
		Alta	54	1,01	0,130	1,2	0,9
		Baja	37	1,09	0,092	1,47	0,79

Cabe destacar que, las mayores diferencias en los tratamientos de densidad y dosis nitrogenada fueron en ambientes de baja productividad ($<10.000\text{kg/ha}^{-1}$) (fig 7).

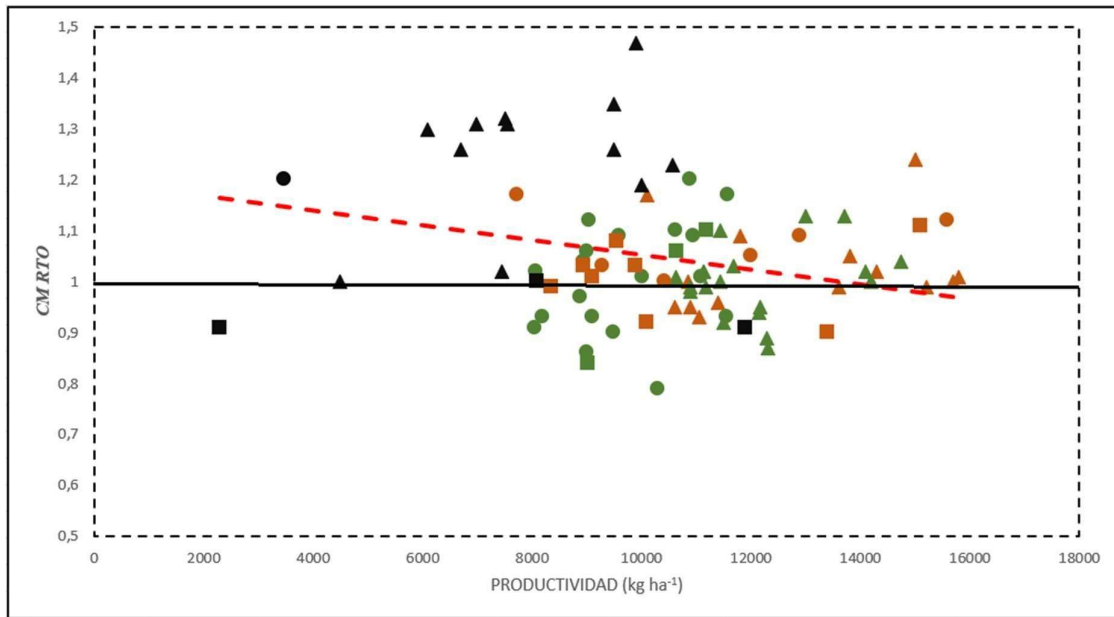


Figura 7. Relación entre la productividad y el cociente de medias en rendimiento. Símbolos en la figura: Triángulos, círculos y cuadrados corresponden a densidades altas, medias y bajas respectivamente. El relleno naranja, verde y negro corresponden a dosis de nitrógeno altas, medias y bajas respectivamente.

Observando la figura 7, se puede concluir que la asociación entre el CM_{RTO} y la productividad es negativa, a medida que la productividad aumenta, el CM_{RTO} tiende a 1. Esto coincide con lo analizado en la tabla 4, observando mayores diferencias en productividades bajas (9%) en favor de los distanciamientos estrechos y, al contrario, no hay prácticamente diferencias en productividades que superan los 10.000kg por hectárea. Esto coincide con lo evidenciado por Maddonni *et al.* (2014) quien encontró que en ausencias de deficiencias hídricas y nutricionales (alta productividad) y densidades usuales para esas condiciones, no se encontraron respuestas en el rendimiento o estas fueron inconsistentes. En cuanto a las situaciones con baja productividad, los resultados obtenidos se correlacionan con lo divulgado por Barbieri *et al.* (2000) quien afirmó que es posible esperar ventajas del acercamiento de hileras en todas aquellas situaciones estresantes en el cultivo.

Se realizó otro análisis de cociente de medias, pero esta vez con los experimentos que incluyeron mediciones del porcentaje de radiación interceptada en la plenitud del cultivo (PC). En la tabla 5 se puede observar que se consideraron las mismas categorías de tratamientos que en la tabla 4, exceptuando la productividad. Los resultados muestran que, al igual que en el CM de rendimiento, las diferencias significativas se observan en los tratamientos con bajas dosis de nitrógeno y alta densidad de plantas, siendo 12 y 6 por ciento respectivamente en

favor de las medias experimentales. En cuanto a media general, los resultados se ajustan bastante a lo visto en rendimiento (tabla 4), evidenciando una cierta relación entre el RI% y el RTO (fig 8).

Tabla 5. Medidas resumen para el cociente de medias de RI % en los niveles de N, densidad y productividad.

Dosis N	Densidad	n	Media	D.E	MIN	MAX
Alta		8	1,00	0,016	0,968	1,021
Media		17	1,03	0,048	0,922	1,127
Baja		8	1,12	0,023	1,095	1,163
	Alta	19	1,06	0,065	0,968	1,163
	Media	10	1,03	0,057	0,922	1,127
	Baja	4	1,02	0,029	0,989	1,05

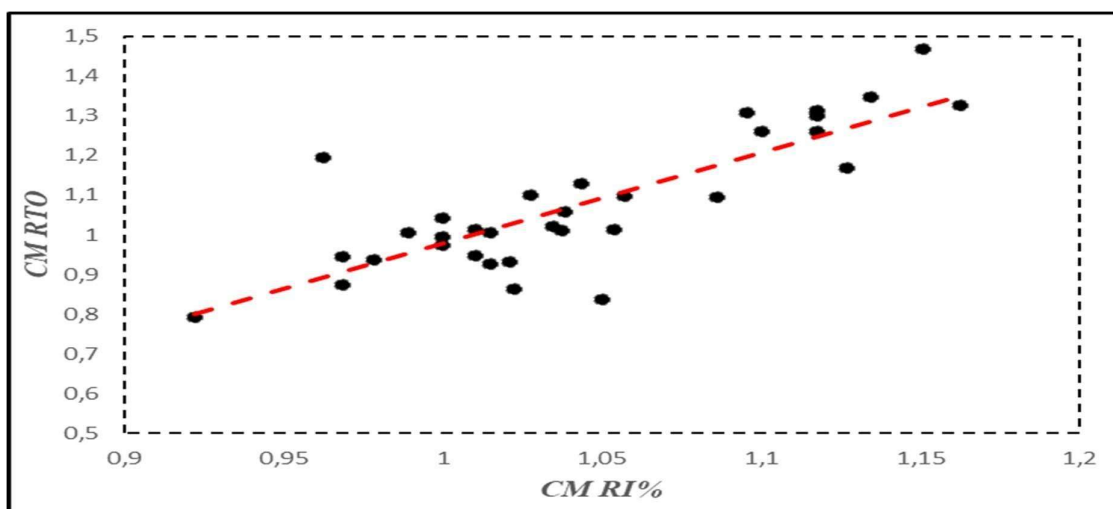


Figura 8. Relación entre los cocientes de medias de rendimiento e intercepción de la radiación solar.

En este análisis se encontró una buena asociación (R^2 de 0,65) entre el CM_{RTO} y $CM_{RI\%}$.

Al observar que a medida que aumenta la densidad de plantas (tabla 5), aumenta el $CM_{RI\%}$, esto podría deberse a que, en densidades bajas y medias, indistintamente de la distancia de hileras, la interacción entre las plantas es mínima o escasa, razón por la cual no hay diferencias observables. Esto se correlaciona con lo evidenciado con Echarte et al. (2004) quien afirma que, en densidades bajas, tanto la captación de la radiación como el rendimiento no se ven influenciados por el cambio en el estrechamiento de hileras.

En los tratamientos donde hubo diferencias apreciables en el $CM_{RI\%}$, coinciden en que se sostenían condiciones productivas bajas, bajas dosis de fertilización nitrogenada y altas

densidades. En tales condiciones el cultivo no alcanzó la plena intercepción de radiación incidente en la época crítica del cultivo (floración), razón por la cual se obtuvo una respuesta favorable al estrechamiento de hileras, mejorando la RFAi en este caso. Resultados parecidos fueron publicados por Barbieri *et al.* (2000) al divulgar que, en condiciones hídricas y nutricionales complicadas, el cultivo al no alcanzar la plena intercepción de radiación incidente, el mismo respondió favorablemente al estrechar las distancias entre surcos.

CONCLUSIÓN

El MA nos permitió analizar relaciones entre diferentes distanciamientos de hileras con el rendimiento del grano en el cultivo de maíz de manera conjunta, a través de estimaciones globales del tamaño del efecto calculado en cada uno de los estudios encontrados mediante la RS. Usar este tipo de técnica permite mejorar la precisión y la potencia estadística al considerarse una mayor cantidad de información en simultáneo, que al analizar individualmente cada uno de los estudios primarios.

Gracias al uso del mismo, se logró determinar el efecto global de estrechar hileras tanto en el rendimiento como en la radiación interceptada. Además, esta técnica nos ha permitido llevar a cabo una evaluación comparativa de los distintos distanciamientos con otros factores relevantes, tales como la fertilización nitrogenada, la densidad de siembra y las condiciones de productividad.

Es posible concluir mediante los resultados obtenidos, que el disminuir el distanciamiento entre hileras puede incrementar el rendimiento del cultivo en comparación a los distanciamientos convencionales. Con valores variables dependiendo del ambiente en el que encuentre el tratamiento, siendo las diferencias de distinta magnitud tomando en cuenta las diferentes dosis nitrogenadas, densidades de siembras y productividades en cada sitio.

Con respecto a la posibilidad de unificar la maquinaria a fin de efectuar la siembra de dos cultivos (maíz y soja). El estrechamiento de hileras aparece como una estrategia posible, con un gran impacto sobre los gastos de estructura y mantenimiento en los márgenes obtenidos por los productores. Sin embargo, aparecen ciertos aspectos logísticos a tener en cuenta, como la fertilización y la aplicación de productos químicos para el control de plagas. Reducir la distancia entre hileras implica que todo ingreso al cultivo posterior a la emergencia del mismo se debe realizar con un cierto porcentaje de pisoteo de plantas, lo que incrementa la reducción en el stand a cosecha.

Prácticas de manejo como la elección de densidades como fertilizaciones para estos distanciamientos, requieren seguir realizando ajustes para obtener los mejores resultados. Se sugiere contemplar otras variables que podrían influir en el rendimiento del cultivo de maíz.

BIBLIOGRAFÍA

- Afferri, F.S., Martins E, P., Peluzio J, M., Fidelis R., & Rodrigues H. (2008). Pesquisa Agropecuária Tropical. 38: 2. Pág:128-133.
- Andrade, F.H. (2020) Los desafíos de la agricultura global. Inta Ediciones
<https://inta.gob.ar/documentos/los-desafios-de-la-agricultura-global>.
- Andrade, F. H., Cirilo, A. G., Uhart, S. A., & Otegui, M. E. (1996). Ecofisiología del Cultivo de Maíz. Dekalb Press., 292 pp.
- Andrade F.H., Uhart, S.A. & Frugone, M. 1993b. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: shade versus plant density effects. Crop Sci. 33:482-485.
- Andrade F.H., V.O. Sadras, C.R.C. Vega & L. Echarte. (2005). Physiological determinants of crop growth and yield in maize, sunflower and soybean. Journal of Crop Improvement 14: 51-101.
- Andrade F.H., C. Vega, S. Uhart, A. Cirilo, M. Cantarero & O. Valentinuz. 1999. Kernel number determination in maize. Crop Science 39: 453-459.
- Andrade F.H., L. Echarte, R. Rizzalli, A. Della Maggiora & M. Casanovas. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. Crop Science 42: 1173-1179.
- Andrade F.H., M.E. Otegui & C. Vega. 2000. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. Agronomy Journal 92: 92-97.
- Andrade, F.H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. Field Crops Res. 41: 1–12.
- Akobeng, A. K. (2005). Understanding systematic reviews and meta-analysis. Archives of Disease in Childhood, 90(8), 845–848.

- BCCBA. (2022). Maiz. Retrieved January 15, 2022, de <http://www.bccba.com.ar/maiz6970.html>
- BCR. (2022). Estimaciones Agrícolas - Bolsa de Cereales de Rosario. Retrieved January 15, 2022, de <https://bcr.com.ar/es/mercados/gea/-estimaciones-nacionales-deproduccion/estimaciones>
- Begazo Torres, J.L. (2013). Marco de siembra en el rendimiento de maíz morado (*Zea mays* L.) "Ecotipo Arequipeño" en la irrigación Majes 2012-2013. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.
- Berardo, A. (2003). Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. In Simposio "El fósforo en la agricultura argentina". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires (pp. 38-44).
- Borenstein, M., Hedges, L. V, Higgins, J. P. T., and Rothstein, H. R. (2009). Introduction to meta analysis. John Wiley & Sons.
- Borenstein, M., Hedges, L. V, Higgins, J. P. T., and Rothstein, H. R. (2010). A basic introduction to fixed-effect and random-effects models for meta-analysis. *Research Synthesis Methods*, 1(2), 97–111
- Borrás L., Slafer, G., & Otegui. M. (2004). Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *F. Crop Res.* 86: 131–146. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.002>
- Borras, L., Maddonni. G.A., & Otegui, M.E. (2003). Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. Dpto. de Produccion Vegetal, Facultad de Agronomia, Universidad de Buenos Aires. *Field Crops Research* 82 (2003) 13±26.
- Borrás L. & M.E. Otegui. (2001). Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Science* 41: 1816-1822.

- Cerrudo A., J. Di Matteo, E. Fernandez, M. Robles, L.O. Pico & F.H. Andrade. (2013). Yield components of maize as affected by short shading periods and thinning. *Crop and Pasture Science* 64: 580-587.
- Charles-edwards D.A. & D.F. Beech. (1984). On the ordered development of plants 3. Branching by the grain legume *Cyamopsis tetragonoloba*(Guar). *Annals of Botany* 54: 673-679
- Chura, J., Mendoza, J., & De La Cruz, J. (2019). Dosis y fraccionamiento de nitrógeno en dos densidades de siembra del maíz amarillo duro. *Sci Agropecu.*10(2):241-8. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172019000200010&script=sci_arttext
- Cirilo, A.G. (2000). Distancia entre surcos en maíz. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. INTA Pergamino., Vol. V (Nro. 14), Pág. 19-23.
- Cirilo A.G. & F.H. Andrade. (1996). Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Science*. 36:325-331.
- Demétrio, C.S., Fornasieri Filho, D., Cazetta, J.O., & Cazetta, D.A. (2008). Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43 (12): 1691-1697.
- Duncan, W.G., D.L. Shaver y W.A. Williams. 1973. Insolation and Temperature Effects on Maize Growth and Yield1. *Crop Sci.* 13: 187-191. <https://doi.org/10.2135/crops-291ci1973.0011183x001300020012x>
- Evans, J. A., and Foster, J. G. (2011). Metaknowledge. *Science*, 331(6018), 721–725.
- Egli D.B. (2019a). Crop growth rate and the establishment of sink size: a comparison of maize and soybean. *Journal of Crop Improvement* 33: 346-362.

- Farinelli, R., Penariol, F.G., Fornasieri Filho, D. (2012). Características agrônômicas e produtividade de cultivares de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. *Científica* 40(1): 21-27.
- Ferreira González, I., Urrútia, G., y Alonso-Coello, P. (2011). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. *Revista Española de Cardiología*, 64(8), 688–696.
- Hashemi, D.A.; Kocheiki, A. and Banaiyan, A. (1994). Increase Crop Yield. Translation. Mashhad University Press. 76 p. Obtenido de:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-0934201500080190
- Hossard, L., Archer, D. W., Bertrand, M., Colnenne-David, C., Debaeke, P., Ernfors, M., ... Sanford, G. R. (2016). A meta-analysis of maize and wheat yields in low-input vs. conventional and organic systems. *Agronomy Journal*, 108(3), 1155–1167.
- Lakens, D. (2017). Equivalence tests: A practical primer for t-tests, correlations, and meta-analyses. *Social Psychological and Personality Science*. link, 1, 1-8.
- Maddonni, G.A. y M.E. Otegui. 1996. Leaf area, light interception, and crop development in maize. *Field Crops Res.* 48:81–87. Maddonni, G.A., Cirilo, A.G., Otegui, M.E., 2006. Row width and maize grain yield. *Agron. J.* 98: 1532–1543.
<https://doi.org/10.2134/agronj2006.0038>.
- Maddonni, G.A. y M.E. Otegui. 2006. Intra-specific competition in maize: Contribution of extreme plant hierarchies to grain yield, grain yield components and kernel composition. *F. Crop. Res.* 97: 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.09.013>.
- MAIZAR, Asociación Maíz y Sorgo Argentino (2018). El maíz, primero en el mundo. Retrieved from www.maizar.org.ar

- Miguez, F. E., and Bollero, G. A. (2005). Review of corn yield response under winter cover cropping systems using meta-analytic methods. *Crop Science*, 45(6), 2318–2329.
- R Core Team (2022). R: A Language and environment for statistical computing. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from CRAN snapshot 2023-04-07).
- Rotundo, J. L., and Westgate, M. E. (2009). Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crops Research*, 110(2), 147–156.
- Sterne, J. A. C., Sutton, A. J., Ioannidis, J. P. A., Terrin, N., Jones, D. R., Lau, J., ... Higgins, J. P. T. (2011). Recommendations for examining and interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomised controlled trials. *BMJ*, 343, d4002.
- Uhart, S.A.; Andrade, F.H. 1995. Nitrogen deficiency in maize. I. Effects on crop growth development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop Science* 35:1376-13835.
- The jamovi project (2023). jamovi. (Version 2.4) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- Viechtbauer, W. (2010). Conducting meta-analyses in R with the metafor package. *Journal of Statistical Software*. link, 36, 1-48.
- Zhao, L., Liu, H. J., Zhang, C. X., Wang, Q. Y., and Li, X. H. (2015). Meta-analysis of constitutive QTLs for disease resistance in maize and its synteny conservation in the rice genome. *Genetics and Molecular Research : GMR*, 14(1), 961–970.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA DE LAS RS

- Acciaresi, H.A. and Zuluaga, M.S. (2005). effect of plant row spacing and herbicide use on weed aboveground biomass and corn grain yield, 287-293.
- Argenta, G., Ferreira da Silva, P.G., Bortolini, C.G., Forsthofer, E.L., Eduardo Antonio Manjabosco, E.A. e Beheregaray, V. (2001) Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas
- Andrade, F.H., Abbate, P.E., Otegui, M.E., Cirilo, A.G., Cerrudo, A.A. (2002).
Ecophysiological Bases for Crop Management
- Barbieri, P.A., Echeverría, A., Saínz Rozas H.R. and Andrade, F.H. (2000). Row Spacing Effects at Different Levels of Nitrogen Availability in Maize
- Barbieri, P.A., Echarte, L., Della Maggiora, A., Sadras, V.O., Echeverría, A. and Andrade, F.H. (2012). Maize Evapotranspiration and Water-Use Efficiency in Response to Row Spacing, 939-943.
- Barbieri, P.A., Echeverría, A., Saínz Rozas H.R. (2008) Presidedress Soil Nitrogen Test for No-Tillage Maize at Different Row Spacing.
- Bardeggia, F. and Pagnan, F. (2022). Cómo incide el acortamiento entre hileras en maíces tempranos del sudeste de la provincia de Córdoba. Sistemas chacras Aapresid, INTA Justiniano Posse. Revista Aapresid edición nº 206, pág 68-81.
- Demétrio, C.S., Filho, D.F., Osvaldo C.J., Cazetta D.A. (2008) Performance of maize hybrids submitted to different row spacing and population densities.
- Farnham D.E. (2001) Row Spacing, Plant Density, and Hybrid Effects on Corn Grain Yield and Moisture.
- GE, X.L., CHEN, Y.B., WANG, Y. and WANG ,B.C. (2022). Photosynthetic mechanism of high yield under an improved wide-narrow row planting pattern in maize.
- Kunz, J.H., Bergonci, J.L., Bergamaschi, H. and Dalmago, A.G. (2007). Interception and use of solar radiation by maize, as modifying soil tillage, row spacing and irrigation water availability. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.42, n.11, p.1511-1520, nov. 2007
- Liu, J.Q., Li, M. D. and X. B. Zhou. (2016). ROW SPACING EFFECTS ON RADIATION DISTRIBUTION, LEAF WATER STATUS AND YIELD OF SUMMER MAIZE.

Maddonni, G.A. and Martínez-Bercovich, J. (2014). Row Spacing, Landscape Position, and Maize Grain Yield

Murányi, J. (2015). Effect of the plant density on different maize (*Zea mays* L.) hybrids yields and leaf area index (LAI) values.

Strieder, L.M., Ferreira da Silva, P.R., Rambo, L. and Sangoi, L. (2008). Crop management systems and maize grain yield under narrow row spacing. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v.65, n.4, p.346-353, July/August 2008.

Westgate, M.E., Forcella, F. Reicosky, D.C. and Somsen, J. (1996). Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: Radiation-use efficiency and grain yield. *Field Crops Research* 49 (1997) 249-258.