

Informe de resultados

Campaña 2023 - 2024



RED DE MAÍZ

DEL SUR DE BUENOS AIRES

COORDINACIÓN GENERAL



COORDINACIÓN
TÉCNICA



APOYA



EMPRESAS AUSPICIANTES





LEVANTANDO *La Perdiz*



DISPONIBLE EN  

 **Aapresid**

Índice

> RED DE MAÍZ DEL SUR DE BUENOS AIRES

- 02** ¿Qué es la Red de Maíz del Sur de Buenos Aires?
- 02** ¿Para qué la red?
- 02** ¿Qué hacemos y quiénes participan?

Red de maíz tardío del sur bonaerense
Campaña 2023-24

- 05** Manejo de cultivo
- 06** Protocolo estandarizado
- 07** Resultados
- 12** Consideraciones finales

Red de maíz de segunda del sur bonaerense
Campaña 2023-24

- 14** Introducción
- 15** Manejo de cultivo
- 16** Resultados
- 20** Consideraciones finales

-
- 21** Macollaje en maíz y sus efectos sobre el rendimiento:
descubrimientos recientes sobre un rasgo antiguo

-
- 31** Maíz tardío en ambientes limitados del sur bonaerense

-
- 40** Maíz en ambientes limitados: Fecha de siembra
-
-

RED de MAÍZ

del Sur de Buenos Aires

¿Qué es la Red de Maíz del Sur de Buenos Aires?

Es una red de conocimiento, e intercambio de experiencias sobre el cultivo de maíz sembrados en fechas tardías y maíz de segunda (luego de cultivos de fina), en diferentes ambientes de la región sur de la provincia de Buenos Aires. Esta Red fue impulsada y crece año a año gracias al apoyo de los grupos regionales del Nodo Sur de Aapresid.

¿Para qué la Red?

En las últimas campañas el cultivo de maíz, de siembras tardías y maíz de segunda, ha tomado cada vez mayor importancia dentro de los esquemas de producción del sur bonaerense. En los ambientes de mayor restricción hídrica, por escasas precipitaciones y/o capacidad de almacenaje de los suelos (presencia de tosca), la utilización de fechas de siembra tardías (segunda quincena de noviembre-inicio diciembre) posibilitó mejorar la estabilidad del rendimiento del maíz y así favorecer el incremento de la superficie sembrada con este cultivo.

Por otro lado, la aparición de malezas resistentes o de difícil control en los esquemas de producción basados exclusivamente en cultivos invernales favoreció el incremento de la superficie destinada a maíz, como un cultivo que facilita el manejo de malezas dentro del sistema.

Dada esta mayor participación del maíz en las rotaciones, los productores plantearon la necesidad de ajustar el manejo del cultivo de maíz en esta región. Las preguntas más frecuentes son:

- ¿Cómo es el comportamiento de diferentes genotipos de maíz en cuanto a rendimiento y estabilidad en la zona sur de Buenos Aires?
- ¿Cómo es el comportamiento de maíces de ciclos cortos para siembras de segunda?
- ¿Cómo manejar la fertilización nitrogenada y cómo disminuir pérdidas a partir del uso de fuentes alternativas?

¿Qué hacemos y quienes participan?

La red está abierta a todos los productores, técnicos, asociaciones, instituciones y empresas que estén interesados en la temática y que tengan necesidad de generar e intercambiar conocimiento.

A nivel experimental las actividades son llevadas a cabo en sistemas de producción ubicados en dos grandes zonas (sudeste y sudoeste de Buenos Aires). Todas las actividades están protocolizadas y son ejecutadas por profesionales responsables en cada uno de los sitios elegidos.

Además, llevamos adelante acciones de transferencia como jornadas a campo, talleres de intercambio y giras técnicas; divulgamos el conocimiento generado y experiencias a través de nuestra web, redes sociales y publicaciones técnicas.

Agradecimientos

La presentación del siguiente informe es posible gracias al aporte y trabajo de un gran número de productores, técnicos, instituciones y empresas participantes de la Red. Por lo tanto, no queremos dejar de agradecer a todos los que conforman la Red y aportan su tiempo y conocimiento para seguir creciendo y generando información de interés y relevante para la zona.

Gracias a las regionales de Aapresid Nodo Sur por sumarse a la Red:

- Regional Tandilia
- Regional Tres Arroyos
- Regional Cuenca del Salado
- Regional Juan Manuel Fangio
- Regional Necochea
- Regional Bahía Blanca
- Regional Guaminí-Carhué
- Regional Las Encadenadas

Coordinación Técnica: Fernando Ross (EEA Barrow, INTA)

Coordinación General: Lina Bosaz (Sistema Chacras – AAPRESID)

La Red de Maíz del Sur de Buenos Aires 2023-24 fue posible gracias al apoyo de las siguientes empresas:

- ACA
- Brevant
- Baya Casal
- Dekalb
- La Tijereta
- Nidera
- Pioneer
- Los Grobo

Red de maíz tardío del sur bonaerense

Resultados Campaña 2023-24

Se presentan los resultados de la Red de Maíz del sur de Buenos Aires de AAPRESID durante la campaña 2023-24, donde se evaluó el comportamiento de diferentes híbridos disponibles en el mercado en fechas de siembra tardía, abarcando distintos ambientes de la zona bajo estudio.

El objetivo del presente informe se centra en aportar datos sobre la adaptabilidad y el comportamiento de diferentes híbridos comerciales de maíz en los diversos ambientes del sur bonaerense, orientados a la valoración objetiva de los híbridos en fechas de siembras tardía sobre ambientes restrictivos en relación con rendimiento, estabilidad y densidad.

MANEJO DE CULTIVO

Los sitios experimentales de la presente campaña fueron 8 y en la Figura 1 se puede observar la ubicación de los mismos. Todos los experimentos se realizaron en condiciones de secano y con la tecnología disponible y aplicada por el productor.

Así, la fecha de siembra, la densidad y el manejo de la fertilización fueron definidos por cada productor y corresponden al manejo habitual según la zona.

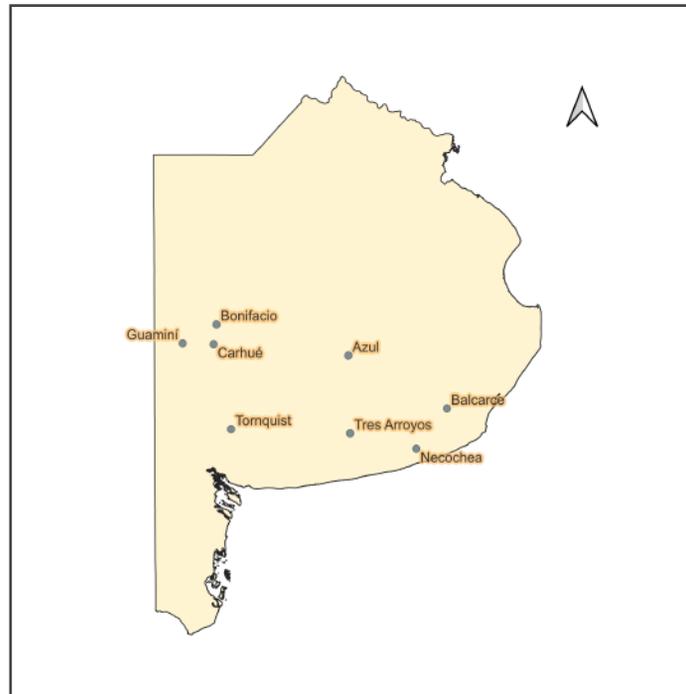


Figura 1. Ubicación de los sitios experimentales en la provincia de Buenos Aires, para la campaña 2023-24.

Los híbridos evaluados se presentan en la Tabla 1. La fecha de siembra tuvo lugar entre el 11 de noviembre y el 6 de diciembre. La densidad varió en un amplio rango comprendido entre 27000 y 57000 plantas ha⁻², según el sitio (Tabla 2). En lo que respecta a nutrición nitrogenada, en todos los casos se realizó un análisis de N-NO₃ en el suelo

de 0-60cm al momento de la siembra, y las decisiones de la dosis de N a aplicar fueron determinadas en función del rendimiento objetivo y modelos de respuesta locales. Las precipitaciones fueron variables dentro del rango de los 257 mm a 728 mm contemplando lluvias desde diciembre a marzo (Tabla 2).

Tabla 1. Híbridos evaluados y empresas participantes en la campaña 2023-24.

Empresa	Hibrido
ACA	ACA476 VT3P
ACA	ACA471 VT3P
Brevant	BRV8421 PWUE
Dekalb	DK7208 TRE
Dekalb	DK6962 VT3P
Bayacasal	EBCMARÍAPLUS
Los Grobo	Grobo1924 THS
La Tijereta	LT344 TRE
La Tijereta	LT725 TRE
Nidera	AX7761 VT3P
Nidera	NS7921 VIP3
Pioneer	P2021 PWUE

PROTOCOLO ESTANDARIZADO

En todos los sitios se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con dos repeticiones. Las parcelas se conformaron por franjas de 6 a 8 surcos, y de 200m a 240m de largo según el sitio. Los ensayos se sembraron y cosecharon con la tecnología utilizada por el productor.

Las variables analizadas fueron: rendimiento (corregido a 14.5% de humedad) y humedad a cosecha, prolificidad, macollos fértiles y porcentaje de plantas con quebrado o vuelco. Los datos fueron analizados mediante análisis de la varianza utilizando el programa INFOSTAT.

Tabla 2. Fecha de siembra, densidad de siembra (plantas ha⁻¹), fecha de cosecha, precipitaciones durante el ciclo (pp), oferta de nitrógeno (N) por hectárea (kg N_{suelo} + N_{fertilización} ha⁻¹) y por tonelada cosechada (kg N_{suelo} + N_{fertilización} tn⁻¹) para las distintas localidades evaluadas.

Localidad	Fecha de siembra	Densidad	Fecha de cosecha	pp (FS-20+125d)	Ns+f	Kg N tn-1
Azul	23/11/2024	55000	25/9/2024	572	119	12
Balcarce	11/11/2024	55000	14/8/2024	459	189	29
Bonifacio	12/11/2024	57000	27/8/2024	521	109	15
Carhué	6/12/2024	35000	23/7/2024	699	108	11
Guamaní	25/11/2024	30000	16/7/2024	728	120	12
Necochea	23/11/2024	55000	4/9/2024	430	195	21
Tornquist	21/11/2024	27000	5/7/2024	257	68	20
Tres Arroyos	25/11/2024	35000	29/8/2024	319	94	11

RESULTADOS

Rendimiento y Estabilidad

En la campaña 2023/24, todas las variables analizadas resultaron significativas para la variable rendimiento (Tabla 3). Con manejos similares a los realizados en la campaña previa, el rendimiento del maíz superó los 9000 kg ha⁻¹ en el 50% de las localidades evaluadas (Tabla 4). Las precipitaciones resultaron favorables en la mayoría de las localidades evaluadas (Tabla 2) y como era de esperar el rendimiento promedio alcanzó los 8229 kg ha⁻¹ (Tabla 4). Este nivel de rendimiento resultó muy superior al promedio de 4792 kg ha⁻¹ de la campaña anterior.

La localidad fue el factor que mayor porcentaje de explicación presentó respecto a la variabilidad de rendimiento (Figura 2). Las precipitaciones por localidad (Tabla 1) resultaron determinantes en las diferencias de rendimiento entre localidades (Tabla 4). Las localidades de Carhué, Guaminí y

Azul que recibieron los mayores volúmenes de precipitaciones. Sin embargo, sí tomamos como base o mínimo 15 kg de N por tonelada de grano como nivel de suficiencia, estas localidades habrían estado limitadas por una baja oferta de N (Tabla 1).

La diferencia de rendimiento entre híbridos, promedio de todas las localidades evaluadas, resultó de baja magnitud, 866 kg ha⁻¹ (Tabla 4). En acuerdo con esto, la variable Híbrido solo explicó el 1,8% del total de las variaciones del rendimiento (Figura 2). Sin embargo, el comportamiento de los híbridos no fue estable entre localidades, manifestándose por la interacción altamente significativa Híbrido*Localidad (Tabla 3, Figura 2). Recomendamos al lector realizar las comparaciones entre híbridos promediando más de una localidad con rendimiento similar.

Tabla 3. Resultado del análisis de la varianza.

Factor	Rendimiento	Humedad a cosecha
Localidad	***	***
Hibrido	***	***
Rep (localidad)	**	ns
Loc*Hibrido	***	***

*p<0.05; **p<0,01; ***p<0,001; ns no significativo

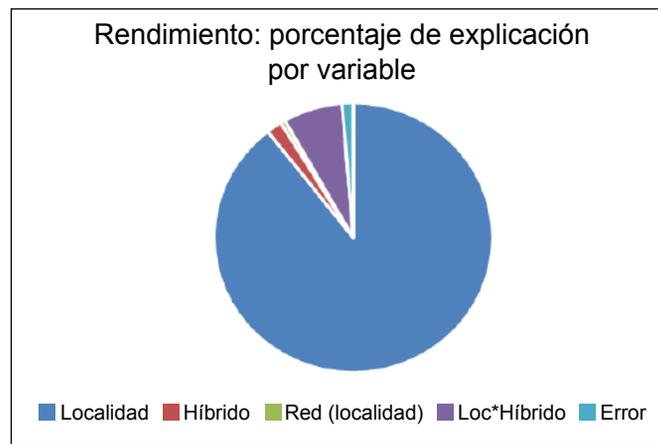


Figura 2. Porcentaje de explicación de la variación del rendimiento en función de los factores evaluados.

Tabla 4. Rendimiento en grano en función de híbrido y localidad. La diferencia mínima significativa (DMS) fue de 285 kg ha⁻¹ para contrastes de promedios generales y de 805 kg ha⁻¹ para contrastes por localidad e híbrido.

Híbrido	Localidad								Promedio
	Guamini	Carhue	Azul	Necochea	Tres Arroyos	Bonifacio	Balcarce	Tornquist	
LT725 TRE	10305	10004	9497	10031	8842	8740	8585	4170	8784
ACA476 VT3P	10961	10072	9858	9481	8727	7612	7858	4004	8619
LT344 TRE	11133	9912	9642		9122	7101	7905	4196	8471
ACA471 VT3P	9001	10197	9714	10745	9573	7497	5798	2182	8241
DK6962 VT3P	9930	9951	9742	9449	9122	8262	6053	2270	8234
DK7208 TRE	10689	9411	9392	8249	8801	7593	5341	4579	8185
EBCMARÍAPLUS	10366	9960	9470	9563	8452	6292	5614	4235	8153
AX7761 VT3P	10260	9493	9099	9665	7674	7244		3570	8144
BRV8421 PWUE	9320	9290	9592	9409	7982	7135	7529	4045	8072
NS7921 VIP3	9493	9289	9547	10297	7696	6183		3564	8010
P2021 PWUE	8907	9463	10424	9209	8076	6717		2635	7919
Grobo 1924 THS	9114	9681	9852	8661	8027	6609	5798	4494	7912
Total general	9957	9727	9653	9524	8508	7249	6720	3662	8229

La significancia de la interacción Localidad*Híbrido se debió a efectos múltiples. Entre los principales podemos mencionar que algunos de los híbridos evaluados (por ej. ACA471 y DK6962) se ubicaron entre los primeros en las localidades de mayor rendimiento, pero no lograron el mismo resultado en las localidades de menor rinde (Tabla 4).

En la Figura 3 se puede observar una caracterización de los híbridos evaluados según su rendimiento y estabilidad.

La estabilidad del rendimiento de un híbrido entre localidades puede estar condicionada por múltiples factores. Por ejemplo, un híbrido con buen desempeño, pero sin plasticidad, verá reducido su

rendimiento si en una de las localidades se sembró con una densidad muy baja. De manera similar, un genotipo poco tolerante al estrés tendrá mayores probabilidades de rendir menos si en esa localidad se utilizó una densidad de siembra alta. Otra interacción frecuente ocurre con los híbridos macolladores que dependen de la oferta de agua y nitrógeno para capitalizar esos macollos. Lo deseable, es que los híbridos presenten un buen comportamiento en todos los ambientes. No obstante, no es sencillo lograr un genotipo de buen desempeño ante la diversidad de ambientes y de manejos estudiados (Tabla 2), e incluso puede no ser tan eficiente cuando nos ubicamos en ambientes específicos.

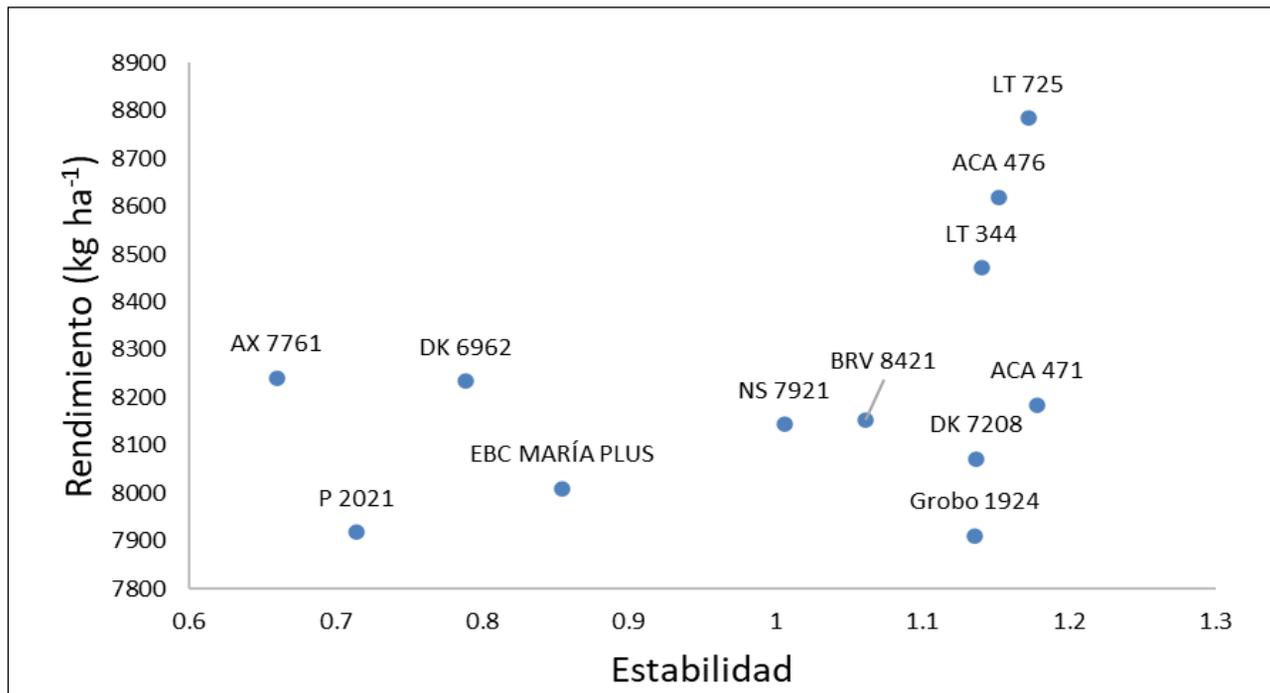


Figura 3. Rendimiento promedio por híbrido en función su estabilidad, calculada como las dispersiones del rendimiento entre localidades.

Humedad a cosecha

Al evaluar esta variable, como era de esperar en función de la fecha de cosecha (Tabla 2), las longitudes de ciclo de los híbridos sembrados mostraron diferencias relevantes respecto a humedad. En la localidad donde la cosecha se realizó entre julio y agosto los híbridos más cortos

mostraron una diferencia relevante de humedad respecto de los largos (Tabla 5). En cambio, cuando la fecha de cosecha se realizó a fines de septiembre (Azul, Tabla 2) las diferencias entre híbridos resultaron despreciables (Tabla 5).

Tabla 5. Humedad del grano a cosecha en función de híbrido y localidad.
DMS= 0.19 para contrastes de promedios generales y 0.54 para contrastes en el cuerpo de la tabla.

Híbrido	Localidad								Promedio
	Azul	Balcarce	Bonifacio	Carhué	Guaminí	Necochea	Tornquist	Tres Arroyos	
DK6962 VT3P	13,1	17,2	14,2	16,3	15,4	14,7	13,5	15,5	14,8
BRV8421 PWUE	13,1	17,6	14,6	16,3	15,8	15,1	13,6	15,9	15,1
ACA471 VT3P	13,4	17,5	14,7	16,2	16,2	15,2	13,8	15,1	15,1
P2021 PWUE	13,3		14,9	16,1	16,1	15,2	14,8	15,5	15,1
LT725 TRE	13,2	17,8	14,3	16,5	15,8	15,6	14,3	15,4	15,2
LT344 TRE	13,3	17,3	14,7	16,9	16,5		13,8	15,5	15,3
DK7208 TRE	13,5	17,4	14,9	17,9	16,1	15,7	14,2	15,1	15,5
Grobo 1924 THS	13,5	17,5	14,4	16,9	16,4	15,9	14,3	16,0	15,5
EBCMARÍAPLUS	13,5	16,8	14,8	16,5	17,0	16,0	14,6	15,8	15,5
AX7761 VT3P	13,3		14,7	16,9	16,5	16,3	15,3	16,1	15,6
ACA476 VT3P	13,5	17,8	14,4	17,8	16,7	15,9	14,4	15,4	15,6
NS7921 VIP3	13,5		14,7	17,0	16,8	16,2	15,4	15,8	15,6
Total general	13,3	17,4	14,6	16,8	16,3	15,6	14,3	15,6	15,3

Plasticidad

A través del estudio de los mecanismos que determinan la abundancia de espigas por planta se observaron diferencias entre genotipos. En las localidades con alta densidad de siembra (Tabla 2), la prolificidad del tallo principal y los macollos fértiles no contribuyeron al rendimiento del cultivo (Fig. 4 a y c). Para niveles de rendimiento de 9 a 10 t ha⁻¹ es esperable que los mecanismos que favorecen la abundancia de espigas por planta (prolificidad y macollos fértiles) no resulten eficientes cuando se utilizan densidades altas (55.000 pl ha⁻¹) ya que la plasticidad de la primera espiga es eficiente hasta los 200 g pl⁻¹ (flexibilidad de espiga) y sería suficiente.

En cambio, en las localidades donde se utilizaron bajas densidades de siembra (Tabla 2) la prolificidad del tallo principal favoreció el nivel de rendimiento alcanzado (Fig. 4 b). Sin embargo, en estas localidades la plasticidad de los macollos fértiles no logró ningún efecto sobre el rendimiento (Fig. 4 d). Este resultado es esperable para niveles de rendimiento por planta de 280 g pl⁻¹, porque la presencia de macollos puede dificultar la expresión de la flexibilidad de espiga y/o la prolificidad del tallo principal y simplemente sustituirla. Diferente puede ser el resultado si la densidad empleada hubiera sido menor o el nivel de rendimiento fuera mayor.

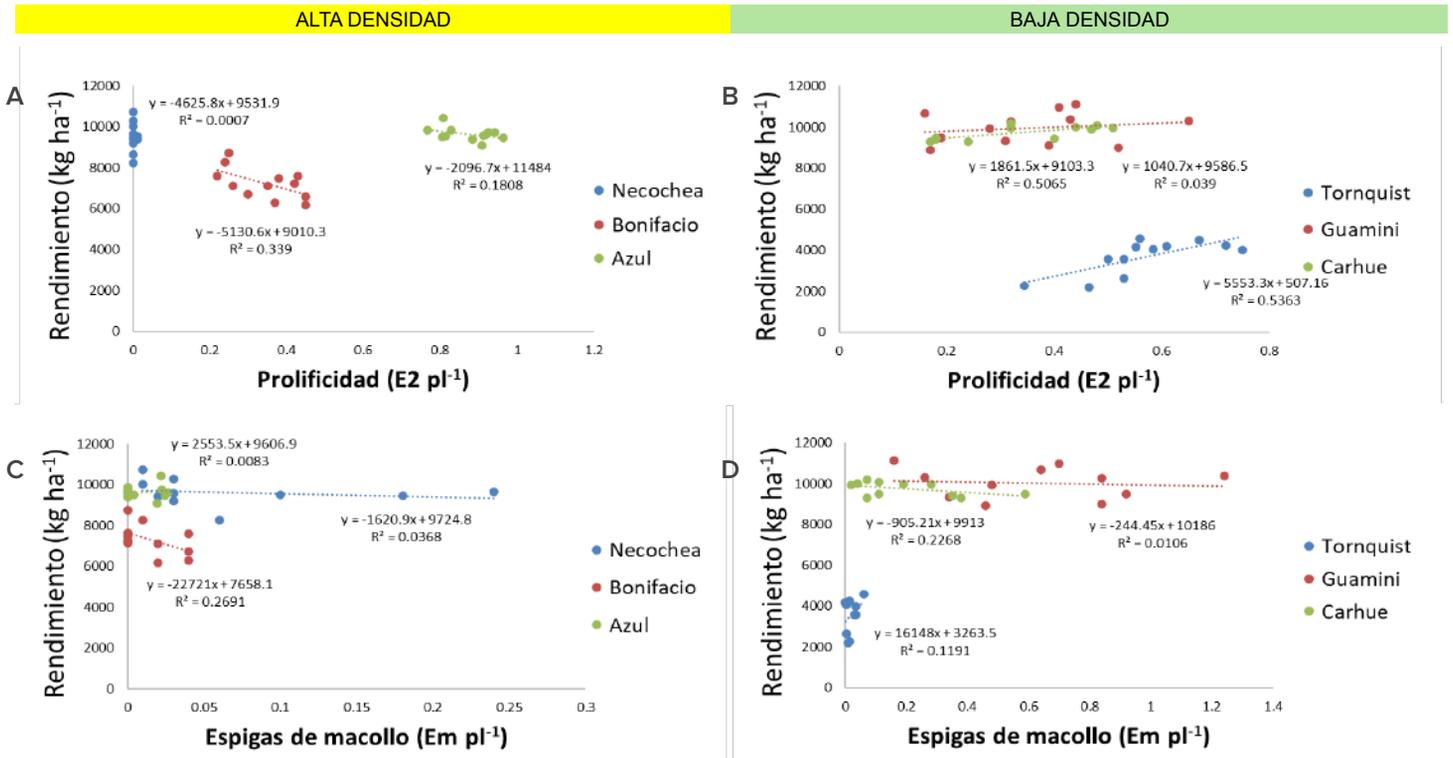


Figura 4. Rendimiento en grano en función de la prolificidad del tallo principal (Segunda espiga (E2 pl⁻¹, a y b) y espigas de macollo por planta (Em pl⁻¹ c y d), para las localidades de Necochea, Bonifacio y Azul (a y c) y para las localidades de Tornquist Guaminí y Carhué.

Densidad de siembra

En las localidades de Guaminí y Tornquist se realizaron ensayos de densidad de siembra con densidades dentro del rango normalmente utilizado por los productores. Como mencionamos anteriormente el nivel de rendimiento resultó medio a bajo en la localidad de Tornquist porque las precipitaciones resultaron escasas. En esas condiciones el cultivo no respondió a variaciones de densidad entre 22.000 y 33.000 pl ha⁻¹. Al contrario, en Guaminí, donde las precipitaciones durante el cultivo superaron los 650 mm (Tabla 2), incrementar la densidad de 24.000 a 30.000 pl

ha⁻¹ permitió un incremento de rendimiento de 1050 kg ha⁻¹ (Figura 5). En cambio, con incremento siguiente de densidad (30.000 a 36.000 pl ha⁻¹) sólo se obtuvieron 140 kilos (Figura 5). Es probable que el manejo del nitrógeno le haya puesto un techo a la respuesta a la densidad. Es decir, que la falta de respuesta a densidades mayores en Guaminí se deba a la baja oferta de nitrógeno por tonelada cosechada (12 kg N t⁻¹; Tabla 2), siendo que los niveles de suficiencia de la bibliografía se encuentran entre 18 y 22 kg N t⁻¹.

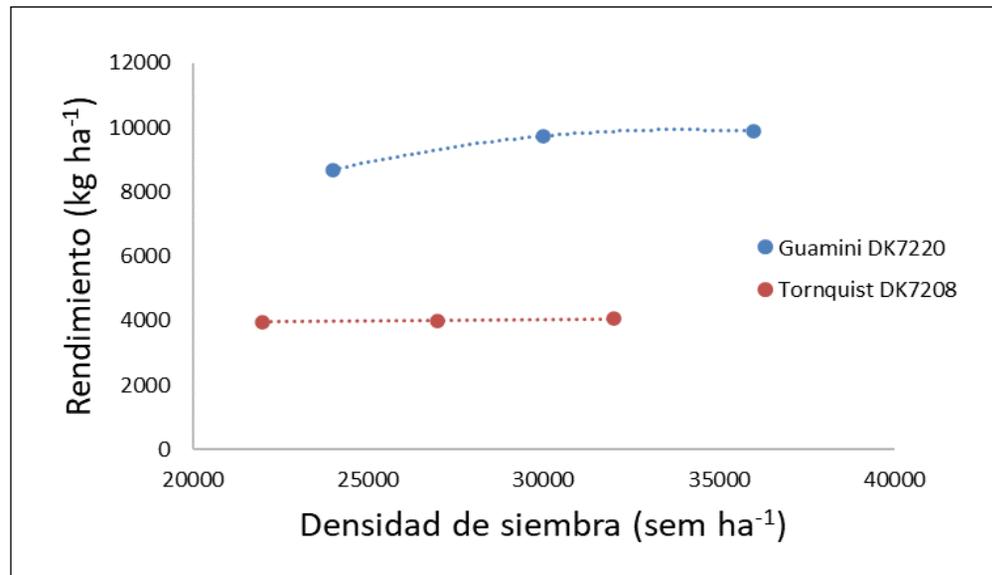


Figura 5. Rendimiento en función de la densidad de siembra en las dos localidades evaluadas.

CONSIDERACIONES FINALES

La red mostró cómo las tecnologías de manejo y la genética se combinan para producir maíz de forma eficiente en situaciones ambientales contrastantes, generando información sustantiva para la toma de decisiones. En una campaña favorecida por los efectos del niño la red mostró una alta frecuencia de situaciones de alta productividad donde las diferencias entre genotipos resultaron inferiores a las reportadas en campañas de bajo rendimiento. Además del

componente genético de cada híbrido, se valoraron los mecanismos de plasticidad necesarios para incrementar el número de espigas por planta en manejos en densidad subóptima. Gracias a la expresión de los mecanismos de plasticidad, en las pruebas de densidad pudimos validar que densidades entre 3 y 4 pl m⁻² resultan eficientes para alcanzar niveles de rendimiento de 8 a 10 t ha⁻¹.



Red de maíz de segunda del sur bonaerense

Resultados Campaña 2023-24

Se presentan los resultados de la Red del sur de Buenos Aires de AAPRESID de la campaña 2023-24, donde se evaluó el comportamiento de diferentes híbridos disponibles en el mercado posicionados para siembra de segunda sobre cultivos de invierno. El objetivo del presente informe se centra en aportar datos para la correcta elección de híbridos para sistemas que incorporen maíz de segunda analizando como variable respuesta el rendimiento, estabilidad, humedad e integridad a cosecha.

INTRODUCCIÓN

Las características edafo-climáticas de la región sur de Buenos Aires la convierten en una de las principales áreas productoras de cereales de invierno de la Argentina. Los cultivos de invierno alcanzan la madurez cerca del inicio del verano, por lo que utilizan sólo una fracción de los recursos disponibles. El doble cultivo (i.e. invierno-verano) tiene la capacidad de aumentar drásticamente la captura y el uso de los recursos. En este contexto, en las últimas dos décadas, el doble cultivo trigo-soja se convirtió en un compo-

nente clave para la intensificación de los sistemas en el sur de Buenos Aires. Actualmente, un objetivo común a muchos sistemas productivos del sur de Buenos Aires es el de encontrar alternativas o complementos a la soja para suceder a los cultivos de invierno lo que traería múltiples ventajas en distintos planos del sistema. En esta línea, uno de los objetivos de la Red es generar conocimientos que permitan el desarrollo del cultivo de maíz de segunda en el Sur de Buenos Aires.

MANEJO DE CULTIVO

Los sitios experimentales de la presente campaña fueron 7 y en la Figura 1 se puede observar la ubicación de los mismos. Los híbridos evaluados se presentan en la Tabla 1. Todos los experimentos se realizaron en condiciones de secano, con la tecnología disponible y aplicada por el productor

(Tabla 2). Así, el antecesor, la fecha de siembra, la densidad y el manejo de la fertilización fueron definidos por cada productor. La fecha de siembra tuvo lugar entre el 12 y 29 de diciembre. La densidad varió en un rango comprendido entre 25000 y 53000 pl ha⁻¹ según sitio.

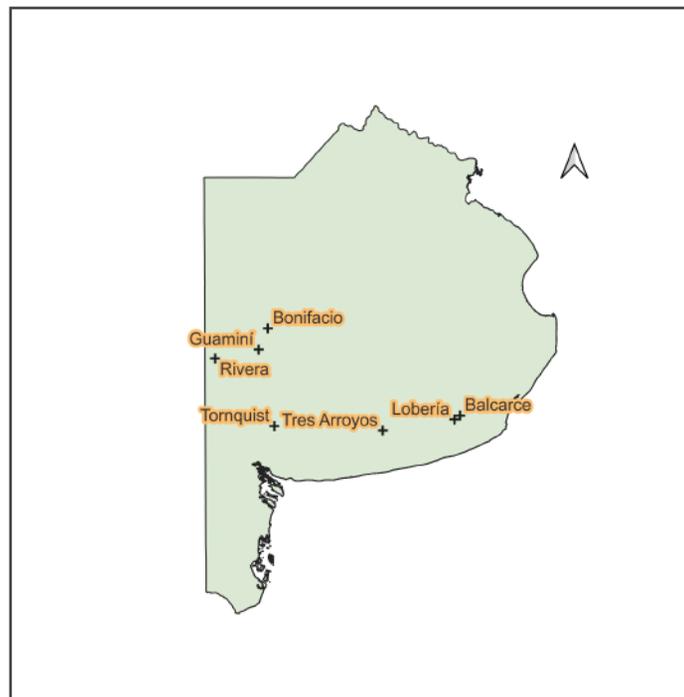


Figura 1. Ubicación de los sitios experimentales en la provincia de Buenos Aires, para la campaña 2023-24.

Tabla 1. Híbridos evaluados y empresas participantes en la campaña 2023-24

Empresa	Híbrido	Ciclo
Bayer	DK6962 VT3P	Int./Largo
Pioneer	P0622 VYHR	Intermedio
Pioneer	P9946 VYHR	Corto
Los Grobo	Grobo 1916 THS	Largo

Tabla 2. Antecesor, fecha de siembra, densidad de siembra (plantas ha⁻¹) y fecha de cosecha para las distintas localidades evaluadas.

Localidad	Antecesor	Fecha de siembra	Densidad	Fecha de cosecha
Guamaní	Cebada	12/12/2024	25000	17/7/2024
Tres Arroyos	Cebada	13/12/2024	33000	7/8/2024
Tornquist	Cebada	25/12/2024	30000	25/7/2024
Lobería	Cebada	26/12/2024	53000	15/8/2024
Bonifacio	Trigo	26/12/2024	50000	13/9/2024
Rivera	Trigo	27/12/2024	25000	28/8/2024
Balcarce	Cebada	29/12/2024	50000	30/7/2024

RESULTADOS

Rendimiento y Estabilidad

Todas las variables analizadas afectaron el rendimiento en grano del cultivo de maíz de segunda de manera significativa (Tabla 3). Las mayores variaciones del rendimiento en grano se debieron a las diferencias de rendimiento entre localidades (Fig. 2 a). Considerando que en esta campaña no hubo daño por heladas tempranas,

las diferencias de rendimiento entre localidades se debieron principalmente a diferencias en las precipitaciones acumuladas (Fig. 3). En cambio, debido a que en la campaña no hubo daño por frío en ninguna localidad, la fecha de siembra no mostró una relación significativa con el rendimiento.

Tabla 3. Las variables analizadas resultaron significativas.

Factor	Rendimiento	Humedad a cosecha
Localidad	***	***
Hibrido	***	***
Loc*Hibrido	***	***

*p<0.05; **p<0,01; ***p<0,001; ns no significativo

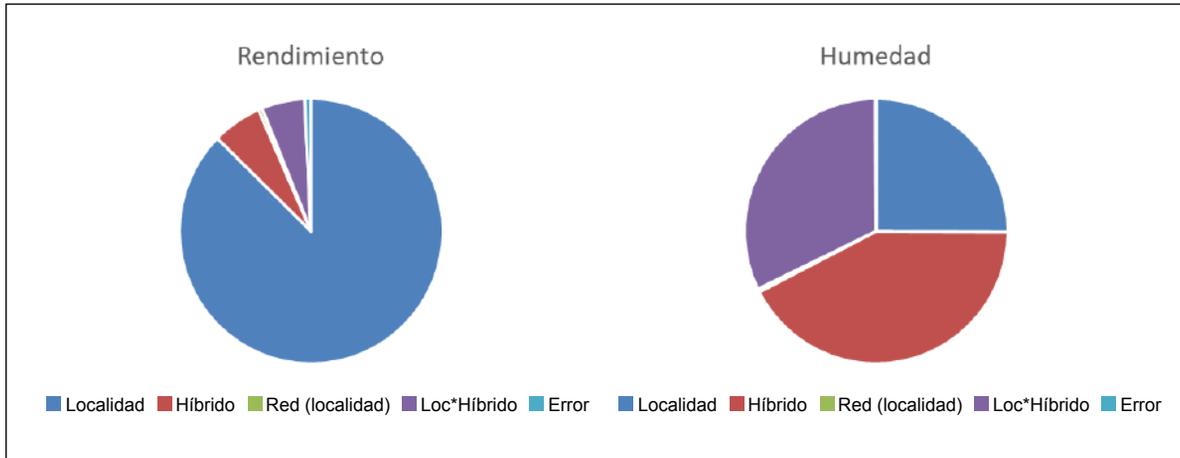


Figura 2. Porcentaje de explicación de la variación del rendimiento (a) y de la humedad a cosecha (b) en función de los factores evaluados.

En las localidades con mayor rendimiento (>5000 kg ha⁻¹) los tres primeros híbridos se posicionaron con el mismo orden. Exceptuando del análisis a Grobo 1916 THY, podemos decir que a mayor longitud de ciclo mejor fue el desempeño del híbrido (Tabla 4). En cambio, cuando el nivel de rendimiento de la localidad resultó inferior a 5000 kg ha⁻¹ no se observó una tendencia clara entre longitudes de ciclo, viéndose perjudicados los hí-

bridos más largos (Tabla 4). En maíz de segunda es esperable y/o frecuente ese resultado si se utiliza un ciclo largo en fecha tardía (Tabla 2), manejo que sería totalmente desaconsejable. No obstante, este dato es relevante y contrasta con el incremento de rendimiento mencionado por aumento de longitud de ciclo en las localidades de mayor rendimiento.

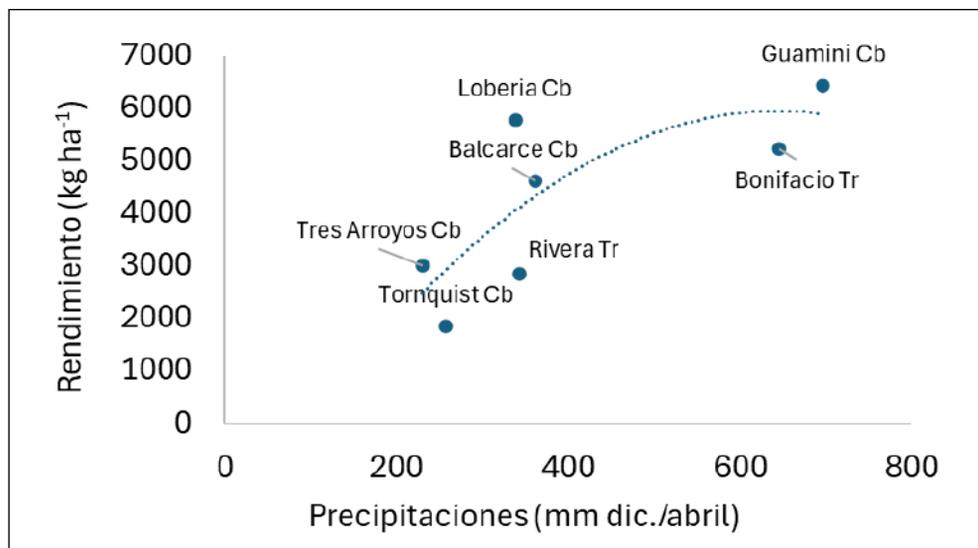


Figura 3. Rendimiento en función de las precipitaciones de diciembre a abril y del antecesor (Cb: cebada y Tr: trigo).

Tabla 4. Rendimiento en grano en función de híbrido y localidad. DMS= 580 kg ha⁻¹.

Híbrido	Localidad							Promedio
	Guaminí	Lobería	Bonifacio	Balcarce	Tres Arroyos	Rivera	Tornquist	
DK6962 VT3P	7648	6130	5947	4987	3181	2998	1694	4541
P0622 VYHR	6195	5954	5554	5748	2853	2924	2272	4388
P9946 VYHR	5433	5266	5018	3793		3040	2063	3996
Grobo 1916 THS			4465	3965			1375	3268
Promedio	6425	5783	5246	4623	3017	2987	1851	4178

Si analizamos los resultados por longitud de ciclo (Híbrido) y nivel de rendimiento (Localidad) podemos describir tendencias. Hubo una ventaja por incrementar la longitud de ciclo de un ciclo corto (P9946) a un ciclo medio (P0622), ventaja que resultó mayor a mayor nivel de rendimiento (Fig. 4). Este incremento de rendimiento por aumentar ciclo también ocurrió al pasar de un ciclo medio (P0622) a un ciclo intermedio/largo (DK6962), pero esta sucedió a partir del nivel de rendimiento aproximado de 4000 kg ha⁻¹ (Fig. 4). Si bien, estas tendencias no se presentaron con una precisión significativa podemos decir que son esperables y razonables desde un análisis ecofisiológico. A niveles de rendimiento bajo (<4000 kg ha⁻¹) producto de una baja disponibilidad hídrica es esperable que el resultado productivo resulte difuso y dependiente de cuando ocurran las precipitaciones. Aquí los ciclos medios tienen cierta ventaja porque

demandan menos agua que los largos para completar su ciclo y que los cortos debido a que su alta tasa de desarrollo exige un crecimiento sostenido (sin estrés) para alcanzar un buen desempeño, condición no frecuente cuando el nivel de rendimiento es bajo.

En niveles de rendimiento medio, ente 5000 y 7000 kg ha⁻¹, el ciclo intermedio/largo logró una clara ventaja. Esta ventaja resultó mayor en la localidad Guaminí con antecesor cebada (Tabla 4). Ese mejor desempeño por incremento de longitud de ciclo fue amplificado por la baja densidad de siembra empleada en dicho sitio (25.000 semillas ha⁻¹; Tabla 2). En cambio, en el sitio Lobería donde se utilizó una densidad de siembra mayor (Tabla 2) la diferencia de rendimiento entre híbridos resultó menor. Los ciclos cortos demandan un ajuste de densidad mayor al nivel de densidad utilizado en Guaminí, sin dudas eso resultó una limitación para su buen desempeño.

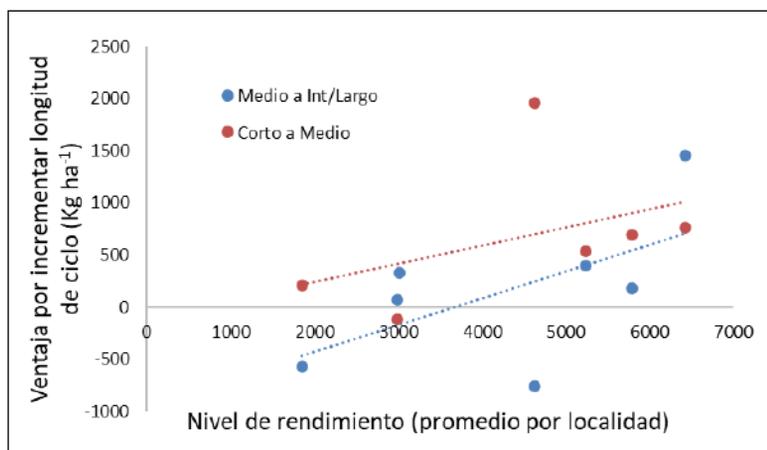


Figura 4. Ventaja por incrementar la longitud de ciclo en función del nivel de rendimiento del sitio para dos niveles de incremento de la longitud de ciclo: de corto a medio y de medio a intermedio/largo.

Humedad a cosecha

La variable Híbrido tuvo el mayor nivel de explicación sobre la humedad a cosecha (Fig. 2 b). Lo cual es esperable producto de las diferencias en longitud de ciclo de los híbridos evaluados

(Tabla 1). Los tres ciclos más cortos tuvieron diferencia de humedad de acuerdo con lo esperado (Tabla 5).

Tabla 5. humedad en grano en función de híbrido y localidad. DMS= 0.39.

Híbrido	Localidad							Promedio
	Guamaní	Lobería	Bonifacio	Balcarce	Tres Arroyos	Rivera	Tornquist	
P9946 VYHR	17,2	16,3	12,7	12,7	14,0	13,3		14,2
P0622 VYHR	17,2	16,5	12,9	14,6	13,9	13,7	14,6	14,6
DK6962 VT3P	17,2	21,0	13,1	14,0	14,0	14,2	14,7	15,0
Grobo 1916 THS			14,5	28,4		17,7		20,2
Promedio	17,2	17,9	13,3	17,4	14,0	14,7	14,6	15,4

Consideraciones finales

La red mostró resultados contrastantes entre localidades atravesando niveles de rendimiento medios y bajos. En una campaña sin limitaciones por heladas tempranas las diferencias de rendimiento entre sitios/localidades fueron consecuencia de diferencias en las precipitaciones. En los sitios que recibieron buenas precipitaciones el incremento en longitud de ciclo hasta intermedio/largo se asoció con un aumento del rendimiento. En cambio, en los sitios de menor productividad no hubo una tendencia

clara entre longitud de ciclo y rendimiento.

El rendimiento del cultivo de invierno, la fecha de siembra, la calidad de las labores, la disponibilidad de nitrógeno y el uso de densidades adecuadas resultan indispensables para maximizar la eficiencia de uso de los recursos y alcanzar buenos niveles de producción. Sin embargo, el maíz de segunda copia las oscilaciones climáticas entre campañas y muchas veces el riesgo es alto y lógicamente castiga el nivel de inversión que se aplica al cultivo.



Macollaje en maíz y sus efectos sobre el rendimiento: descubrimientos recientes sobre un rasgo antiguo

Diego Hernán Rotili

Director América Agroinnova, Docente FAUBA y FA-UNLPam, Coordinador Experimental Agrícola CREA Oeste, Oeste Arenoso y Grupo Riego Sudoeste.

Introducción

El macollaje es un rasgo presente en maíz heredado de su antecesor, el teosinte, cuyo impacto sobre el rendimiento del cultivo en diferentes ambientes había sido estudiado en Estados Unidos a principios del siglo XX, cuando la genética predominante era muy diferente a la utilizada actualmente. El estudio del macollaje en maíz cayó en el olvido durante casi cien años, asociado al aumento de las densidades sembradas que atentaban contra su expresión y a la creencia de que los macollos son un rasgo indeseable para el cultivo. Sin embargo, a principios del presente siglo, en todo el mundo y en Argentina particularmente, la producción de maíz se expandió principalmente a partir de ser introducido en ambientes previamente considerados marginales para su producción. Esta expansión fue posibilitada por la mejora genética, la integración de actividades agrícolas como fuente de alimento para el ganado en empresas mixtas y los aprendizajes acerca del manejo adaptativo de la fecha y densidad de siembra del cultivo (Rotili et al., 2019; Parra et al., 2020). La disminución de la densidad de siembra permitió la expresión de macollos en ciertos híbridos y eso dio lugar a una generalización de

las preguntas de los actores de la producción acerca de las consecuencias que la aparición de este rasgo antiguo tiene sobre el rendimiento del cultivo. Como consecuencia, en los últimos años varios grupos de investigación liderados por argentinos se dedicaron a encontrar respuestas a las principales preguntas relacionadas con este desconcertante rasgo presente en el cultivo de mayor producción en el mundo. Los grupos fueron aquellos liderados por Gustavo Maddonni en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (del cual formé parte como estudiante doctoral), Aníbal Cerrudo en el INTA Balcarce, Ignacio Ciampitti en Kansas State University, Estados Unidos y Daniel Rodríguez en The University of Queensland, Australia. Además, grupos de investigación aplicada con relación directa con productores agropecuarios del sur de Buenos Aires tales como el de la Chacra Experimental Integrada Barrow del INTA liderado por Fernando Ross y el Grupo de Experimentación Agropecuaria de la región Sudoeste de CREA (GEASO) liderado por Agustín Giorno también generaron conocimiento a campo sobre el tema. En este artículo resumiré los principales conceptos que deben ser tenidos

en cuenta para comprender el impacto de los macollos sobre el rendimiento del cultivo de maíz y los resultados más contundentes sobre el tema

De yemas a macollos, de macollos a granos

El macollaje es regulado por factores genéticos y ambientales. Un complejo de genes heredado de su ancestro macollador, el teosinte, modula el macollaje en maíz (Doebley et al., 1997; Kebrom y Brutnell, 2015; Lorant et al., 2017; Piperno et al., 2019). Obedeciendo al fuerte efecto de la interacción genotipo x ambiente en el macollaje, es posible que el mejoramiento para rendimiento en altas densidades haya pasado por alto este rasgo. En genotipos mejorados muchas décadas atrás, se observó una disminución lineal en el macollaje desde 0,8 a 4 pl m⁻² y la completa ausencia de macollos por encima de 4 pl m⁻² (Downey, 1972; Yamaguchi, 1974; Tetio-Kagho y Gardner, 1988). Esto se relaciona parcialmente a la baja cantidad de radiación por planta y una baja relación de los espectros de luz rojo/rojo lejano (R/RL) sensed por las plantas en stands densos que inhiben el macollaje y podría enmascarar la variación genética del macollaje en híbridos modernos cultivados a densidades mayores que 4 pl m⁻². En los híbridos modernos existe una amplia variabilidad genética en términos de predisposición al macollaje, que se observa principalmente en densidades bajas, aunque algunos incluso pueden presentar macollos en densidades superiores a las 6 pl m⁻² en ciertos ambientes (Rotili et al., 2021a). Conceptualmente, la contribución de los macollos al rendimiento dependerá de factores que se suceden a lo largo de la mayor parte del ciclo del cultivo, centrada principalmente en dos etapas: la emisión de macollos (“de yemas a macollos”) y el crecimiento y la fijación de granos

publicados en revistas científicas de alta calidad producto del esfuerzo de todas las personas involucradas en la temática.

en espigas de macollos (“de macollos a granos”) (Figura 1). La emisión de macollos está determinada por la combinación de una predisposición genética, una estructura del cultivo tal que genere un ambiente lumínico estimulante y una oferta de recursos que permita una alta tasa de crecimiento por planta y la traslocación de asimilados a las yemas axilares que luego crecerán. El macollaje en gramíneas es modulado por el microambiente lumínico, donde baja radiación total y baja relación R/RL en los estratos inferiores típicos de canopeos densos inhibe el macollaje (Casal et al., 1986). En condiciones productivas, la dinámica del macollaje en maíz se caracteriza por un comienzo cercano a los 450-500 °Cd desde la siembra y un máximo en el número de macollos entre los 600-750 °Cd (Moullia et al., 1999; Rotili et al., 2022), a pesar de que los genotipos pueden diferir en su sensibilidad a las señales lumínicas (Maddonni et al., 2002), explicando la respuesta observada a la densidad que se observa entre híbridos modernos. Además de una alta relación R/RL que desencadena el macollaje, debe existir un balance de carbono positivo del vástago principal para soportar el crecimiento de las yemas axilares iniciadas. Por eso, altas tasas de crecimiento del vástago principal en etapas tempranas favorecen el macollaje en híbridos macolladores (y lo harían hasta un número potencial de macollos por vástago híbrido-dependiente), mientras que en híbridos no macolladores aumentarían las reservas de carbohidratos en el tallo (Gaskel y Pearce, 1981).

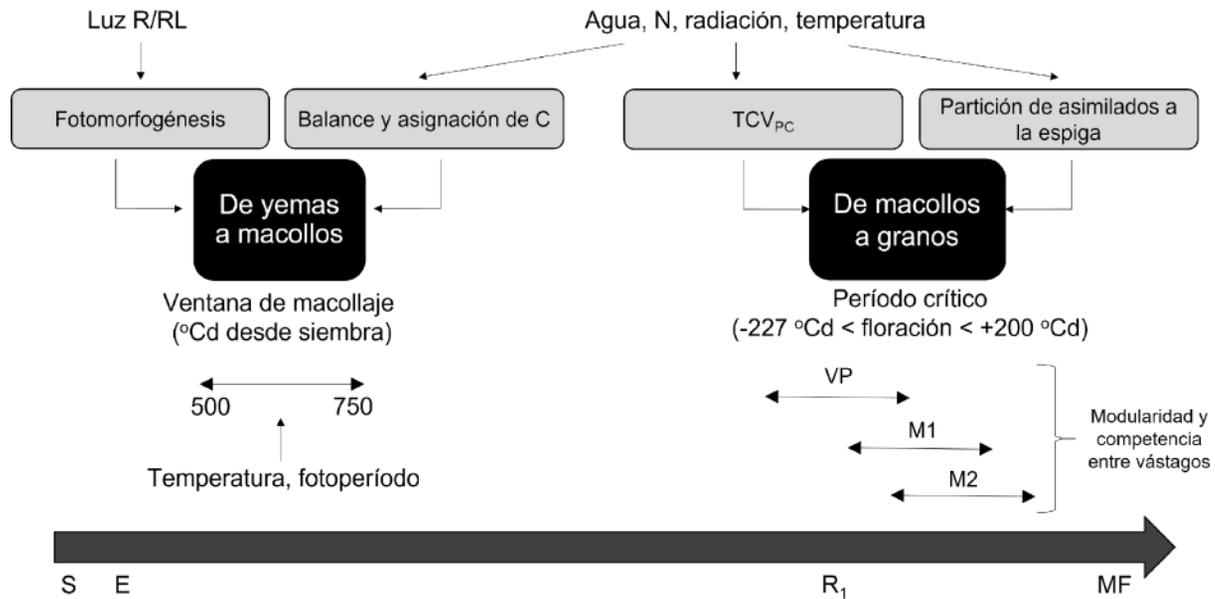


Figura 1. Marco conceptual para analizar el macollaje en maíz. Dos procesos principales eco-fisiológicos (cajas negras) que ocurren en diferentes ventanas temporales son determinados por mecanismos funcionales (cajas grises) modulados por factores ambientales. Símbolos: R/RL, la relación entre la luz del espectro rojo y del espectro rojo lejano; S, siembra; E, emergencia; R₁, floración femenina de la espiga apical del vástago principal; MF, madurez fisiológica; VP, vástago principal; M1, primer macollo aparecido; M2, segundo macollo aparecido; TCVPC, tasa de crecimiento de cada vástago durante el período crítico. Tomado de Rotili et al. (2021a).

El crecimiento posterior de los macollos coincide con el periodo de elongación de los tallos del cultivo. Las condiciones ambientales en conjunto con la densidad definirán cómo crecerán los macollos mientras compiten con los vástagos principales por la radiación solar, considerando que son estructuras relegadas y sombreadas debido a su aparición posterior en el ciclo del cultivo. El número máximo de macollos por planta es muy bajo comparado con otras especies gramíneas, debido a la ausencia de macollos secundarios y terciarios. En consecuencia, raramente existe un cierre del canopeo y escasez de radiación por planta que cause la muerte de macollos en cultivos de maíz de baja densidad (i.e. hasta 3 pl m⁻²), algo que si se observa en densidades superiores a las 4 pl m⁻². No obstante, incluso en bajas densidades,

condiciones ambientales de escasez de recursos como una sequía temporal pueden determinar un bajo crecimiento por vástago durante este periodo, lo que significará que los macollos comiencen el período de activo crecimiento de la espiga (i.e. inicios del período crítico; Figura 1) con una capacidad limitada para capturar recursos y destinarlos a las estructuras reproductivas (Massigoge et al., 2022; Espelet et al., 2022).

El rendimiento de un cultivo de maíz está determinado por su capacidad para capturar recursos y generar biomasa creciendo activamente una vez que las plantas alcanzan el periodo de activo crecimiento de las espigas. Un modelo bien establecido para maíz no macollador, relaciona el número de granos por

planta con la tasa de crecimiento por planta durante el período crítico (Andrade et al., 1999). Los estudios llevados a cabo recientemente sugieren que este marco conceptual se aplica también para maíces macolladores, aunque las interacciones entre vástagos de diferente orden determinan diferencias en el tipo de respuesta entre plantas con y sin macollos. Las plantas macolladas fijaron un mayor número de granos que las no macolladas por encima de cierto valor de tasa de crecimiento por planta durante el período crítico y lo opuesto ocurrió por debajo de ese valor (Figura 2). Un híbrido macollador de maíz puede ser considerado como un grupo de módulos conectados (vástago principal y macollos) que ajustan su crecimiento en respuesta a las variaciones ambientales (Ottaviani et al., 2017). En plantas macolladas profusamente los macollos incrementarían la captura de radiación alrededor del período crítico

y permitirían un mayor crecimiento por planta y una elevada capacidad de fijar granos. No obstante, el sombreado mutuo entre vástagos también determina una reducción de la tasa de crecimiento del vástago principal y un compromiso de la fijación de granos en las espigas secundarias o terciarias del vástago principal (i.e. puede disminuir la prolificidad). Además, si las condiciones iniciales promueven la emisión y el crecimiento de macollos, pero existiera una escasez de recursos alrededor del período crítico, se reducirían las tasas de crecimiento individuales de los vástagos producto de la competencia y podría ocurrir una falla reproductiva tanto en las espigas secundarias o terciarias del vástago principal como también en las espigas de macollos, disminuyendo la fijación de granos a nivel de planta y explicando las diferencias encontradas entre plantas macolladas y no macolladas.

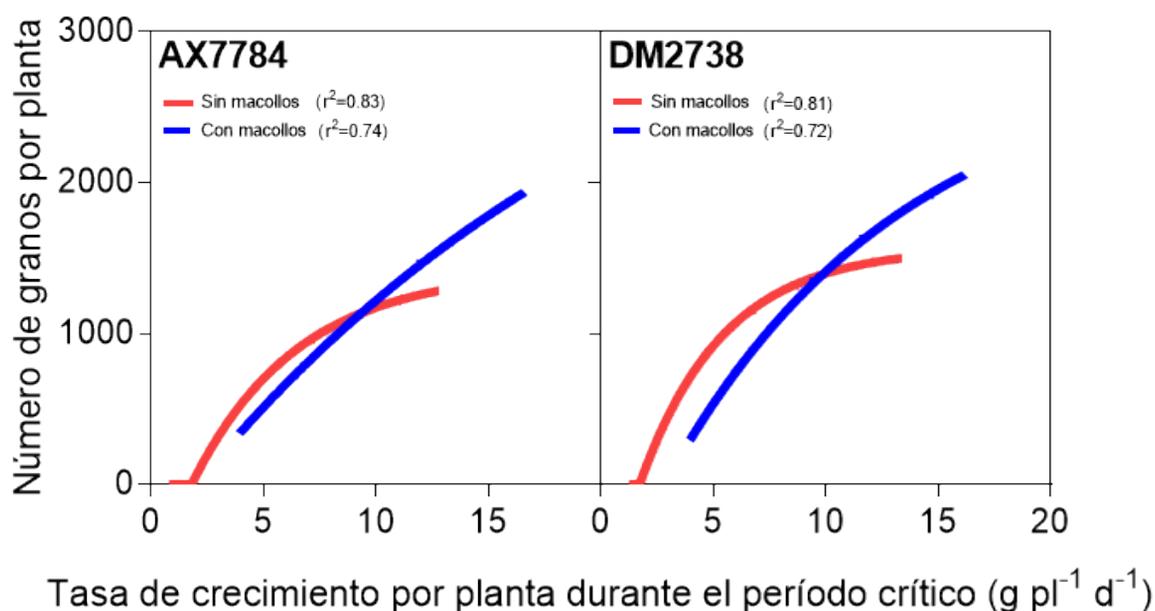


Figura 2. Relación entre el número de granos por planta y la tasa de crecimiento por planta durante el período crítico (entre 227 °Cd antes y 15 días después de la floración femenina) para plantas de maíz sin presencia de macollos (línea roja) y con presencia de macollos (línea azul) de los híbridos AX7784 y DM2738. Se muestra el coeficiente de determinación (R²), los puntos fueron removidos para facilitar la visualización. Tomado de Rotili et al. (2022).

En resumen, el marco conceptual que relaciona el número de granos por planta con la tasa de crecimiento por planta durante el período crítico para genotipos macolladores (y prolíficos + macolladores) de maíz, infiere que en ambientes con alta variabilidad interanual de disponibilidad de recursos en los cuales el maíz se cultiva en bajas densidades, la impredecible disponibilidad de recursos en algunos años puede promover altas tasas de crecimiento y la fijación de granos en múltiples espigas de vástagos principales (Otegui, 1995; Maddonni y Martínez-Bercovich, 2014) y/o macollos (Sangoi et al., 2010), dependiendo del híbrido. Este modelo conceptual tiene en cuenta combinaciones alternativas de prolificidad y macollaje que pueden ocurrir en

fenotipos con múltiples espigas (Rodríguez et al., 2017). Es necesario destacar que los estudios recientes se enfocaron en plantas y vástagos con inflorescencias apicales masculinas e inflorescencias femeninas posicionadas en yemas axilares. Las reducciones en la intensidad de luz, los días cortos con noches frescas, así como desbalances hormonales endógenos pueden generar una reversión sexual de la inflorescencia apical en maíz, con la presencia de una estructura terminal con flores pistiladas (femeninas), particularmente observada a campo en macollos (Rood et al., 1980; Irish, 1996). Estas flores generan estructuras semejantes a granos, pero sin valor productivo debido a la exposición a plagas, enfermedades y los efectos del ambiente.

Impacto de los macollos en el rendimiento a través de diferentes condiciones ambientales.

La conceptualización del comportamiento funcional de la emisión y fijación de granos en macollos en maíz es de suma importancia para comprender cómo impacta este rasgo sobre el rendimiento de maíz en ambientes con alta variabilidad interanual de las precipitaciones y espacial de las condiciones edáficas. La plasticidad reproductiva del maíz otorgada por los macollos puede ser útil en ambientes variables para capitalizar campañas favorables, pero puede determinar leves pérdidas en años desfavorables (Tokatlidis y Kotroubas, 2004; Varga et al., 2004; Tokatlidis et al., 2005). Un ejercicio de simulaciones con un modelo validado para localidades de la región sur de Buenos Aires sugirió que en años húmedos el número de granos por metro cuadrado de cultivos de maíz sembrados a una densidad de 2 pl m⁻² aumentaría más que proporcionalmente en cultivos con mayor

plasticidad reproductiva a partir de los macollos que en aquellos no macollados, pero lo contrario sucedería con las disminuciones del número de granos por metro cuadrado en años secos (Figura 3) (Rotili et al., 2021b). Es importante destacar que cuanto menor sea la profundidad efectiva del suelo y/o la disponibilidad de agua en el suelo a la siembra, menor será la probabilidad de tener una respuesta positiva del rendimiento a la presencia de macollos en maíz (Rotili et al., 2021b). Se suele suponer que los macollos aumentan la evapotranspiración del cultivo en etapas tempranas del ciclo, determinando menor disponibilidad hídrica durante el período crítico (i.e. “compiten por agua”). No obstante, en condiciones secas, los cultivos macollados simulados fijaron menos granos que los no macollados, pero esto no se debió a un significativamente mayor consumo de agua en etapas tempranas ni a una

menor disponibilidad hídrica a floración. A pesar de que los cultivos macollados y no macollados simulados crecieron a similares tasas durante el período crítico, la diferente relación entre el número de granos por planta y la tasa de crecimiento por planta entre plantas con y sin macollos generaron las diferencias en el éxito

reproductivo simuladas. **En síntesis, las pérdidas de número de granos causadas por la presencia de macollos no se debieron a “competencia por agua entre vástagos”, sino a “competencia por radiación entre vástagos determinada por escasez de agua a distribuir entre muchos vástagos”.**

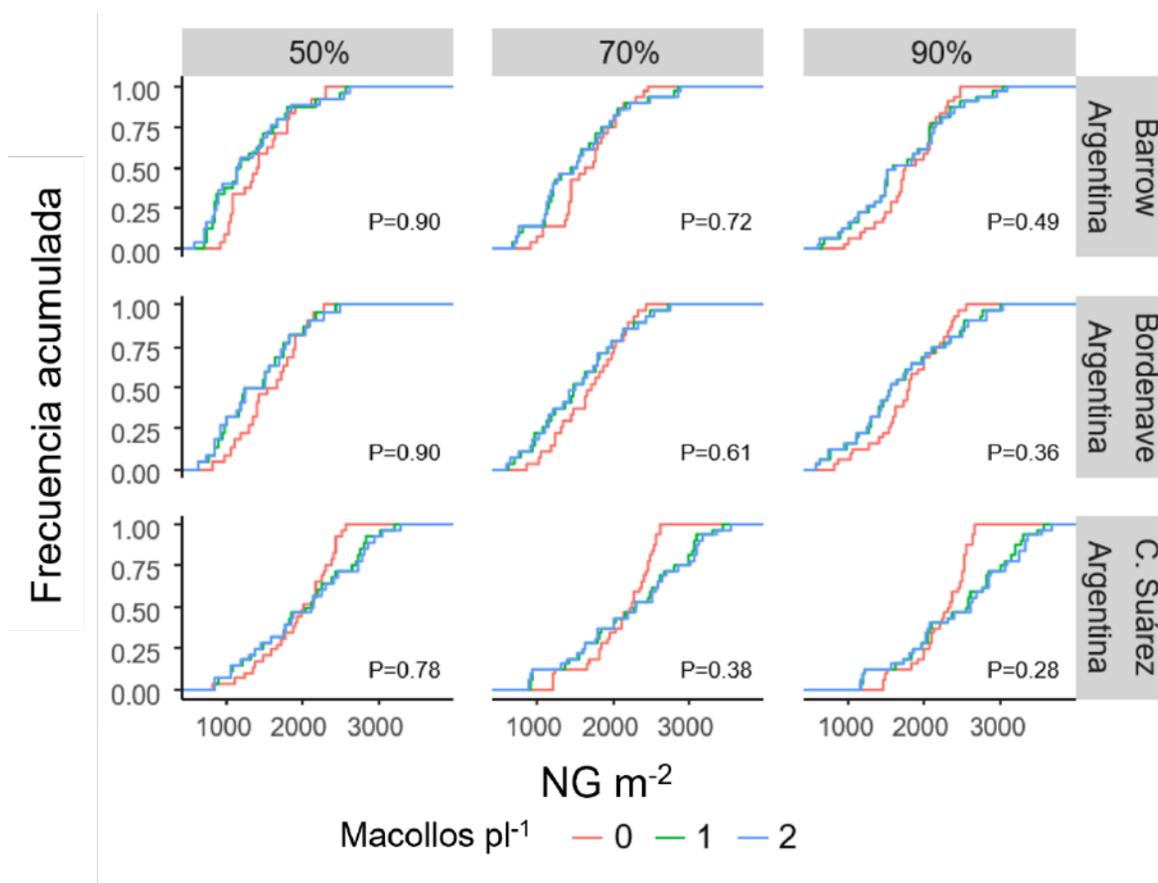


Figura 3. Frecuencia acumulada del número de granos por metro cuadrado simulado para cultivos sin macollos (líneas rojas), con 1 macollo por planta (líneas verdes) y con 2 macollos por planta (líneas celestes) en suelos representativos de tres localidades del sur bonaerense (Barrow, Bordenave y Coronel Suárez) con diferentes niveles de agua útil a la siembra (50%, 70% y 90%). En cada figura se indica la probabilidad (P) de partir con al menos el respectivo nivel de agua útil a la siembra en cada localidad para un maíz tardío sembrado el 20 de noviembre. Simulaciones realizadas con el modelo CERES-Maize en la plataforma DSSAT v4.6 considerando la función de fijación de granos por planta para el híbrido AX7784 que se muestra en la Figura 2. Tomado de Rotili et al. (2021b).

A pesar del avance en conocimientos básicos de la eco-fisiología de cultivos de maíz con macollos y la utilización de modelos de simulación para expandir los alcances de la investigación funcional, ningún estudio había observado mediante experimentos críticos cual era el efecto a campo de la presencia de macollos sobre el rendimiento en maíz a través de diversas condiciones ambientales. Recientemente, los grupos de estudio mencionados al inicio de este artículo generaron una gran cantidad de evidencia para responder esa elusiva incógnita. **En campos de producción, la contribución de los macollos al rendimiento estuvo principalmente asociada a condiciones de suelos fértiles, alta radiación incidente y temperaturas frescas en etapas vegetativas (Veenstra et al., 2022), así como también a elevadas precipitaciones en etapas reproductivas (Massigoge et al., 2022).** Un estudio que recopiló todos los datos publicados para maíz a lo largo del mundo en los que se hubiera cultivado un híbrido propenso al macollaje con tratamientos de macollado y desmacollado en el mismo experimento, demostró que los rendimientos de grano de los cultivos macollados no fueron consistentemente inferiores a los de los cultivos desmacollados (Rotili et al., 2024). De hecho, los cultivos macollados superaron en rendimiento a los desma-

collados (aproximadamente 8321 vs 7482 kg ha⁻¹ para cultivos macollados y desmacollados) en la mayoría de los ambientes, con rendimientos más altos o similares en ambientes intermedios y de alto rendimiento, y sin diferencias distinguibles en ambientes de bajo rendimiento (Figura 4). No obstante, algo muy importante a tener en cuenta es que en el estudio mencionado de Rotili et al. (2024), los únicos cultivos de maíz de baja densidad que sufrieron algunas penalidades al rendimiento cuando los macollos estuvieron presentes fueron aquellos ubicados en el sur bonaerense (Figura 4). Las condiciones ambientales particulares del sur bonaerense, como la limitación en profundidad efectiva de los suelos, la ocurrencia frecuente de sequías estacionales y los eventos ocasionales de muy altas temperaturas estivales pueden generar condiciones de muy baja disponibilidad de recursos durante las etapas vegetativas tardías y reproductivas del cultivo, desencadenando un recrudescimiento del proceso de competencia entre vástagos y una disminución en la fijación de granos por el cultivo. Así, el conocimiento de las condiciones particulares del lote al momento de la siembra y su variabilidad espacial sería fundamental para seleccionar híbridos con o sin propensión al macollaje al tiempo de resguardarse del riesgo climático al sembrar bajas densidades en esa región.

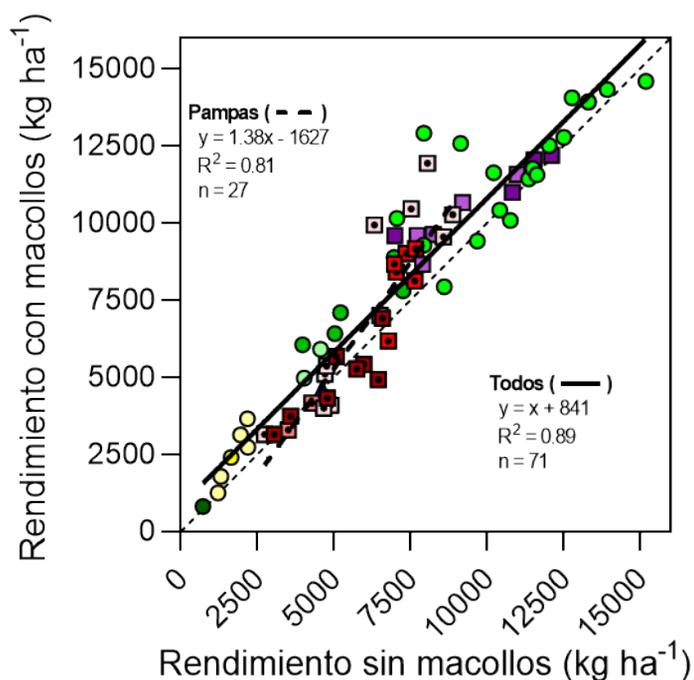


Figura 4. Rendimiento de cultivos macollados versus desmacollados de maíz a través de diversos ambientes (rango ambiental de rendimientos explorados para maíces desmacollados: 733 – 15198 kg/ha). Revisión de datos provenientes de la literatura científica en diferentes partes del mundo. En símbolos rojos y línea punteada se muestran datos y modelo ajustado al sur bonaerense (Pampas). Tomado de Rotili et al. (2024).

En conclusión, los trabajos llevados a cabo por investigadores argentinos durante la última década permitieron esclarecer muchas dudas acerca del impacto del macollaje sobre el crecimiento y el rendimiento del cultivo de maíz. En condiciones ambientales restrictivas para la producción, las penalidades del macollaje sobre el rendimiento por planta y a nivel del cultivo no fueron evidentes, con la excepción de algunos ambientes en el sur bonaerense. Los macollos otorgan una elevada plasticidad vegetativa y reproductiva a las plantas de maíz, especialmente en bajas densidades y cuando las condiciones ambientales favorecen la emisión, el crecimiento y la fertilidad de estos vástagos secundarios. En relación con esto, el maíz suele ser considerado como un cultivo con una limitada plasticidad en

comparación con otros cultivos estivales como la soja o el girasol, pero la plasticidad ofrecida por los macollos debe ser considerada seriamente cuando se manejan cultivos en ambientes muy variables interanual y espacialmente. De consideración debe ser la posibilidad de aprovechar la oferta de recursos inesperadamente elevada en campañas favorables, así como el riesgo de pérdida en campañas desfavorables. El éxito en el manejo del cultivo ante la presencia de macollos supone dos aspectos fundamentales a tener en cuenta para la toma de decisiones: el ambiente particular de producción (fertilidad del suelo, disponibilidad de agua a la siembra, pronóstico climático) y el nivel de aversión al riesgo y su consecuente predisposición a capturar oportunidades poco frecuentes.

Bibliografía:

- Andrade, F.H., Vega, C., Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M., Valentinuz, O. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39, 453-459.
- Casal J.J., Sanchez, R.A., Deregibus, V.A., 1986. Effects of plant density on tillering: the relationship with R/FR and the proportion of radiation intercepted per plant. *Environ. Exp. Bot.* 26, 365–371.
- Doebley J., Stec, A., Hubbard, L. 1997. The evolution of apical dominance in maize. *Nature* 386, 485-488.
- Downey, L.A., 1972. Effect of varying plant density on a tillering variety of maize. *Expl. Agric.* 8, 25-32.
- Espelet, F., Rotili, D.H., Maddonni, G.Á. 2022. Efecto de sombreos sobre la producción de macollos y el rendimiento en maíz de baja densidad. VII Congreso de Maíz Tardío Corteva, Argentina. Octubre 2022.
- Gaskel, M.L., Pearce, R.B., 1981. Growth analysis of maize hybrids differing in photosynthetic capability. *Agron. J.* 73, 817-821.
- Irish, E.E., 1996. Regulation of sex determination in maize. *BioEssays* 18, 363-369.
- Kebrom T.H., Brutnell T.P. Tillering in the sugary1 sweetcorn inbred is maintained by overriding the teosinte branched1 repressive signal. *Plant Signal. Behav.* doi: 10.1080/15592324.2015.1078954.
- Lorant, A., Pedersen, S., Holst, I., Hufford, M.B., Winter, K, Piperno, D., Ross-Ibarra, J., 2017. The potential role of genetic assimilation during maize domestication. *Plos One* 12, e0184202.
- Maddonni, G.A., Martínez-Bercovich, J., 2014. Row Spacing, Landscape Position, and Maize Grain Yield. *Int. Journ. Agron.* Volume 2014, Article ID 195012, 12 pp.
- Maddonni, G.A., Otegui, M.E., Andrieu, B., Chelle, M., Casal, J.J. 2002. Maize leaves turn away from neighbors. *Plant Physiol.* 130, 1181-1189.
- Massigoge I, Ross F, Fernández JA, Echarte L, Ciampitti IA, Cerrudo A. (2022). Contribution of tillers to maize yield stability at low plant density. *Crop Sci.* 62, 2451-2461.
- Moulia, B., Loup, C., Chartier, M., Allirand, J.M., Edelin, C., 1999. Dynamics of architectural development of isolated plants of maize (*Zea mays* L.) in a non-limiting environment: the branching potential of modern maize. *Ann. Bot.* 84, 645-656.
- Otegui, M.E., 1995. Prolificacy and grain yield components in modern Argentinean maize hybrids. *Maydica* 40, 371–376.
- Ottaviani, G., Martínková, J., Herben, T., Pausas, J.G., Klimešová, J., 2017. On Plant Modularity Traits: Functions and Challenges. *Trends Plant Sci.* 22, 648-651.
- Parra, G., Borrás, L., Gambín, B., 2020. Maize long-term genetic progress explains current dominance over sorghum in Argentina. *Eur. J. Agron.* 119, 126122.
- Piperno, D.R., Host, I., Moreno, J.E. and Winter, K., 2019. Experimenting with domestication: Understanding macro- and micro-phenotypes and developmental plasticity in teosinte in its ancestral pleistocene and early holocene environments. *J. Archaeol. Sci.*, 108.
- Rodríguez, D. , Roxburgh, C., Farnsworth, C., Ferrante, A., Eyre, J., Irvine-Brown, S., McLean, J., Bielich, M., 2017. Climate risk management in maize cropping systems. En: Watson, D. (Ed.), *Achieving sustainable cultivation of maize - Volume 2: cultivation techniques, pest and disease control*, Burleigh Dodds, Cambridge, Reino Unido. pp. 227-245.
- Rood, S.B., Pharis, R.P., Major, D.J., 1980. Changes of Endogenous Gibberellin-like Substances with Sex Reversal of the Apical Inflorescence of Corn. *Plant Physiol.* 66, 793-796.
- Rotili, D.H. 2022. El cultivo de maíz en ambientes marginales: bases eco-fisiológicas y mecanismos de plasticidad asociados al macollaje. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires.
- Rotili DH, Giorno A, Tognetti PM, Maddonni GA. 2019. Expansion of maize production in a semi-arid region of Argentina: Climatic and edaphic constraints and their implications on crop management. *Agricultural Water Management* 226, 105761.
- Rotili DH, Sadras VO, Abeledo LG, Ferreyra JM, Micheloud JR, Duarte G, Girón P, Ermácora M, Maddonni GÁ. 2021a. Impacts of vegetative and reproductive plasticity associated with tillering in maize crops in low-yielding environments: a physiological framework. *Field Crops Research* 265, 108107.
- Rotili DH, Abeledo LG, deVoil P, Rodriguez D, Maddonni GA. 2021b. Exploring the effect of tillers on the water economy, plant growth and kernel set of low-density maize crops. *Agricultural Water Management* 243, 106424.
- Rotili DH, Abeledo LG, Martínez Larrea S, Maddonni GA. 2022. Grain yield and kernel setting of multiple-shoot and/or multiple-ear maize hybrids. *Field Crops Research* 279, 108471.
- Rotili DH, Micheloud JR, Ross F, Abeledo LG, Maddonni GA. 2024. Does tillering affect the grain yield of maize? A quantitative review. *Crop Pasture Sci.* 75, CP24064.
- Sangoi, L., Schweitzer, C., Schmitt, A., Picoli Jr., G.J., Vargas, V.P., Vieira, J., Siega, E., Carniel, G., 2010. • Tillering and prolificacy as stabilizing traits to maize grain yield at different densities. *Rev. Bras. Milho Sorgo* 9, 254-265.
- Tetio-Kagho, F., Gardner, F.P. 1988. Responses of Maize to Plant Population Density. I. Canopy Development, Light Relationships, and Vegetative Growth. *Agron. J.* 80, 930-935.
- Tokatlidis, I.S., Kotroubas, S.D., 2004. A review study of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. *Field Crops Res.* 88, 103-114.
- Tokatlidis, I.S., Koutsika-Sotiriou, M., Tamoutsidis, E., 2005. Benefits from using maize density-independent hybrids. *Maydica* 50, 9-17.
- Varga, B., Svencjak, Z., Knezevic, M., Grbesa, D., 2004. Performance of prolific and non-prolific maize hybrids under reduced-input and high-input cropping systems. *Field Crops Res.* 90, 203-212.
- Veenstra, R., Messina, C.D., Berning, D., Haag, L.A., Carter, P., Hefley, T.J., Vara Prasad, P.V., Ciampitti, I.A., 2021. Effect of tillers on corn yield: Exploring trait plasticity potential in unpredictable environments. *Crop Sci.*, 3660-3674.
- Yamaguchi, J., 1974. Varietal traits limiting the grain yield of tropical maize. III. Significance of tillers for productivity. *Soil Sci. Plant Nutr.* 20, 155-161.



Maíz tardío en ambientes limitados del sur bonaerense

Ambiente x Densidad x Genotipo, campaña 2023/24

Chacra Experimental Integrada (CEI) Barrow, Ing. Agr. MsC Fernando Ross

Los ambientes maiceros del sur bonaerense se caracterizan por una marcada limitación en su capacidad de reserva hídrica, con precipitaciones variables y frecuentemente escasas. Estas condiciones originan amplias oscilaciones en el rendimiento del cultivo de maíz. Las decisiones de manejo resultan sustantivas para el éxito del cultivo en la región. En general se optan por fecha de siembra tardía para minimizar la demanda hídrica del cultivo. En el manejo de la densidad de siembra se combinan estrategias de ajuste de densidad con fenotipos con buena plasticidad reproductiva. La densidad óptima depende del nivel de rendimiento (Andrade, 1995; Andrade et al., 1999; Echarte et al., 2000). Sin embargo, en los ambientes restrictivos del sur bonaerense hay grandes limitaciones para predecirlo. Por esto, y para cubrirse de las campañas secas los productores locales utilizan densidades bajas que permiten evitar pérdidas mayores. En estas condiciones la plasticidad reproductiva juega un rol fundamental para no desaprovechar los buenos rendimientos que puede ofrecer las campañas con condiciones favorables (Mylonas et al., 2020; Ross et al., 2020; Sinapidou et al., 2020).

En la Chacra Experimental Integrada Barrow (MDA – INTA) llevamos adelante líneas de trabajo que proponen caracterizar la plasticidad vegetativa y reproductiva de los híbridos disponibles en el mercado. Sin duda, este conocimiento permitiría minimizar las pérdidas de rendimiento por desajuste de densidad. Para ello se evalúan diferentes híbridos comerciales; en densidades extremas. Por un lado, identificando y midiendo las fuentes de plasticidad en condición de alta disponibilidad de recursos por planta (baja densidad). Y, en el otro extremo, se propone caracterizar la tolerancia a estrés mediante la evaluación de los híbridos en condición de baja disponibilidad de recursos por planta (alta densidad).

El objetivo principal de esta línea de trabajo es generar información que permita ajustar el manejo agronómico para los diferentes híbridos comerciales disponibles en el mercado. **En este trabajo se evaluó la respuesta a la densidad de siembra de diferentes híbridos de maíz en suelos de distinta capacidad de almacenaje de agua (somero y moderadamente profundo).**

Materiales y métodos

Durante la campaña de gruesa 2023/24 se realizó un ensayo experimental en la CEI Barrow (cercanías de Tres Arroyos). El ensayo se sembró el 22 de noviembre de 2023 con una sembradora Baumer neumática con cuatro surcos separados a 52,5 cm; en parcelas de 2,1 metros de ancho por 11 metros de longitud. Se evaluaron 15 híbridos comerciales (Tabla 1), sembrados en tres densidades objetivo (2 - 4 y 8 pl m⁻²). Los sitios experimentales seleccionados fueron, suelo somero típico perteneciente a la serie Tres Arroyos (50-70 cm PE), y suelo moderadamente profundo perteneciente a la serie Laprida (90 - 110 cm PE). Ambos sitios experimentales se encuentran dentro de la CEI de Barrow separados

por una distancia de 300 metros. El cultivo antecesor fue CC avena vicia, para minimizar las deficiencias de nitrógeno, previo a la siembra (30 días) se fertilizó al voleo con 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno como urea y durante la siembra con 100 kg ha⁻¹ de DAP en la línea. Para mantener el ensayo libre de malezas se realizaron aplicaciones de herbicidas durante el ciclo del cultivo. En ambos sitios (somero e intermedio) se utilizó un diseño estadístico factorial con tres repeticiones, el análisis estadístico se realizó con INFOSTAT, evaluando un modelo integrado por las variables híbrido, densidad, ambiente y sus interacciones. El balance hídrico se realizó con el programa CROPWAT (FAO).

Tabla 1. Híbridos evaluados.

Criadero	Híbrido
ACA	ACA477
ACA	ACA470
ACA	ACA471
ACA	ACA476
Nidera	NS7761
Nidera	NS7921
Nidera	NS7621
Pioneer	P1669
Pioneer	P0622
La Tijereta	LT723
Dekalb	DK7208
Dekalb	DK6962
Dekalb	DK7272

Resultados y discusión

Durante la campaña 2023/24 las condiciones meteorológicas resultaron apropiadas para una región subhúmeda a semiárida. Las precipitaciones totalizaron 466 milímetros desde

octubre a abril (Tabla 2). La evapotranspiración real del cultivo en el sitio somero fue de 353 mm y en el profundo de 419 mm (CROPWAT, FAO).

Tabla 2. Datos meteorológicos de la campaña 2023/24

Año	Mes	Precipitaciones (mm)	Temp. Media (°C)
2023	Octubre	32.7	14.3
2023	Noviembre	66.2	17.4
2023	Diciembre	80.9	20.7
2024	Enero	60.3	24
2024	Febrero	89.4	23
2024	Marzo	41.6	19.4
2024	Abril	95	14.8
Total		466	19

Hacia fines de enero, las condiciones de estrés resultaron extremas, donde el cultivo se encontraba con un suelo sin reserva de agua que le permitieran sobrellevar temperaturas máximas diarias de 36 a 40 °C. Esta condición de estrés provocó retrasos en la floración a medida que se incrementó la densidad. En la densidad de 2 pl m⁻² los híbridos evaluados florecieron según su ciclo (Tabla 3). En cambio, a medida que la densidad se incrementó se retrasó la floración masculina como femenina (Tabla 3). Además, en densidad de 8 pl

m⁻² producto de un mayor retraso de la floración femenina respecto de la masculina se incrementó significativamente la asincronía (Tabla 3). En general, este retraso resultó proporcional al aumento de densidad. Este resultado es frecuente en campañas con alto estrés hídrico. No obstante, desde el inicio del mes de febrero retomaron las precipitaciones y las densidades más altas recuperaron su condición logrando una buena condición en la etapa de floración.

Tabla 3. Fecha de floración masculina (FM) y femenina (FF) en función de Híbrido y Densidad. (D)

Híbrido	D	FM	FF
P0622	2	29-ene.	29-ene.
	4	2-feb.	3-feb.
	8	3-feb.	7-feb.
P1669	2	31-ene.	1-feb.
	4	3-feb.	5-feb.
	8	4-feb.	8-feb.
DK6962	2	1-feb.	2-feb.
	4	4-feb.	7-feb.
	8	5-feb.	8-feb.
LT723	2	31-ene.	1-feb.
	4	31-ene.	3-feb.
	8	4-feb.	6-feb.
ACA 470	2	2-feb.	2-feb.
	4	3-feb.	4-feb.
	8	5-feb.	7-feb.
ACA471	2	1-feb.	2-feb.
	4	3-feb.	6-feb.
	8	5-feb.	9-feb.
NS7621	2	3-feb.	4-feb.
	4	6-feb.	8-feb.
	8	9-feb.	14-feb.
DK7272	2	3-feb.	4-feb.
	4	5-feb.	8-feb.
	8	9-feb.	14-feb.
DK7208	2	5-feb.	5-feb.
	4	6-feb.	7-feb.
	8	9-feb.	15-feb.
ACA 476	2	3-feb.	4-feb.
	4	4-feb.	5-feb.
	8	9-feb.	14-feb.
ACA477	2	5-feb.	6-feb.
	4	6-feb.	8-feb.
	8	11-feb.	14-feb.
NS7761	2	3-feb.	5-feb.
	4	5-feb.	8-feb.
	8	9-feb.	14-feb.
NS7921	2	6-feb.	6-feb.
	4	9-feb.	12-feb.
	8	10-feb.	16-feb.

Rendimiento y componentes

Todas las variables de manejo estudiadas afectaron significativamente el rendimiento del cultivo de maíz (Análisis de la varianza, ANOVA). Al contrario, ninguna de las interacciones resultó significativa.

La variable Ambiente, es decir el contraste entre los sitios profundo y somero, logró explicar el 36% de las variaciones de rendimiento (Figura 1). En promedio, el ambiente profundo superó en 1741 kg ha⁻¹ al ambiente somero lo cual da un incremento de 37 kg ha⁻¹ por cada cm de profundidad efectiva (PE). Este dato es menor al obtenido en campañas previas, donde se obtuvieron entre 60 y 100 kg ha⁻¹ extra por cada cm de incremento de la PE. Sin embargo, resulta esperable porque el antecesor (cultivo de servicio) y la primavera con precipitaciones escasas habrían desfavorecido las diferencias potenciales de disponibilidad de agua inicial. Por otro lado, las lluvias favorables en la etapa de floración del maíz habrían uniformado las condiciones en ambos sitios.

Tabla: Análisis de la varianza (ANOVA) de la variable **Rendimiento**.

Factor	P valor
Modelo	<0.0001
Ambiente	<0.0001
Densidad	<0.0001
Híbrido	0.0003
Ambiente*Densidad	0.9206
Ambiente*Híbrido	0.8836
Densidad*Híbrido	0.1143
Ambiente*Densidad*Híbrido	0.7318

La densidad de siembra explicó el 12% de las variaciones del rendimiento (Figura 1). Entre 2 y 4 pl m⁻² no se encontraron diferencias significativas de rendimiento, y este cayó significativamente en 8 pl m⁻² en ambos sitios (Figura 2). La densidad de 2 pl m⁻² se vio favorecida por la presencia de espigas dobles en el tallo principal y por espigas de macollo, tanto en somero como en profundo (Figura 2).

Las diferencias de rendimiento entre los Híbridos evaluados explicaron el 8% de las variaciones de rendimiento del ensayo (Figura 1). Resulta interesante poner en evidencia que en general, en

los experimentos **aleatorizados y con repeticiones** donde se evalúan híbridos modernos nunca se obtienen diferencias mayores al 15% atribuibles a la genética. Si la diferencia entre genotipos resultara mayor a ese valor, es esperable que alguna otra fuente de variación distinta (por ej.: desuniformidad del ambiente, cambios en la calidad de las labores, adversidades bióticas, etc.) esté interfiriendo y distorsionando los resultados finales. Caso que puede ocurrir pero que se debería validar con un mecanismo lógico que explique el porqué de la magnitud de los resultados.

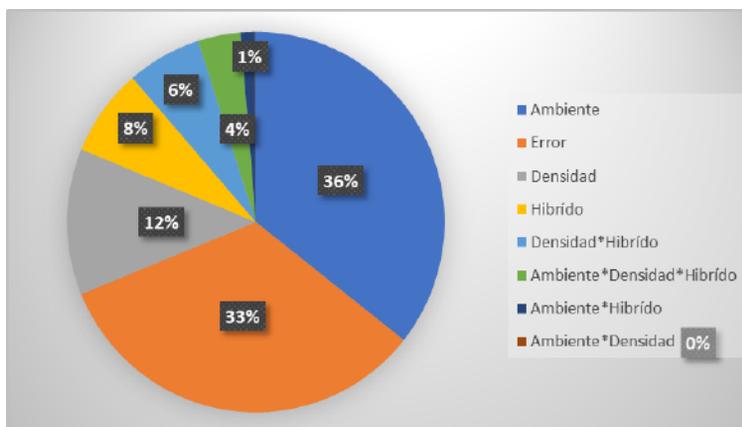


Figura 1: Variables explicativas del rendimiento.

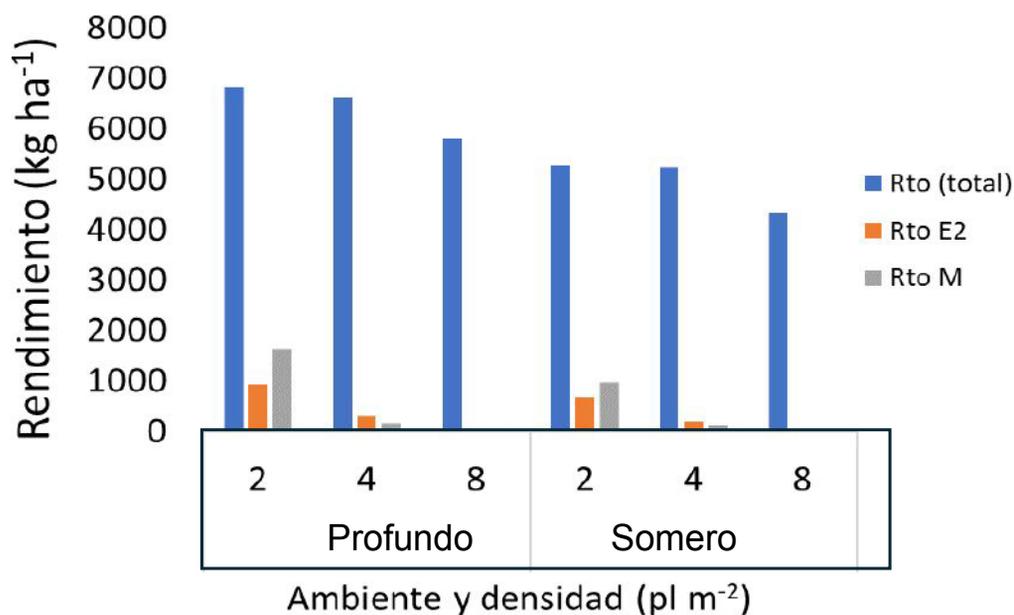


Figura 2: Rendimiento en función de ambiente y la densidad de siembra. La barra azul representa el rendimiento en grano (DMS=240 kg ha⁻¹), la barra naranja es el rendimiento aportado por las segundas espigas del tallo principal y la barra gris es el rendimiento aportado por las espigas de macollos. Valores promedio de todos los híbridos evaluados.

El número de granos por unidad de superficie resultó mayor en el ambiente profundo (Figura 3a) explicando las diferencias de rendimiento entre sitios (Figura 2). Por otro lado, el peso por grano resultó menor al esperado (270 mg u⁻¹, Figura 3b).

Este bajo peso de grano alcanzado es atribuible a la escasez de precipitaciones durante el mes de marzo (Tabla 2). Sin diferencias de número de granos, el peso por granos explicó las diferencias de rendimiento entre densidades (Figura 2).

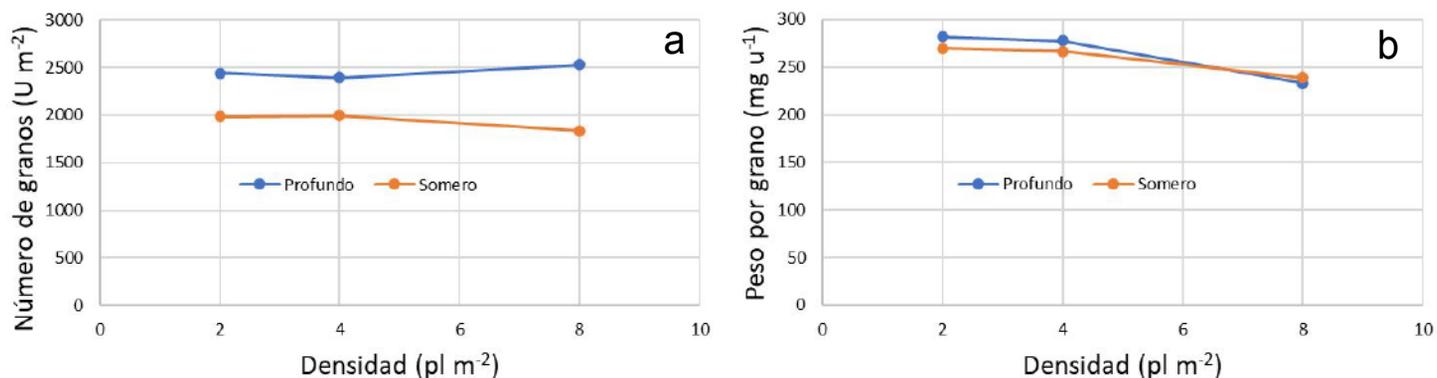


Figura 3: Número de granos (a) y peso por grano (b) en función de ambiente y densidad (DMS: 256 y 6 respectivamente), valores promedio de todos los híbridos evaluados.

En la Tabla 4 se presenta la performance de los híbridos evaluados ante los cambios de ambiente y la densidad. Vale destacar que la interacción Ambiente x Densidad no resultó significativa (ANOVA) y que al mismo tiempo explicó 0% las variaciones de rendimiento (Figura 1). En cambio, la interacción Híbrido x Densidad explicó el 6% de las variaciones del rendimiento y obtuvo un valor

$p=0.11$ (ANOVA). Este resultado es esperable y se observa en la Tabla 4 donde el híbrido de ciclo medio a corto P0622 (menor plasticidad vegetativa y reproductiva por ciclo) respondió significativamente a aumentar la densidad de 2 a 4 pl m⁻², al contrario de lo que ocurrió con la mayoría de los ciclos largos (Tabla 4).

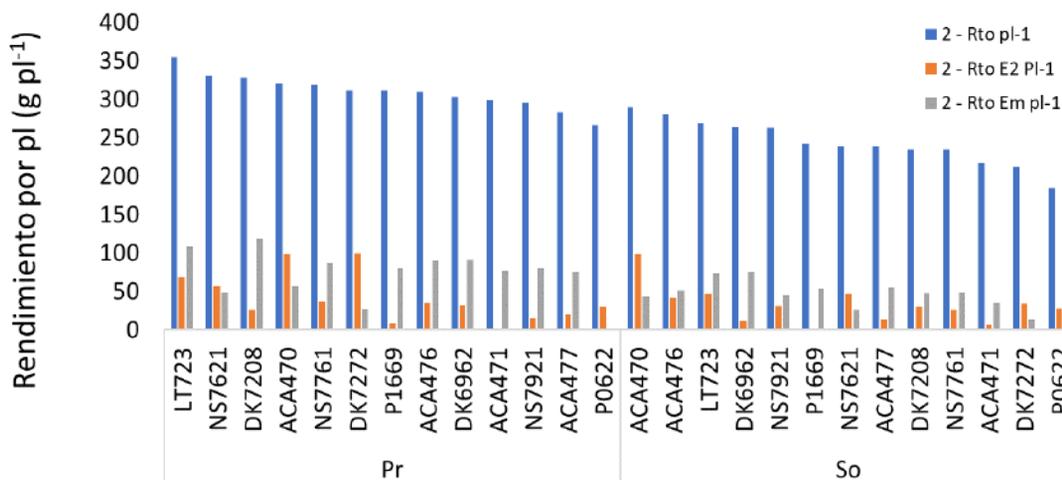
Híbrido	Profundo				Somero				Promedio
	Densidad (pl m ⁻²)			Promedio	Densidad (pl m ⁻²)			Promedio	
	2	4	8		2	4	8		
LT723	7752	7327	6164	7148	5876	6630	5137	5881	6481
ACA470	6783	7622	6251	6885	6128	6323	3442	5298	6092
DK6962	6586	7069	6041	6613	5500	5370	4931	5297	5916
ACA476	6560	6514	6119	6370	5930	5075	4300	5021	5750
NS7761	7076	6815	6291	6727	5219	4472	4436	4792	5718
NS7921	6695	6522	6079	6397	5566	4789	4508	4910	5693
P1669	6909	6319	5716	6261	5325	5007	4285	4831	5593
NS7621	7491	6269	5632	6464	4933	4796	4213	4647	5556
P0622	5910	6640	5945	6246	4102	5677	4454	4919	5455
DK7208	6889	7158	4979	6397	5345	4680	3642	4634	5449
ACA471	6450	6523	4662	5878	4703	5326	4487	4839	5359
DK7272	6796	6231	5346	6191	4678	4974	3840	4486	5311
ACA477	6258	4986	6053	5766	5067	4489	4420	4659	5212
Promedio	6781	6615	5791	6411	5259	5201	4315	4940	5660

Tabla 4: rendimiento en grano (kg ha⁻¹) en función de Ambiente, Densidad e Híbrido. (DMS= 534 kg ha⁻¹)

Para caracterizar la plasticidad reproductiva de los híbridos evaluados se presentan los componentes de plasticidad en baja densidad (2 pl m⁻²) en la Fi-

gura 4. Por último, en la Tabla 5 se presenta la humedad del grano en cosecha.

Figura 4: Rendimiento por planta en la densidad de 2 pl m⁻² en función de Ambiente e Híbrido. La barra azul es el rendimiento total por planta, la barra naranja es el rendimiento aportado por las segundas espigas del tallo principal y las barras grises son el rendimiento aportado por las espigas de macollo.



Híbrido	Profundo				Somero				Promedio
	Densidad (pl m ⁻²)			Promedio	Densidad (pl m ⁻²)			Promedio	
	2	4	8		2	4	8		
LT723	7752	7327	6164	7148	5876	6630	5137	5881	6481
ACA470	6783	7622	6251	6885	6128	6323	3442	5298	6092
DK6962	6586	7069	6041	6613	5500	5370	4931	5297	5916
ACA476	6560	6514	6119	6370	5930	5075	4300	5021	5750
NS7761	7076	6815	6291	6727	5219	4472	4436	4792	5718
NS7921	6695	6522	6079	6397	5566	4789	4508	4910	5693
P1669	6909	6319	5716	6261	5325	5007	4285	4831	5593
NS7621	7491	6269	5632	6464	4933	4796	4213	4647	5556
P0622	5910	6640	5945	6246	4102	5677	4454	4919	5455
DK7208	6889	7158	4979	6397	5345	4680	3642	4634	5449
ACA471	6450	6523	4662	5878	4703	5326	4487	4839	5359
DK7272	6796	6231	5346	6191	4678	4974	3840	4486	5311
ACA477	6258	4986	6053	5766	5067	4489	4420	4659	5212
Promedio	6781	6615	5791	6411	5259	5201	4315	4940	5660

Tabla 5: Humedad a cosecha (% , 3 de julio) en función de Densidad e Híbrido.

Consideraciones finales

Los resultados de la campaña estuvieron dentro de lo esperado para ambientes restrictivos. El cultivo logró sobrellevar condiciones de estrés intenso hacia fines de enero, logrando un buen desempeño en el rango de las densidades más utilizadas para estos ambientes (2 a 4 pl m⁻²). Se

destacó por alcanzar un buen número de granos por unidad de superficie, incluso en baja densidad. No obstante, las precipitaciones desde fines de febrero resultaron muy escasas, limitaron la etapa de llenado de granos y el rendimiento del cultivo.

Maíz en ambientes limitados: Fecha de siembra

Ambiente x Densidad x Genotipo, campaña 2023/24

Chacra Experimental Integrada (CEI) Barrow, Ing. Agr. MsC Fernando Ross

En el sur bonaerense la fecha de siembra toma un rol protagónico sobre las decisiones de manejo del cultivo de maíz. Reportes de AACREA y AAPRESID indican que en esta región (sin incluir la región mar y sierra) más del 80% del maíz se siembra en fecha tardía, después del 15 de noviembre.

Desde el punto de vista del balance hídrico, retrasar la fecha de siembra implica una reducción de la demanda de agua. Esto permite una reducción potencial del déficit hídrico con respecto a las siembras tempranas. Nos referimos en términos

potenciales porque el déficit hídrico es el balance entre la **demanda** de agua y la **oferta** que será provista por las lluvias propias de cada campaña y otras fuentes como el agua acumulada en el barbecho, la presencia de napa y/o riego si los hubiera.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la **densidad de siembra** y la **longitud de ciclo** de maíz en dos **fechas de siembra** (temprana y tardía) y en dos ambientes contrastantes del sur bonaerense (somero y profundo).

Materiales y métodos

Durante la campaña de gruesa 2023/24 se realizó un ensayo experimental en la CEI Barrow (cercanías de Tres Arroyos). El ensayo se sembró el 27 de octubre y el 22 de noviembre de 2023 con una sembradora Baumer neumática con cuatro surcos separados a 52,5 cm; en parcelas de 2,1 metros de ancho por 11 metros de longitud. Se evaluaron 4 híbridos comerciales, sembrados en tres densidades objetivo (2 - 4 y 8 pl m⁻²). Los híbridos evaluados fueron, dos de ciclo largo o completo ACA476 y ACA470, uno de ciclo intermedio P1669 y uno de ciclo corto P0622.

Los sitios experimentales seleccionados fueron, un suelo somero típico perteneciente a la serie Tres Arroyos (50-70 cm de profundidad efectiva - PE), y un suelo moderadamente profundo perteneciente a la serie Laprida (90 - 110 cm PE). Ambos sitios experimentales se encuentran dentro de la CEI de

Barrow separados por una distancia de 300 metros. El cultivo antecesor fue CC avena vicia. Para minimizar las deficiencias de nitrógeno, previo a la siembra (30 días) se fertilizó al voleo con 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno como urea y durante la siembra con 100 kg ha⁻¹ de DAP en la línea. Para mantener el ensayo libre de malezas se realizaron aplicaciones de herbicidas durante el ciclo del cultivo. En ambos sitios (somero e intermedio) se utilizó un diseño estadístico factorial con tres repeticiones, el análisis estadístico se realizó con INFOSTAT, evaluando un modelo integrado por las variables fecha de siembra, ambiente, densidad, ciclo y sus interacciones. Los datos meteorológicos fueron provistos por la estación meteorológica de la CEI Barrow, el balance hídrico se realizó con el programa CROPWAT (FAO).

Resultados y discusión

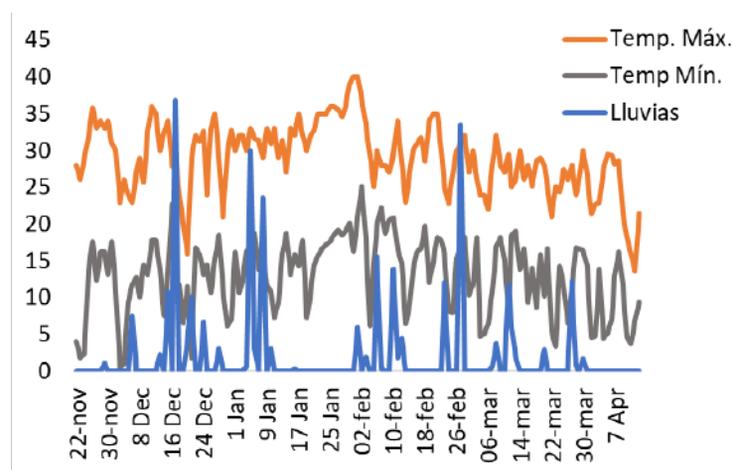
La campaña de gruesa 2023/24 se caracterizó por precipitaciones escasas en octubre y noviembre (Tabla 1). Luego, en diciembre, enero y febrero las precipitaciones resultaron cercanas a las normales para la región y al contrario de lo esperado en el mes de marzo las precipitaciones resultaron escasas (Tabla 1).

Durante el mes de enero ocurrió un período cálido y seco que comenzó el 10 de enero y terminó a principios de febrero. Durante esa etapa, entre el 20 de enero y el 1 de febrero se presentaron días seguidos con temperaturas máximas superiores a 36 grados (Figura 1).

Mes	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Campaña 23/24	33	66	81	60	89	42	95
Histórico	85	89	71	76	89	79	68

Tabla 1: Precipitaciones mensuales de la campaña 2023 y registros históricos.

Figura 1: Evolución de la temperatura máxima (°C), mínima (°C) y precipitaciones (mm) durante la campaña de gruesa 2023/24.



Rendimiento y disponibilidad hídrica

Las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del maíz resultaron 18% mayores en la fecha de siembra temprana (Tabla 2). Al mismo tiempo, en promedio de ambos ambientes, la evapotranspiración real estimada con CROPWAT resultó un 16% mayor en la fecha de siembra temprana (ETR, Tabla 2). Sin embargo, tal como se

esperaba, el maíz en fecha temprana tuvo una evapotranspiración potencial (demanda) 10% mayor que en fecha tardía (ET₀, Tabla 2). Como resultado **el déficit hídrico estimado fue 16% mayor en siembra temprana que en fecha de siembra tardía** (Tabla 2).

Asociado a un menor déficit hídrico en fecha de

siembra tardía, en el ambiente somero el rendimiento del cultivo de maíz resultó un 43% mayor respecto de fecha temprana (Tabla 2, 3 y Figura 2). Lo mismo ocurrió en el ambiente profundo donde la diferencia fue de 39% en favor de la fecha tardía (Tabla 2, 3 y Figura 2). Por el lado de la profundidad efectiva (promedio de ambas fechas de siembra), la evapotranspiración real del cultivo en el ambiente profundo fue 71 mm mayor al del ambiente somero. En consecuencia, el sitio profundo rindió un 17% más que el somero (Tabla 2, 3 y Figura 2). Esta diferencia entre profundo y somero es menor a la obtenida en campañas previas. Posiblemente el costo hídrico del por haber suprimido el CS a inicios de septiembre pueda explicar una parte de ese resultado.

Entonces, el déficit hídrico calculado con CROPWAT explicó gran parte de las diferencias de rendimiento entre fechas de siembra y ambientes (Rendimiento= $-24.2 * \text{Déficit} + 14452$; $r^2=0.73$ $p<0.01$). Esta ecuación presenta una respuesta

razonable a la disponibilidad hídrica y alcanzable en sistemas bajo riego, 24.2 kg mm^{-1} (Hernandez et. al. 2015). Estos valores muestran una consistencia significativa entre el déficit hídrico estimado y el rendimiento obtenido.

La eficiencia de uso del agua estimada resultó normal en fecha de siembra tardía (EUA, Tabla 2). Sin embargo, la eficiencia de uso del agua en fecha de siembra temprana resultó 43% inferior a la obtenida en fecha tardía (EUA, Tabla 2). Esta menor eficiencia de uso del agua es atribuible a daños combinados de estrés térmico e hídrico durante la etapa crítica del cultivo sembrado en fecha temprana. Condiciones que ocurrieron durante la segunda quincena de enero (figura 1). En ese momento la fecha de siembra temprana se encontraba entre floración y cuajado de granos, según longitud de ciclo. En cambio, la etapa crítica de la fecha de siembra tardía, para todas las longitudes de ciclo evaluadas, ocurrió durante la primera quincena de febrero.

Ambiente	FS	Lluvias (mm)	ETR	ETO	Deficit	Rto (2 y 4 pl m ²)	EUA
Somero	27-oct	333	367	829	462	3211	8.7
	22-nov	281	353	754	402	5614	15.9
Profundo	27-oct	333	440	829	389	4008	9.1
	22-nov	281	422	754	332	6550	15.5

Tabla 2: Lluvias (mm), evapotranspiración real (ETR, mm) evapotranspiración potencial (ETO, mm), déficit (mm), rendimiento (kg ha⁻¹) y eficiencia de uso del agua (EUA, kg mm⁻¹), COPWAT (FAO).

Fuente de Variación	p-valor		
	Rendimiento	Número de granos	Peso por grano
Modelo	<0.0001	<0.0001	<0.0001
FS	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Ambiente	<0.0001	<0.0001	0.9382
Densidad	0.013	0.0028	<0.0001
Ciclo	0.0136	0.1182	0.0002
FS*Ambiente	0.1697	0.5463	0.104
FS*Densidad	0.041	0.0716	0.0001
FS*Ciclo	0.7096	<0.0001	<0.0001
Ambiente*Densidad	0.6954	0.3295	0.0952
Ambiente*Ciclo	0.9369	0.6233	0.8218
Densidad*Ciclo	0.0455	0.0448	0.5602
FS*Ambiente*Densidad	0.9972	0.7551	0.5127
FS*Ambiente*Ciclo	0.1849	0.9659	0.242
FS*Densidad*Ciclo	0.6353	0.3045	0.0163
Ambiente*Densidad*Ciclo	0.8543	0.7053	0.7083
FS*Ambiente*Densidad*Ciclo	0.7972	0.8404	0.8386

Tabla 3: Análisis de la varianza (ANOVA) de la variable **Rendimiento, Número de granos por unidad de superficie y peso por grano.**

Rendimiento y componentes primarios

La fecha de siembra, el ambiente, la densidad de siembra y la longitud de ciclo afectaron el rendimiento en grano (Tabla 3). De las variables analizadas, según el ANOVA la **fecha de siembra** fue la variable con mayor impacto sobre el rendimiento, explicando el 47% de las variaciones del mismo. Le siguió la variable **ambiente** que explicó el 7,5% de las variaciones. Luego la **densidad** que explicó el 2,1% de las variaciones del

rendimiento y **longitud de ciclo** que explicó 2% de las mismas. Sin lugar a dudas es relevante cuantificar el efecto individual que cada variable tiene sobre el rendimiento en grano. No obstante, el impacto medido es consecuencia de las condiciones particulares de la campaña donde la fecha de siembra temprana sufrió un mayor estrés hídrico y un estrés térmico en período crítico.

Fecha de siembra temprana

Como se esperaba, el ambiente somero y la siembra temprana fue la condición de menor rendimiento (Figura 2). Hay que destacar que nada podemos hacer ante esta situación, los cambios en longitud de ciclo o de densidad no logran ventajas significativas (Figura 2). En cambio, en el ambiente profundo en fecha de siembra temprana los ciclos largos lograron destacarse en densidad media y baja (Figura 2).

Si evaluamos los componentes primarios del rendimiento (Figura 3 y 4) observamos que los ciclos corto y medio habían logrado un buen número de granos en siembra temprana. Esto fue así porque estos ciclos florecieron entre el 8 y 16 de enero cuando el estrés hídrico no era significativo. Sin embargo, una vez que el estrés hídrico y térmico se estableció en la segunda quincena de enero, el estrés afectó la etapa de

crecimiento inicial de los granos en los ciclos corto y medio. La fase de crecimiento inicial de los granos se encuentra dentro del período crítico del rendimiento y es donde se determina el peso potencial de los mismos (Jones et. al. 1985), peso que en consecuencia resultó muy bajo (Figura 4). En cambio, los ciclos largos sufrieron los efectos del estrés en forma directa sobre el número de granos (Figura 3) producto de que se encontraban en fin de floración y cuajado de flores durante la segunda quincena de enero. Finalmente, los ciclos largos con menor estrés en la fase de cesamiento inicial de los granos, en el ambiente profundo, lograron una mejora significativa del peso de los granos (pese a un bajo número de granos fijados, Figura 3) y se destacaron en rendimiento en densidades medias a bajas (Figura 2, 3 y 4).

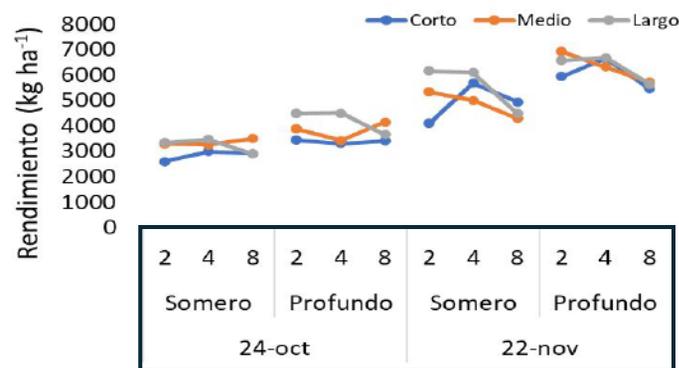


Figura 2. Rendimiento en función de ambiente, fecha de siembra, densidad y longitud de ciclo.

Fecha de siembra tardía

Las mejores condiciones en siembra tardía permitieron que el cultivo responda a las demás variables de manejo evaluadas. En primer lugar, al contrario de lo que ocurrió en siembra temprana, en siembra tardía el exceso de densidad (8pl m^{-2}) produjo una reducción del rendimiento en todos

los híbridos evaluados (Figura 3). Los ciclos medio y largo rindieron mejor en la densidad baja con un aporte significativo de los macollos (ver trabajo Ax Dx G). Y como se esperaba, el ciclo corto se destacó en el rango de densidad media (Figura 3).

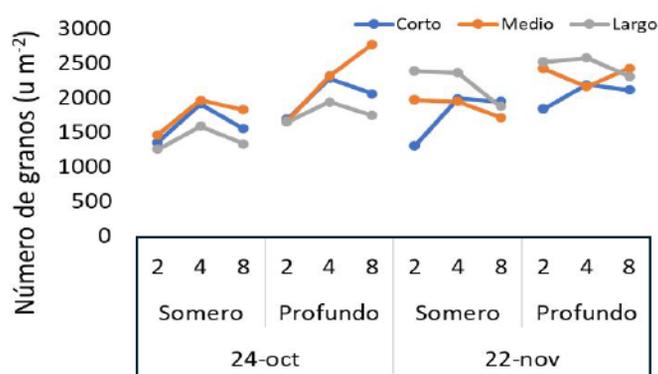


Figura 3. Número de granos en función del ambiente, fecha de siembra, densidad y longitud de ciclo.

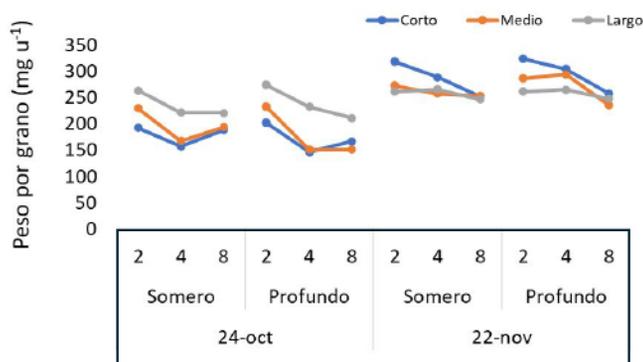


Figura 4. Peso de granos en función del ambiente, fecha de siembra, densidad y longitud de ciclo.

Consideraciones finales

El avance genético del maíz permitió incrementar el área sembrada con este cultivo en toda la región sur. Sin embargo, en este trabajo se demuestra que si exponemos el cultivo a los eventos de estrés intenso las pérdidas son sustantivas. Como se esperaba, la fecha de siembra resultó la variable de mayor peso sobre la reducción del déficit y el estrés hídrico, seguido

del ambiente o profundidad efectiva que fue significativa pero no tuvo la relevancia alcanzada en campañas previas. El déficit hídrico estimado resultó una aproximación muy buena del impacto del estrés hídrico y nos acerca una idea de la potencialidad de la región para el riego estratégico y suplementario en ambientes limitados.

Bibliografía

Hernandez et. al. 2015, Maize water use efficiency and evapotranspiration response to N supply under contrasting soil water availability. Field Crops Research 178 (2015) 8–15

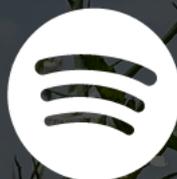
Jones et. al. 1985, Thermal environment during endosperm cell division in maize: Effects on number of endosperm cells and starch granules. Crop Science 25:830-834.



Aapresid
sistema chacras

CULTIVANDO SERVICIOS

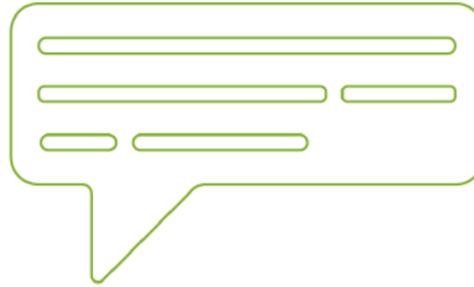
Escúchanos en



Spotify[®]



UN PODCAST DE AAPRESID



Las redes que **FORTALECEN** nuestro trabajo **JUNTOS**

SUMATE A LA COMUNIDAD AAPRESID



www.aapresid.org.ar

 **Aapresid**

