



2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA

*Evaluación de rendimiento en
maíz sembrado en baja
densidad en dos localidades de
la Provincia de Buenos Aires*

Autor: Franco Eloy Schulz

Tutor:

Dr. Claudio Pandolfo

Consejeros:

Dr. Alejandro Presotto

Dr. Matías Duval

Asesor externo:

Ing. Agr. Gustavo Thiessen

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis agradecimientos a todas aquellas personas que hicieron posible de alguna forma la realización de esta tesis.

A la Universidad Nacional del Sur por abrirme las puertas y brindarme la posibilidad de instruirme como profesional, y a mi querido Departamento de Agronomía, mi segunda casa durante todo este tiempo.

A mi tutor, Claudio Pandolfo, por su tiempo, colaboración y dedicación brindada para la realización del trabajo.

A mi tutor externo, Ing. Gustavo Thiessen, por permitirme realizar el trabajo con él, aportando todo su conocimiento y experiencia, por su ayuda desinteresada y por abrirme las puertas de su equipo desde el primer momento. Valoro mucho su confianza en un estudiante y su apoyo en todas las tareas realizadas.

A mis consejeros, Alejandro Presotto y Matías Duval, por sus consejos y predisposición.

A mis padres y a mis abuelos por su presencia, su sacrificio diario y por inculcarme la cultura del esfuerzo. Son todo para mí.

A mis hermanos por su acompañamiento y apoyo en todo momento.

A Xantía, por su paciencia y por apoyarme prácticamente toda la carrera, por sus consejos y por todo lo compartido.

A mis amigos, los que conocí en la universidad y los que ya tenía, por su compañerismo, amistad y apoyo para hacer las cosas más llevaderas. Realmente los considero mis hermanos.

Y a todos los que de alguna forma u otra me ayudaron para que pueda alcanzar mis metas.

ÍNDICE

Tabla de contenido

ÍNDICE	2
RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	5
El cultivo de maíz	5
MATERIALES Y MÉTODOS	9
Sitio experimental Tres Arroyos: Establecimiento “La Lonja”	9
Caracterización climática y edáfica	9
Establecimiento del ensayo	10
Sitio experimental Dorrego: Establecimiento “Los Abuelos”	13
Caracterización climática y edáfica	13
Establecimiento del ensayo	13
Análisis estadístico	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
Sitio experimental Tres Arroyos	16
Caracterización climática y edáfica	16
Rendimiento a alta densidad.....	19
Rendimiento a baja densidad.....	19
Diferencias entre densidades.....	21
Sitio experimental Coronel Dorrego	22
Caracterización climática y edáfica	22
Rendimiento a baja densidad.....	24
Rendimiento a ultra baja densidad	25
Diferencias entre densidades.....	26
Comparación entre ambientes	27
CONCLUSIONES	29
BIBLIOGRAFÍA	31

RESUMEN

La capacidad de compensación del rendimiento en maíz en planteos de baja densidad está ligada a la prolificidad y capacidad de macollaje que presente un híbrido determinado. La prolificidad es un carácter genético que define el número de espigas fértiles que producirá cada planta de maíz. Se definen como prolíficos a los híbridos que producen dos o más espigas fértiles sobre el tallo principal. Otra estrategia es la capacidad de macollar de cada híbrido influenciada por su genética. Ambos caracteres, a su vez, están marcadamente influenciados por el ambiente. La estrategia de usar híbridos prolíficos y macolladores ha resultado una excelente estrategia para su uso en regiones con limitaciones hídricas y edáficas permitiendo obtener rendimientos rentables en regiones como el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. En esta zona, la disponibilidad de recursos se caracteriza por ser altamente variable, tanto espacial como temporalmente. Con el objetivo de determinar el efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de maíz, específicamente sobre el híbrido “AX 7784 VT3 PRO” de la empresa Nidera, se condujo un estudio a campo en los partidos de Coronel Dorrego y Tres Arroyos durante la campaña 2020/2021. Se utilizó un diseño experimental en franjas con cuatro densidades de siembra: 14000, 25000, 28000 y 50000 semillas ha^{-1} , en Coronel Dorrego se implantaron las densidades ultra baja (14.000 semillas ha^{-1}) y baja (28.000 semillas ha^{-1}) mientras que en Tres Arroyos se implantaron las restantes dos (baja: 25000 semillas ha^{-1} y alta: 50.000 semillas ha^{-1}). En cada sitio se realizó un análisis estadístico descriptivo de los distintos híbridos, debido a la ausencia de repeticiones. Se calculó la media, el desvío estándar y el error estándar de la muestra, mediante el software estadístico Infostat. Si bien se encontraron diferencias significativas en los rendimientos medios de Coronel Dorrego a baja y ultra baja densidad, se observó que el comportamiento de los híbridos fue muy similar en ambas situaciones. En el caso de Tres Arroyos, se observó que los rendimientos fueron superiores para la densidad alta en comparación con la densidad baja. En general, los rendimientos a alta densidad superaron a los de baja densidad en 2000 $kg ha^{-1}$ o más en este

sitio, excepto en el híbrido en observación, el “AX 7784” de Nidera, y el “AX 7761” también de Nidera, donde esa tendencia se revirtió.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz

El maíz (*Zea mays* L.), originario de América, es uno de los cultivos más antiguos de la humanidad y representa uno de los aportes más valiosos a la seguridad alimentaria mundial. Junto con el arroz (*Oryza sativa* L.) y el trigo (*Triticum aestivum* L.), son las tres gramíneas más cultivadas en el mundo (FAO, 2018). Actualmente, el cultivo de maíz ocupa el primer lugar en la producción mundial de granos, con más de 1100 millones de toneladas producidas en 196 millones de hectáreas, y Argentina ocupa el cuarto lugar a nivel mundial, con cerca de 50 millones de toneladas y es el tercer país exportador, detrás de Estados Unidos y Brasil (USDA, 2020).

El rendimiento en grano del cultivo de maíz fue aumentando continuamente desde la introducción de los híbridos, a mediados de 1950, primero en los Estados Unidos y luego en el resto del mundo. En la Argentina se pasó de un rendimiento medio de 3200 kg ha⁻¹ en 1980 a 7500 kg ha⁻¹ en las últimas campañas (MAGyP, 2020; MAIZAR, 2020). Argentina participa en un 3% de la producción mundial, exportando cerca del 65 % de lo producido, y destina al mercado interno la diferencia (MAGyP, 2020). Del volumen total para el consumo interno, más de un 80% se destina a la alimentación animal bajo las formas de balanceados, silaje de maíz, derivados de la molienda o directamente grano entero, partido y/o molido, siendo el consumo en chacra y la molienda en su conjunto los principales demandantes del maíz producido (MAIZAR, 2020).

La brecha entre los rendimientos obtenidos y los potenciales está explicada en gran parte por deficiencias hídricas. La ocurrencia de sequías de diferente magnitud, intensidad y momento de ocurrencia es la causa principal de la variabilidad interanual de los rendimientos de cultivos de secano en la región pampeana argentina (Eyhérbide, 2015).

Evitar la coincidencia de la floración con los momentos de máxima demanda atmosférica resulta una estrategia de escape al estrés para disminuir los efectos negativos de una sequía. Para ello, el manejo de la fecha de siembra y del ciclo

del cultivar son las herramientas más importantes (Eyhérabide, 2015). En zonas de clima templado, los niveles de radiación, los registros térmicos y el largo del día varían marcadamente durante el año. La modificación de la fecha de siembra del cultivo en estas zonas altera la combinación de dichas variables ambientales a lo largo de toda su estación de crecimiento. Tales factores tienen una marcada influencia sobre el desarrollo y crecimiento del cultivo y sobre su rendimiento (Cirilo, 2000).

El manejo de la densidad de plantas es una de las herramientas más efectivas para obtener canopeos de cultivo eficientes en la captura de la radiación solar. Cuando el área foliar desplegada por el cultivo le permite capturar el 95 % de la luz incidente recién entonces es capaz de alcanzar su máxima tasa de crecimiento. Alcanzar dicha cobertura al inicio del período crítico y mantenerla durante el mayor tiempo posible son los objetivos buscados con el manejo de la densidad (Andrade *et al.*, 1996).

El maíz tiene una capacidad limitada para compensar una baja densidad de plantas a través de mayor superficie de sus hojas, a diferencia de especies con mayor plasticidad fenotípica como el girasol, la soja o el trigo. En consecuencia, las bajas densidades en maíz afectan significativamente la captura de luz y, en definitiva, el crecimiento del cultivo. Además, tiene una escasa plasticidad reproductiva en baja densidad, dado que presenta baja capacidad de diferenciar estructuras reproductivas adicionales. Esto implica que el número de granos por espiga fijados en bajas densidades es muy similar al obtenido en altas densidades (Vega y Andrade, 2000; Andrade *et al.*, 2000).

La capacidad de compensación de rendimiento en situaciones de baja densidad está ligada a la prolificidad que presente el híbrido. La prolificidad es un carácter genético que define el número de espigas fértiles que producirá cada planta de maíz. Se definen como prolíficos a los híbridos que producen dos o más espigas fértiles sobre el tallo principal. La estrategia de usar híbridos prolíficos ha resultado en una excelente estrategia para reducir las limitaciones mencionadas, y obtener rendimientos rentables en zonas con limitaciones hídricas, como el sudoeste de la

provincia de Buenos Aires. En esta zona, la disponibilidad de recursos se caracteriza por ser altamente variable, tanto espacial como temporalmente. Este comportamiento se encuentra relacionado con la distribución estacional de las precipitaciones, su variación interanual y aspectos del suelo que condicionan el movimiento y almacenamiento del agua.

Desde la campaña 2012/2013, el maíz en baja densidad pasó a ser un actor importante en las rotaciones de los productores del sudoeste. Es el cultivo de verano con mayor evolución de los últimos años y hoy ocupa el 50% de la superficie destinada a cultivos de gruesa en esa región. En esta zona, las lluvias de primavera/verano son muy variables (400 mm a 730 mm) y con los mayores problemas de distribución concentrados en verano (160 mm a 430 mm), con días de muy baja humedad relativa, viento y altas temperaturas. A esto se suma que muchas veces los suelos son someros (40-60 cm de profundidad) o de texturas gruesas (franco arenosos), con baja capacidad de retención de agua. En ese contexto, un grupo de productores y asesores desarrolló una serie de estrategias, que incluyen siembras en bajas densidades (15.000 a 28.000 pl.ha⁻¹), fechas de siembras tardías (mediados de noviembre a inicios de diciembre) y fertilizaciones con nitrógeno (N) a la siembra que permitan incorporar el nutriente desde el arranque y evitar volatilización en aplicaciones de verano (AAPRESID, 2020). En un relevamiento a nivel zonal, Rotili *et al.* (2019) observaron un atraso general medio de un mes en la siembra de maíz y una reducción del 50 % en la densidad de siembra (70.000 a 40.000 pl ha⁻¹), lo que permitió una expansión de 5 veces el área del cultivo en la región, con rendimientos más estables que en siembras tempranas y cercanos a los 7500 kg ha⁻¹.

Trabajos previos han evaluado diferentes densidades de siembra y han propuesto rangos óptimos según la zona, la disponibilidad hídrica o la fecha de siembra. Por ejemplo, en la zona de Coronel Suarez y para un cultivo en seco, Heintz (2017) propuso que la densidad de siembra para máximo rendimiento es de 42.000 pl ha⁻¹ para un híbrido prolífico y 65.000 pl ha⁻¹ para uno no prolífico. Heiland (2019), en cambio, para el mismo partido, observó que la densidad más baja (30.000 semillas ha⁻¹) fue la más prolífica, pero no permitió alcanzar el rendimiento potencial, que

se obtuvo con las otras densidades evaluadas (40, 60 y 80.000 semillas ha^{-1} , sin diferencias significativas entre ellas).

Bajo este escenario, resulta necesario disponer de más información para conocer las densidades de cultivo que mejor se ajustan a cada ambiente en esta zona limitante. Incluso evaluando densidades extremadamente bajas (≤ 20.000 semillas ha^{-1}), para determinar si los híbridos se pueden adaptar a esas condiciones. Así, se podrá tomar una mejor decisión para optimizar el uso de los recursos por unidad de superficie y maximizar el beneficio económico de la empresa agropecuaria. En el presente trabajo, se evaluarán bajas y ultra bajas densidades de maíz en la zona de Coronel Dorrego y Tres Arroyos, para evaluar su comportamiento y el potencial de rendimiento de diferentes híbridos de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña 2020/2021 se realizaron ensayos para evaluar la respuesta del cultivo de maíz a la siembra en baja densidad. Los sitios experimentales se ubicaron en el Establecimiento “La Lonja” (Figura 1) ubicado en Lin Calel, partido de Tres Arroyos, a 1 km de la Ruta Provincial N° 73 y a 42 km de la localidad de Tres Arroyos; y en el establecimiento “Los Abuelos” ubicado en Aparicio, partido de Coronel Dorrego, a 1 km de la Ruta Nacional N°3 y a 30 km de la localidad de Coronel Dorrego.

Sitio experimental Tres Arroyos: Establecimiento “La Lonja”

Caracterización climática y edáfica

En la región de Lin Calel, partido de Tres Arroyos, la temperatura media anual es de 15,2 °C. Enero es el mes más cálido con una temperatura media de 22,8 °C, mientras que julio es el mes más frío con una temperatura media de 8,3 °C. La fecha media de primera helada agronómica es el 30/03 en tanto que la fecha media de la última helada agronómica es el 16/11, siendo el período libre de heladas de 133 días. La precipitación media anual es 756 mm. En el 50 % de los años, las lluvias oscilan entre 632,1 y 879,6 mm año⁻¹. Las lluvias se concentran en los meses de noviembre, diciembre y marzo, siendo los meses invernales (junio, julio y agosto) los menos lluviosos (Cantamutto et al., 2016).

Durante el ensayo se midió temperatura, NDVI, precipitaciones y balance hídrico (precipitación - evapotranspiración) utilizando los datos de una estación meteorológica arable (Arable Labs, Mark 2), colocada en el sitio experimental desde el día de la siembra. Además, se realizó un análisis de suelos para caracterizar las propiedades edáficas del sitio. Se midió profundidad efectiva, pH, nitratos (N-NO₃), fósforo (P-bray) y micronutrientes (Zn y S-SO₄). La toma de muestras se realizó al azar, de 0 a 25 cm y de 25 a 50 cm, mediante un barreno, y luego fueron enviadas para su análisis en el Laboratorio Suelo Fertil S.A., de Tres Arroyos.



Figura 1. Vista del sitio experimental en el establecimiento “La Lonja”

Establecimiento del ensayo

El ensayo se llevó a cabo mediante sistema de labranza convencional. La preparación del terreno se realizó mediante dos pasadas de rastra. El cultivo antecesor fue un girasol. La siembra se realizó de forma manual con sembradora golpe a golpe o “escopeta” los días 2 y 3 de octubre de 2020, en surcos a 70 centímetros de distancia entre ellos. Junto a la siembra se aplicaron 150 kg ha^{-1} de fosfato monoamónico al voleo.

Se sembraron 28 cultivares de diferentes criaderos de maíz (Tabla 1). Entre estos cultivares, se analizó detalladamente el híbrido “AX 7784” de la empresa “Nidera”. Este cultivar se caracteriza por su propensión al macollaje cuando es sembrado a baja densidad, es un híbrido de amplia adaptación a distintos tipos de ambientes y de alta versatilidad en distintas fechas de siembra. A su vez, es muy estable ante variaciones de densidad. El híbrido es resistente a glifosato y controla lepidópteros si estos ingresan a la espiga. En cuanto al control de malezas, se aplicó en pre emergencia $1,5 \text{ kg}$ de atrazina (Atrazina 90) + 100 mL de picloram (Tordon 24K), y luego se complementó con 2 aplicaciones de glifosato: una con mosquito y una con mochila.

Las densidades de siembra utilizadas fueron dos: 25.000 (baja) y 50.000 (alta) pl ha⁻¹. Se sembraron 8 surcos de 40 metros de largo por cada híbrido.

Tabla 1. Híbridos utilizados para el ensayo de rendimiento a distintas densidades, en Tres Arroyos y Dorrego.

Híbrido	Criadero	Ensayo
ACA 476	ACA	Ambos
ACA 481	ACA	Ambos
Brevant 22,6	Brevant Semillas	Ambos
Brevant 8380	Brevant Semillas	Ambos
Dk 6910	Dekalb	Ambos
Dk 7220	Dekalb	Ambos
Dk 7270	Dekalb	Ambos
Dk 7330	Dekalb	Ambos
Dk 7227	Dekalb	Ambos
Don Mario 2738	Don Mario	Ambos
Illinois 799	Illinois	Ambos
LG 30680	Limagrain	Ambos
LG 6620	Limagrain	Ambos
Los Grobo 1923	Los Grobo	Ambos
Nidera 7784	Nidera	Ambos
Nidera 7818	Nidera	Ambos
Nidera 7921	Nidera	Ambos
Nidera7761	Nidera	Ambos
Pionner 0622	Pionner	Ambos
Pionner 2167	Pionner	Ambos
Stine 9734	Stine Semillas	Ambos
Stine 9739	Stine Semillas	Ambos
Stine 9820	Stine Semillas	Ambos
Syngenta 840	Syngenta	Ambos
Syngenta 875	Syngenta	Ambos
Syngenta 885	Syngenta	Ambos
Tijereta 721	La Tijereta	Ambos
AG 7004 MGR	AGseed	Dorrego
MS 7123 Pw	Macroseed	Tres Arroyos

La cosecha de las muestras se realizó los días 29 y 30 de abril del 2021. En cada densidad se cosecharon todas las espigas en 10 metros lineales de los dos surcos centrales, para evitar efecto borde, colocando en bolsas por separado las espigas correspondientes al tallo principal de los de los macollos y prolíficos en caso que hubiera (Figura 2).



Figura 2. Espigas recolectadas a la cosecha del ensayo. La primer fila corresponde a espigas del tallo principal, la segunda fila a las espigas secundarias del tallo principal y la tercer fila a las aportadas por macollos.

Luego de la toma de muestras, se desgranaron las espigas con desgranadora a motor, se pesó la muestra y se midió humedad mediante higrómetro. Los valores de rendimiento fueron posteriormente corregidos por humedad y se restó un 10 % para tener en cuenta errores y pérdidas de cosecha y que el valor obtenido se asemeje al real a campo.

Sitio experimental Dorrego: Establecimiento “Los Abuelos”

Caracterización climática y edáfica

En la región de Aparicio, partido de Coronel Dorrego, el clima es templado, subhúmedo a semiárido, con marcada influencia marina (Rosetti, 2016). La temperatura media anual es de 14 °C (Campo et al., 2009). La temperatura media del mes más caluroso (enero) es de 20,3 °C y de 7,0 °C para el mes más frío (julio). El promedio anual de precipitaciones disminuye de sentido este-sudoeste, desde los 665 mm en la zona de Faro hasta los 550 mm en las proximidades de San Román, siendo los meses húmedos los de primavera y otoño. El período libre de heladas es de 200 días, con heladas desde el mes de mayo al mes de octubre (Cantamutto et al., 2016).

Durante el ensayo, se tomaron las mismas variables climáticas y edáficas que en el sitio Tres Arroyos.

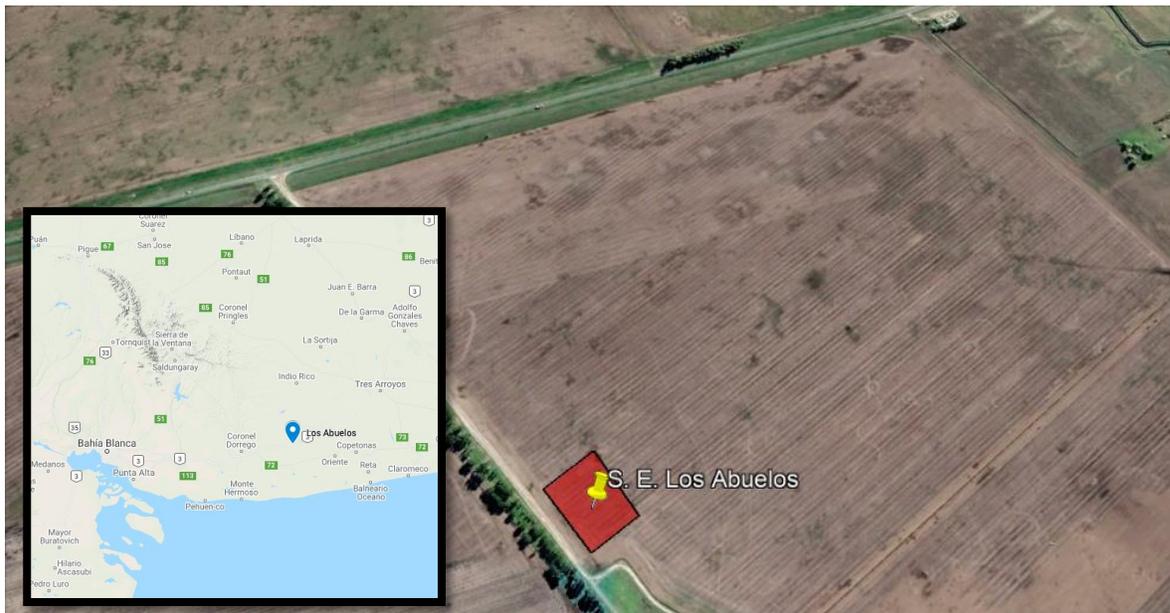


Figura 3. Vista del sitio experimental en el establecimiento “Los Abuelos”

Establecimiento del ensayo

El ensayo se llevó a cabo mediante sistema de labranza mínima. La preparación del terreno se realizó mediante dos pasadas de arado subsolador tipo “pie de

pato”. El cultivo antecesor fue trigo candeal. La siembra se realizó de forma manual con sembradora golpe a golpe o “escopeta” los días 3 y 4 de diciembre de 2020, en surcos a 70 centímetros de distancia entre ellos. Al momento de la siembra se aplicaron 100 kg ha⁻¹ de urea y, en V2, se aplicaron 90 litros de SOLMIX. Se utilizaron los mismos 28 cultivares que en el sitio Tres Arroyos, excepto uno (Tabla 1). Para el control de malezas se realizaron 2 aplicaciones de glifosato: una con mochila, y una con mosquito en mezcla con adengo.

Las densidades de siembra utilizadas fueron dos: 14.000 (ultra baja) y 28.000 (baja) pl ha⁻¹. Se sembraron 8 surcos de 40 metros de largo por cada densidad.

La cosecha de las espigas se realizó los días 17 y 18 de junio de 2021, siguiendo el mismo procedimiento descrito para el sitio experimental del establecimiento “La Lonja” (Figura 4).



Figura 4. Desgranadora utilizada en ambos sitios experimentales para la obtención de la muestra final.

Análisis estadístico

En cada sitio se realizó un análisis estadístico descriptivo de las muestras de los distintos híbridos, debido a la ausencia de repeticiones. Se obtuvo la media, el desvío estándar y el error estándar de la muestra, mediante el software estadístico Infostat.

Con el objeto de comparar ambientes y densidades de siembra, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), utilizando como repeticiones los valores de rendimiento de cada híbrido (excepto aquellos que no se repetían entre localidades). Las diferencias entre medias fueron comparadas mediante el test Tukey, utilizando también el software estadístico Infostat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sitio experimental Tres Arroyos

Caracterización climática y edáfica

Se registraron las temperaturas medias y las precipitaciones acumuladas (línea roja) desde la siembra hasta la cosecha (Figura 5 y 6). Durante dicho período se registraron 453 mm, las barras azules indicaron la distribución semanal de las precipitaciones.

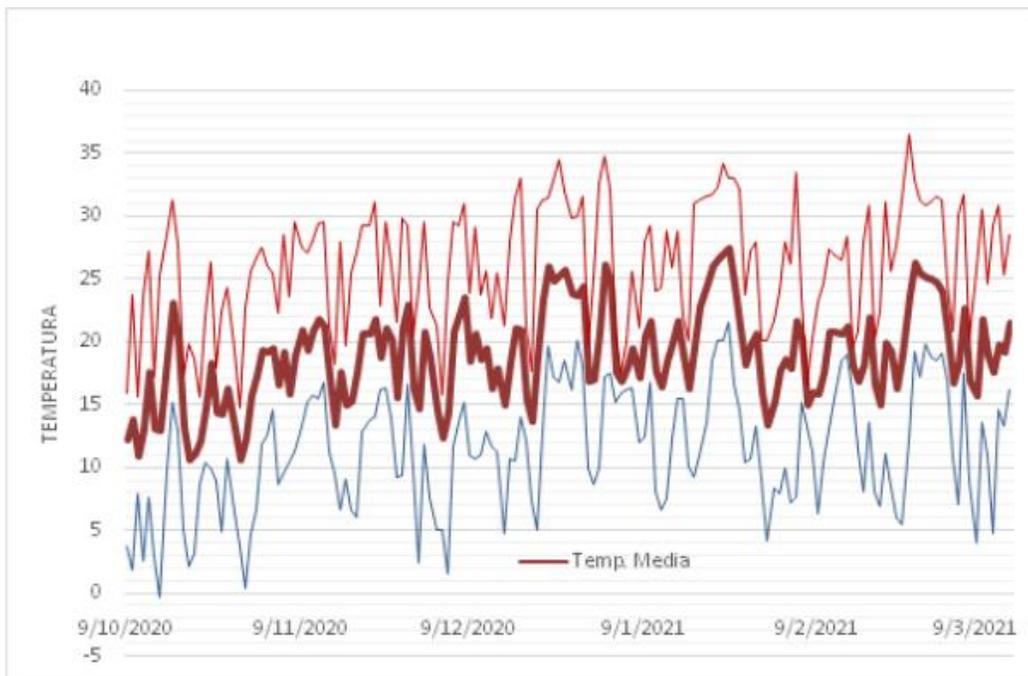


Figura 5. Temperaturas máximas (línea roja), medias (línea borgo, remarcada) y mínimas (línea azul) registradas en el sitio experimental del establecimiento “La Lonja” durante el ciclo del cultivo.

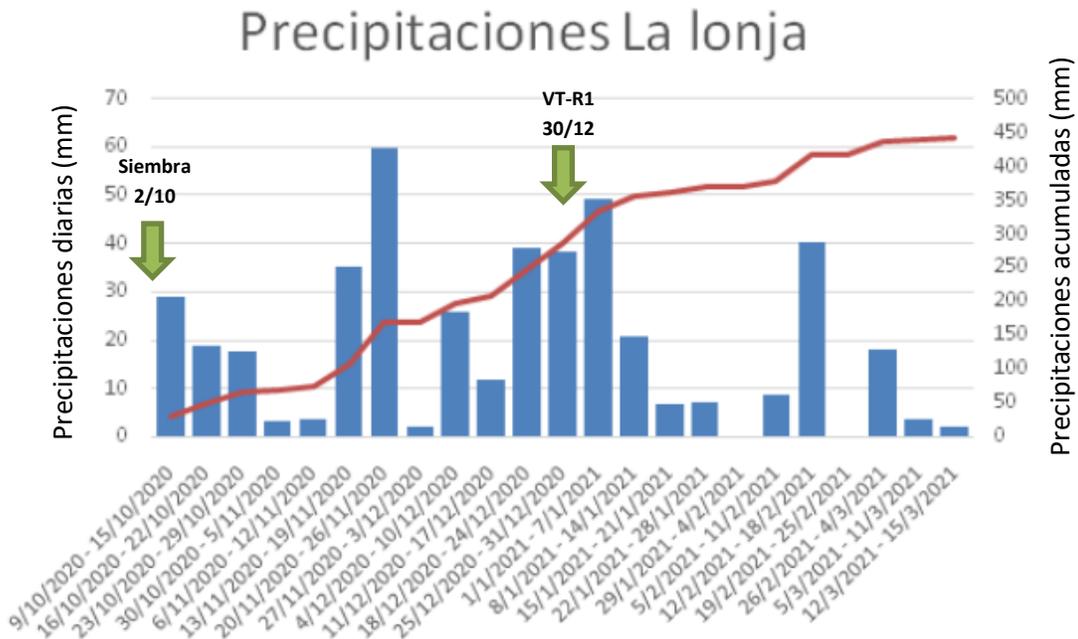


Figura 6. Precipitaciones acumuladas en establecimiento “La Lonja” desde la siembra del ensayo hasta la cosecha.

Comparando los datos registrados por la estación meteorológica con los históricos, se observó que el cultivo se implantó bien (plantas observadas/esperadas), debido a las precipitaciones cercanas a la siembra, y que durante el período crítico no estuvo expuesto a estrés ambiental. Esto no se debió solamente a las precipitaciones existentes durante el ciclo, sino que la profundidad del suelo y la posibilidad de las raíces de encontrar napa existente permitieron que la elevada cantidad de precipitaciones que se registraron en el mes de noviembre fueran almacenadas en el suelo y de esta manera estuvieron disponibles para el cultivo en momentos de escasez de precipitaciones, como en el mes de enero (Figura 7).

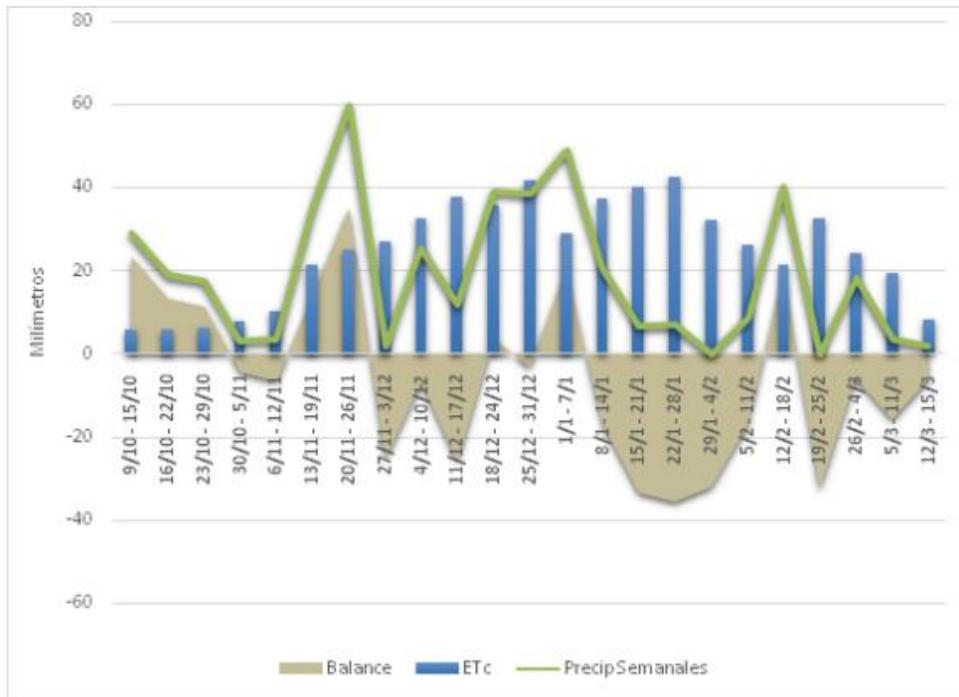


Figura 7. Balance hídrico del cultivo desde la siembra hasta la cosecha en el establecimiento “La Lonja”. La línea verde se corresponde a las precipitaciones semanales, las barras azules corresponden a la evapotranspiración del cultivo y el área pintada de marrón claro corresponde a la diferencia entre las precipitaciones y la evapotranspiración.

En el sitio experimental del establecimiento “La Lonja”, la profundidad efectiva del lote fue de 1,5 metros o más, con influencia de napa. En cuanto a la disponibilidad inicial de nutrientes, en los primeros 25 centímetros de profundidad el nivel de nitratos (N-NO₃) fue de 7,7 mg kg⁻¹, mientras que entre los 25 y 50 centímetros de profundidad fue de 4,4 mg kg⁻¹, correspondiéndose con valores bajos de nitrógeno inicial. El fósforo extraíble (P- bray) dio como resultado 19,7 mg kg⁻¹, resultando un buen valor de fósforo inicial. El análisis de zinc resultó en 2,6 mg kg⁻¹, siendo un valor elevado para dicho nutriente. El azufre de sulfatos (S-SO₄) medido fue de 9,6 mg kg⁻¹, resultando un valor bajo para este nutriente. El pH del suelo fue neutro (6,5) (Echevarría et al., 2014).

Rendimiento a alta densidad

Una vez cosechadas las espigas, se procedió a estimar el rendimiento por hectárea, luego de realizar las correcciones correspondientes por pérdidas de cosecha y humedad de cosecha.

El rendimiento promedio de todos los híbridos para 50.000 plantas ha⁻¹ fue de 10220 kg ha⁻¹ (Figura 8). El desvío estándar de la muestra fue de 1104,7 kg ha⁻¹. El híbrido “AX 7784” se encontró dentro de la franja media de valores de rendimiento, ya que los 9206 kg ha⁻¹ que produjo se encuentran a menos de un desvío estándar de la media.

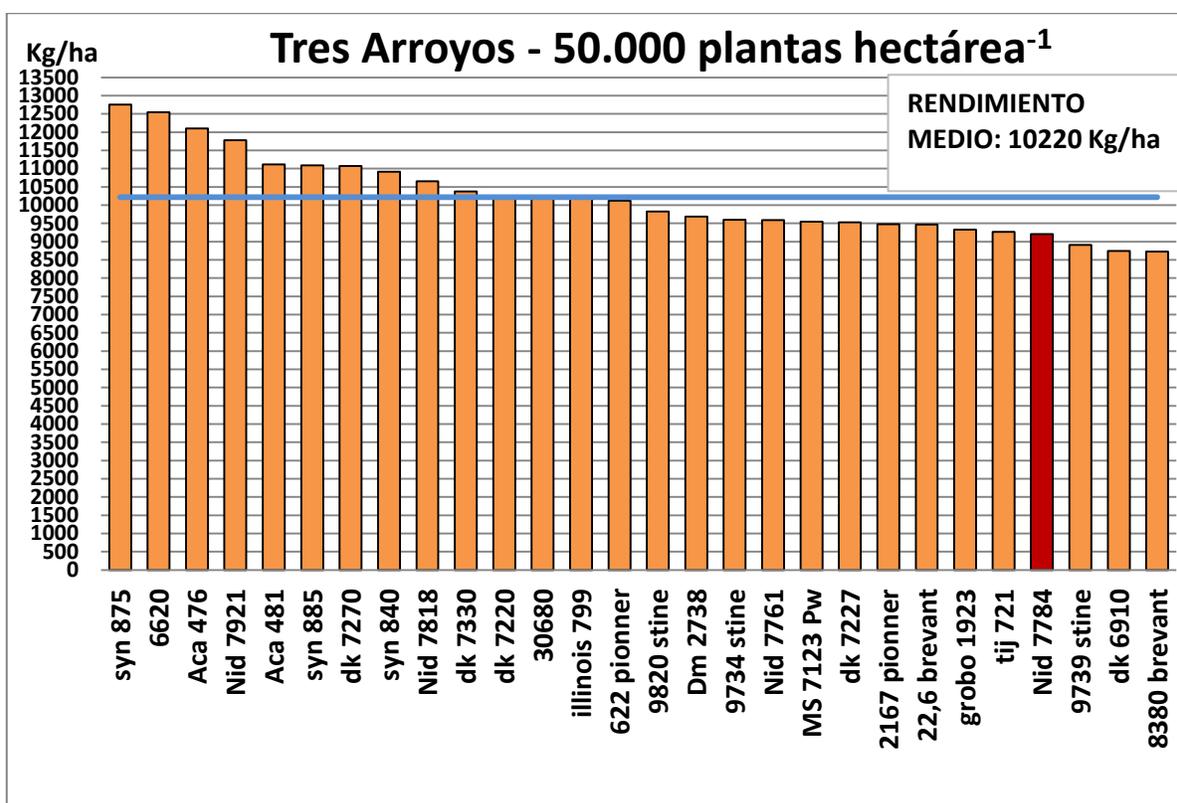


Figura 8: Rendimiento obtenido en alta densidad (50.000 plantas ha⁻¹) por híbrido en el sitio experimental del establecimiento “La Lonja”. La línea azul demarca el rendimiento medio de todos los cultivares. En rojo se observa el rendimiento correspondiente del híbrido “AX 7784” de Nidera.

Rendimiento a baja densidad

El rendimiento promedio de todos los híbridos para 25.000 plantas ha^{-1} fue de 7647 kg ha^{-1} (Figura 9). El desvío estándar de la muestra fue de 1357,3 kg ha^{-1} . El híbrido “AX 7784” tuvo mejor comportamiento que la mayoría de los híbridos, presentando un rendimiento de 10133 kg ha^{-1} , superior en más de un desvío de distancia de la media. Esto se pudo deber a que el híbrido posee una gran capacidad de producir macollos potencialmente fértiles, y la baja densidad permitió la expresión de dicha característica genética al ofrecer mayores recursos por unidad de superficie, en comparación con la alta densidad. Las plantas de maíz en general priorizan el desarrollo de la espiga primaria sobre la espiga secundaria y los macollos (López Santillán et al., 2004), esto podría explicar en parte por qué en la densidad más alta el híbrido “AX 7784” tuvo un rendimiento menor en alta que en baja densidad, ya que el crecimiento de los macollos fue afectado por la menor disponibilidad de recursos priorizados sobre la espiga principal (Tabla 2).

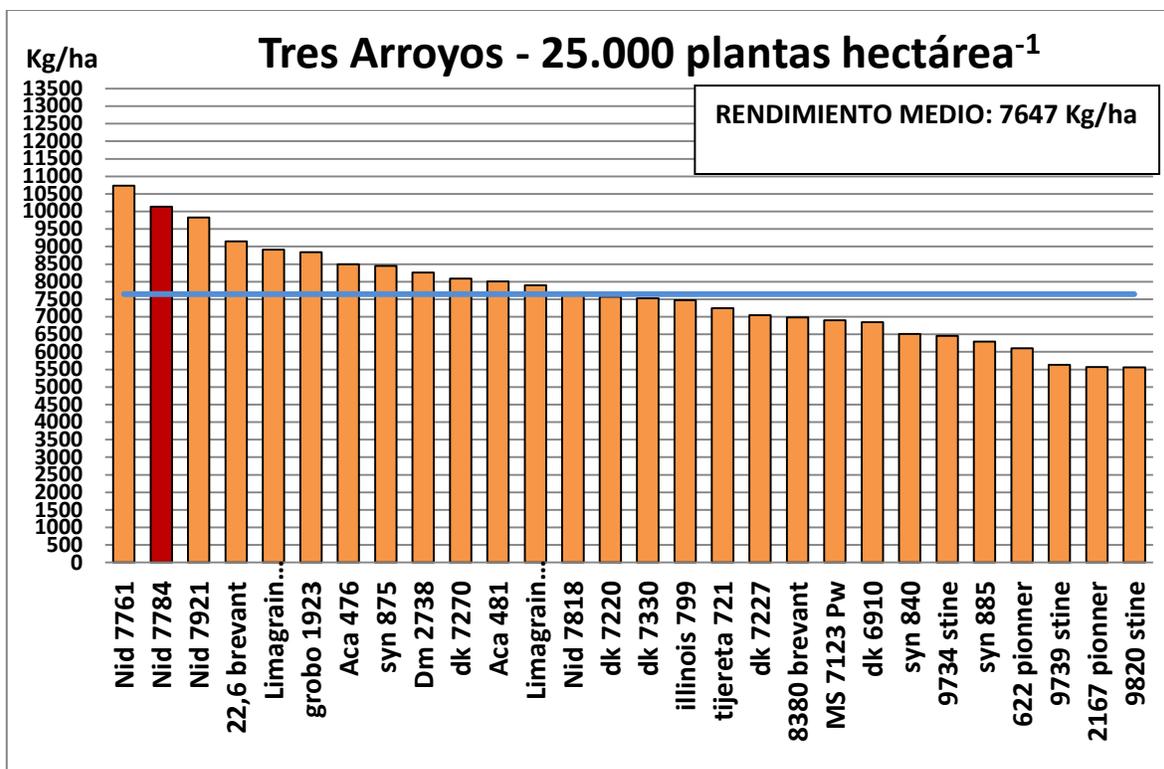


Figura 9. Rendimiento obtenido en baja densidad (25.000 plantas ha⁻¹) por híbrido en el sitio experimental del establecimiento “La Lonja”. La línea azul demarca el rendimiento medio de todos los cultivares. En rojo se observa el rendimiento correspondiente del híbrido “AX 7784” de Nidera.

Tabla 2. Porcentaje de aporte al rendimiento del híbrido “AX 7784” de la espiga principal, espiga secundaria y de los macollos en baja densidad.

	plantas	Pl. con 2da espiga	Macollos por planta	% 1ra Espiga	% 2da espiga	% aporte macollo
Nidera 7784	25	0,0	1,7	45,8	0,0	54,2

Diferencias entre densidades

Se observaron diferencias altamente significativas entre las dos densidades mediante ANOVA (F=56,8, p<0,0001), obteniéndose mayores rendimientos con alta densidad (10245,0 kg ha⁻¹) que a baja densidad (7674,8 kg ha⁻¹).

Sitio experimental Coronel Dorrego

Caracterización climática y edáfica

Se registraron las temperaturas medias y precipitaciones acumuladas (línea roja) desde la siembra hasta cosecha (Figura 10 y 11). La precipitación acumulada desde siembra a cosecha fue de 228 mm, las barras azules indicaron la distribución semanal de las precipitaciones. Enero resultó un mes extremadamente seco durante la campaña, el total de precipitaciones del mes fue menor a los 40 milímetros, siendo su media histórica superior a 60 milímetros.

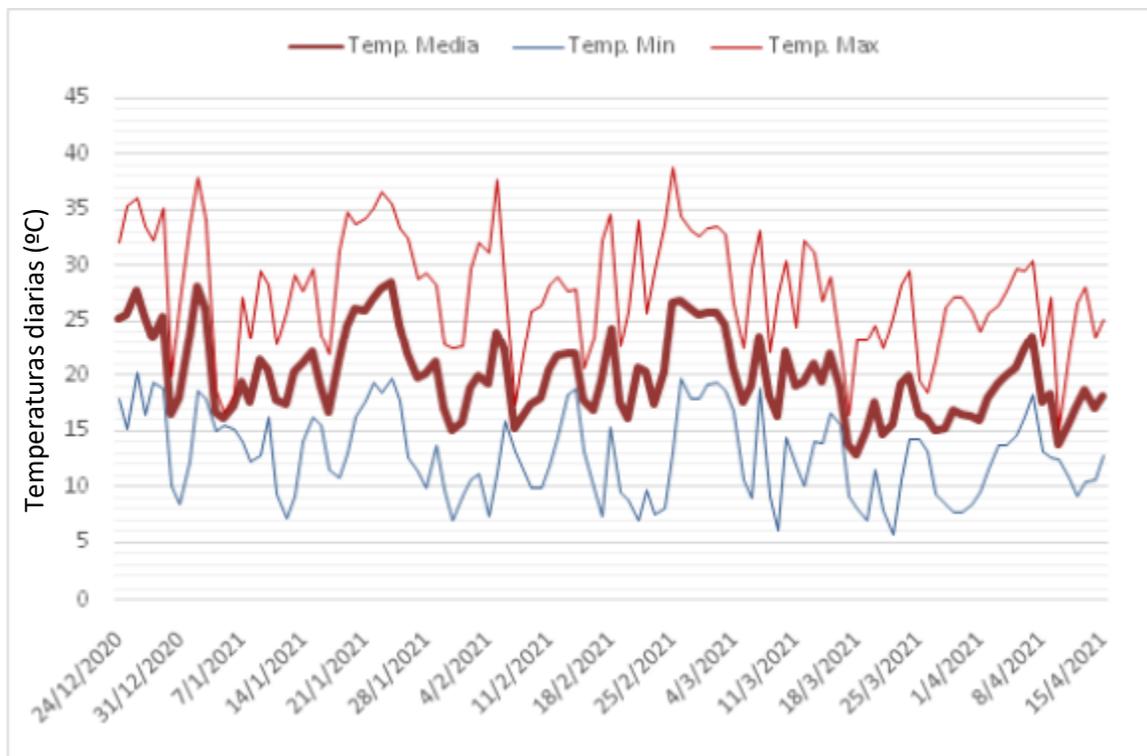


Figura 10. Temperaturas máximas (línea roja), medias (línea bordó, remarcada) y mínimas (línea azul) registradas en el sitio experimental del establecimiento “Los Abuelos” durante el desarrollo del cultivo.

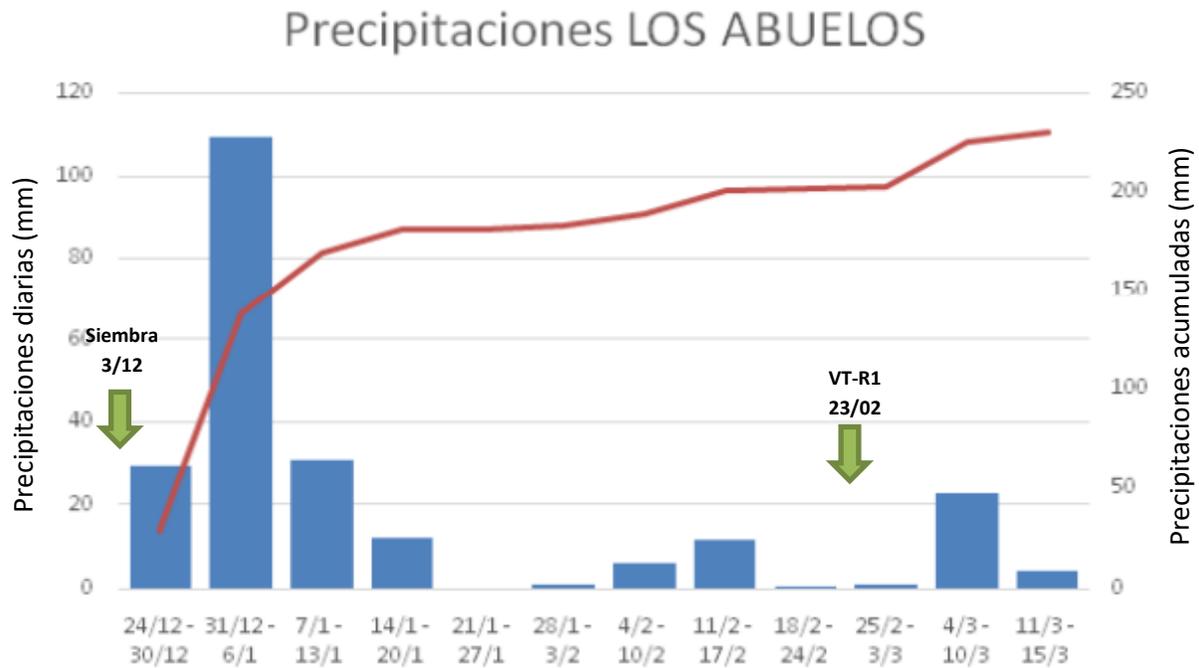


Figura 11. Precipitaciones acumuladas en establecimiento “Los Abuelos”. La línea roja indica el milimetraje acumulado total, las barras indican el milimetraje semanal.

Comparando los datos registrados por la estación meteorológica y los históricos, se observó que el cultivo se implantó bien debido a las buenas lluvias de diciembre, sin embargo, durante el período crítico, estuvo expuesto a un severo estrés ambiental. Esto no se debió solamente a las escasas precipitaciones existentes durante el ciclo, sino también a la profundidad somera del suelo (40-45 cm) que impidió almacenar las precipitaciones excesivas registradas en el mes de diciembre para su utilización en momentos de escasez de precipitaciones, como todo el resto del ciclo. El déficit de precipitaciones durante casi todo el ciclo del cultivo afectó directamente la capacidad potencial productiva de los híbridos en el sitio experimental en forma severa (Figura 12).

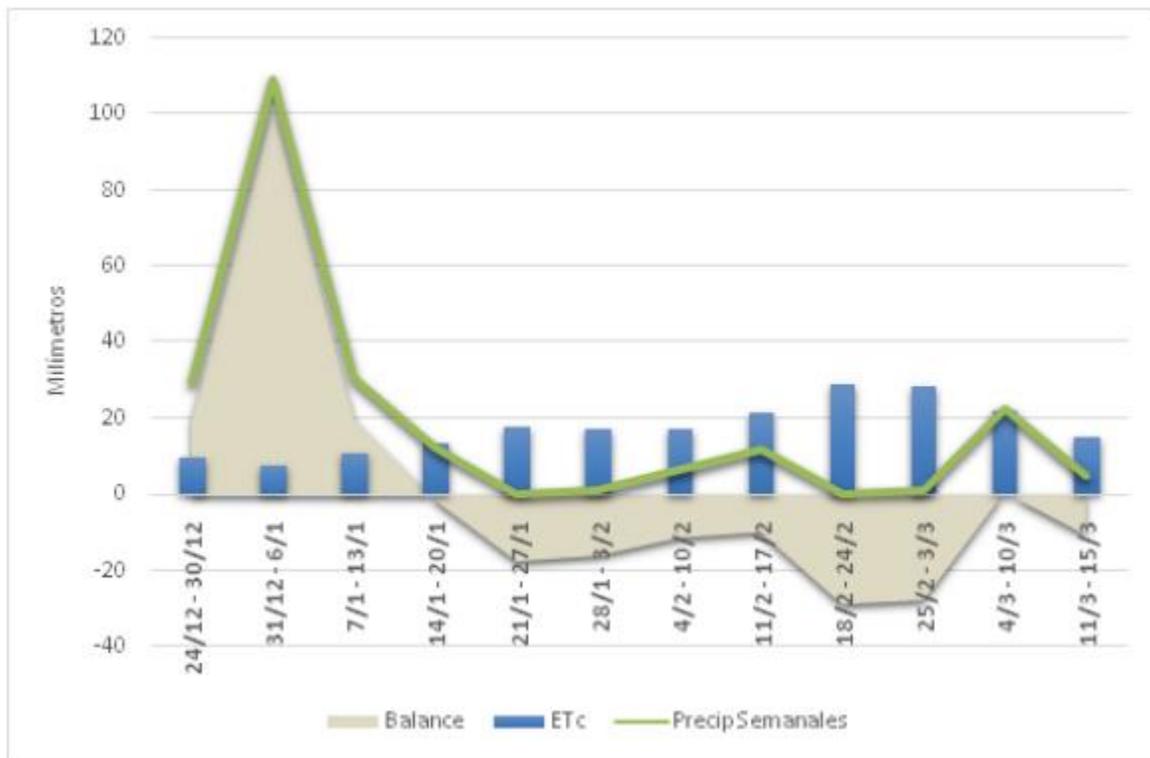


Figura 12. Balance hídrico del cultivo desde la siembra hasta madurez fisiológica en el establecimiento “Los Abuelos”. La línea verde se corresponde a las precipitaciones semanales, las barras azules corresponden a la evapotranspiración del cultivo y el área pintada de marrón claro corresponde a la diferencia entre las precipitaciones y la evapotranspiración.

En el sitio experimental del establecimiento “Los Abuelos”, la profundidad efectiva del lote fue variable, entre 40 y 45 centímetros. Los niveles iniciales de nutrientes arrojaron los siguientes resultados: en 0-30 centímetros de profundidad el nivel de nitratos (N-NO₃) fue de 32,1 mg kg⁻¹, siendo un valor elevado de nitrógeno inicial. El fósforo extraíble (P- bray) dio como resultado 19,7 mg kg⁻¹, resultando un buen valor de fósforo inicial. El análisis de zinc resultó en 0,69 mg kg⁻¹, siendo un valor bajo para dicho nutriente. El azufre de sulfatos (S-SO₄) medido fue de 12,8 mg kg⁻¹, resultando un valor medio para este nutriente. El pH del suelo es neutro (6,2).

Rendimiento a baja densidad

Una vez cosechadas las espigas, se procedió a estimar el rendimiento por hectárea, luego de realizar las correcciones correspondientes por pérdidas de cosecha y humedad de cosecha.

El rendimiento promedio de todos los híbridos para 28.000 plantas ha⁻¹ fue de 2191 kg ha⁻¹ (Figura 13). El desvío estándar de la muestra fue de 725,0 kg ha⁻¹. El híbrido “AX 7784” tuvo mejor performance que la mayoría de los híbridos, presentando un rendimiento de 3220 kg ha⁻¹, que se mostró superior en más de un desvío de distancia de la media. El rendimiento superior del híbrido puede explicarse en base a que la alta disponibilidad de nutrientes por unidad de área en la baja densidad pudo incentivar la producción de macollos propia del híbrido, y aunque las espigas producidas por los mismos fueron de mucho menor tamaño que en el sitio experimental “La Lonja” debido a la situación de extremo estrés a la que estuvo expuesto el híbrido, dichas espigas permitieron compensar el menor tamaño y peso de los granos de la espiga principal. Los híbridos sin esta capacidad intrínseca de macollaje fueron notablemente más afectados por la sequía.

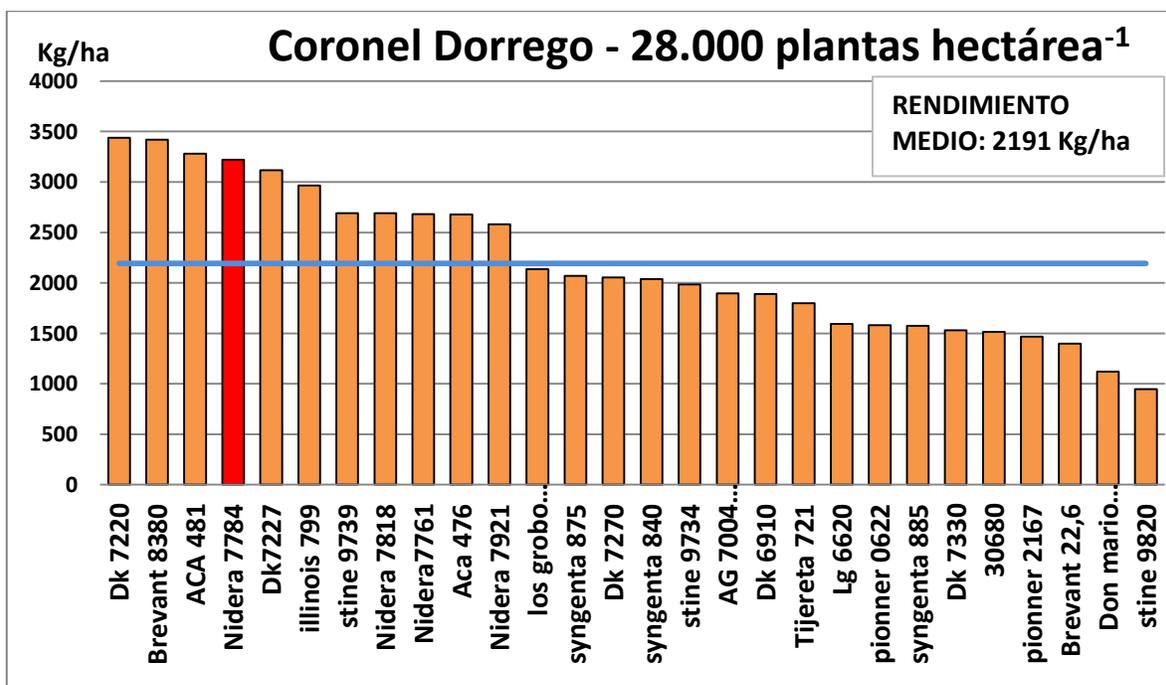


Figura 13. Rendimiento obtenido en baja densidad (28.000 plantas ha⁻¹) por híbrido en el sitio experimental del establecimiento “Los Abuelos”. La línea azul demarca el rendimiento medio de todos los cultivares. En rojo se observa el rendimiento correspondiente del híbrido “AX 7784” de Nidera.

Rendimiento a ultra baja densidad

El rendimiento promedio de todos los híbridos para 14.000 plantas ha⁻¹ fue de 2718 kg ha⁻¹ (Figura 14). El desvío estándar de la muestra fue de 642,0 kg ha⁻¹. El híbrido “AX 7784” tuvo mejor performance que la mayoría de los híbridos, presentando un rendimiento de 3602 kg ha⁻¹, que se mostró superior en más de un desvío de distancia a la media. El híbrido presentó un rendimiento superior comparado con la densidad más alta (28.000 plantas ha⁻¹), posiblemente debido a una mayor disponibilidad de agua por planta. A su vez, con bajas densidades al haber menor competencia entre plantas, habría mayor disponibilidad de nutrientes por individuo que se traducirían en mayor tamaño de espiga y granos de la principal, y a su vez mayor tamaño de espigas provenientes de macollos.

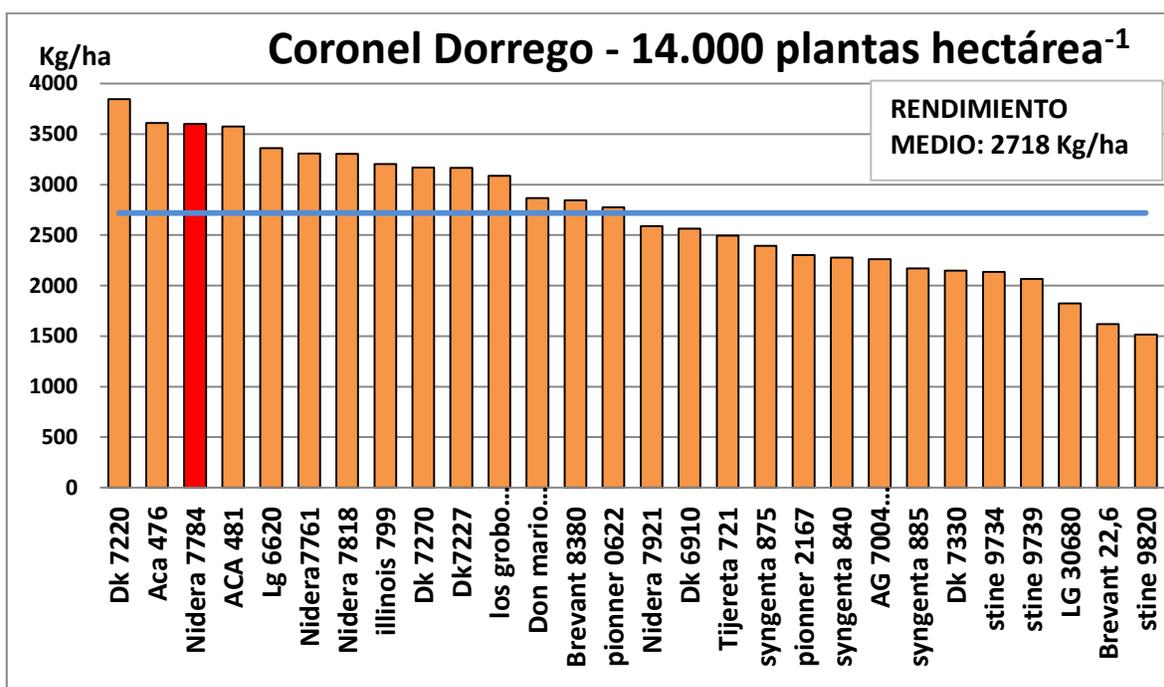


Figura 14. Rendimiento obtenido en ultra baja densidad (14.000 plantas ha⁻¹) por híbrido en el sitio experimental del establecimiento “Los Abuelos”. La línea azul demarca el rendimiento medio de todos los cultivares. En rojo se observa el rendimiento correspondiente del híbrido “AX 7784” de Nidera.

Diferencias entre densidades

Se observaron diferencias significativas entre las dos densidades mediante ANOVA ($F=7,96$; $p=0,0068$), obteniéndose un mejor rendimiento a ultra baja densidad ($2734,4 \text{ kg ha}^{-1}$) que a baja densidad (2201 kg ha^{-1}).

Comparación entre ambientes

Si bien se encontraron diferencias significativas en los rendimientos promedio de Coronel Dorrego a baja y ultra baja densidad, se observó que el comportamiento de los híbridos fue muy similar en ambas densidades (Figura 16). En general, los rendimientos a ultra baja densidad superaron levemente los de baja densidad, excepto en los híbridos Brevant 8380 y Stine 9739, donde esa tendencia se revirtió.

En el caso de Tres Arroyos, se observó que el rendimiento fue marcadamente superior para la alta densidad en comparación con la baja densidad con diferencias mayores a 2000 kg ha^{-1} , excepto en AX 7784 y AX 7761, donde esa tendencia se revirtió (Figura 15). Estas diferencias de rendimiento, podría deberse a que el rendimiento de las espigas secundarias y de macollos no compensaron en la mayoría de los casos al rendimiento de la espiga principal bien desarrollada. Bajo estas condiciones, es conveniente utilizar altas densidades para evitar la producción de espigas secundarias o macollos y que las plantas sólo produzcan espigas principales o primarias.

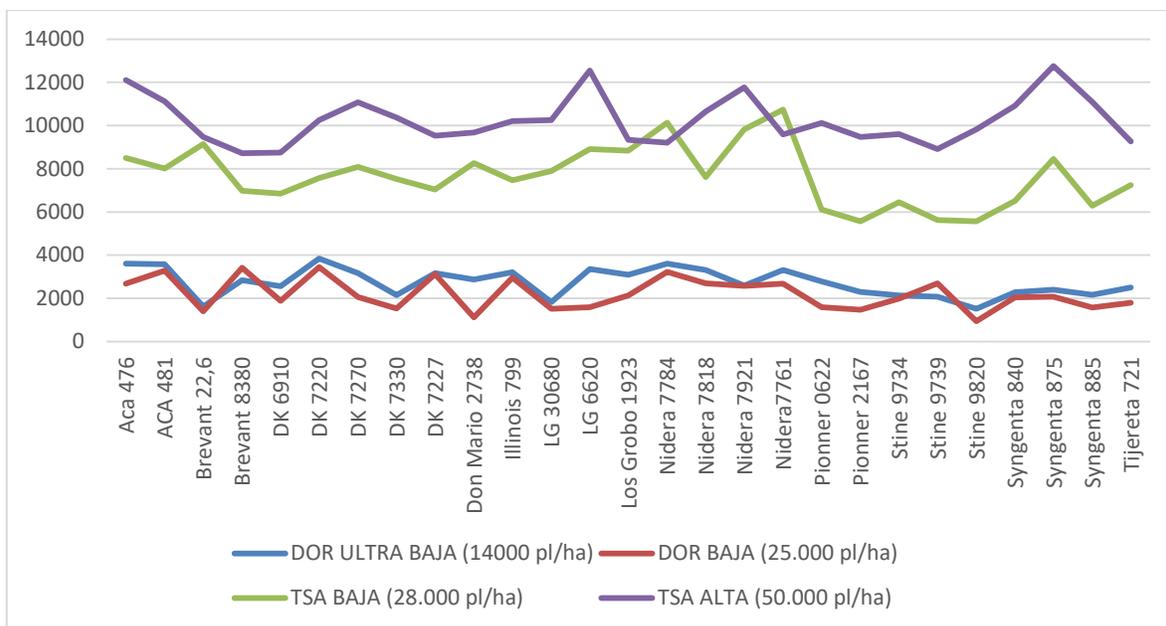


Figura 15. Rendimientos obtenidos en las localidades del estudio y las cuatro densidades utilizadas en el ensayo.

CONCLUSIONES

- En Tres Arroyos, el rendimiento promedio de todos los híbridos en alta densidad (50.000 pl ha⁻¹) fue elevado, superando los 10 mil kg ha⁻¹ y resultó significativamente mayor al rendimiento en baja densidad.
- En Tres Arroyos, el cultivar AX 7784 tuvo una mejor performance a baja densidad siendo superior por 927 kg ha⁻¹ a su performance en alta densidad, probablemente debido a su aptitud de híbrido macollador. En alta densidad, los menores recursos por individuo inhibieron el desarrollo de macollos ya que la planta de maíz prioriza el desarrollo de la espiga principal por sobre las espigas secundarias y las espigas de macollo.
- En Coronel Dorrego, el rendimiento promedio de todos los híbridos en baja densidad fue muy bajo (menor a los 2200 kg ha⁻¹), mientras que para ultra baja densidad fue levemente superior, alcanzando a diferenciarse.
- En Coronel Dorrego, el cultivar AX 7784 tuvo rendimientos similares en ambas densidades, aunque fue superior en ultra baja densidad por 382 kg ha⁻¹. Esta diferencia pudo deberse en base a un uso más eficiente del agua en ultra baja densidad, que fue el factor más limitante durante todo el ciclo del cultivo.
- El híbrido AX 7784 tuvo comportamientos dispares en las cuatro densidades en las que fue evaluado, pero podemos encontrar ciertas similitudes. La tendencia mostró un mejor comportamiento en baja densidad en ambos sitios experimentales.
- En Tres Arroyos el rendimiento de AX 7784 en ambas densidades fue marcadamente superior al obtenido en Coronel Dorrego, debido a que en dicha localidad el híbrido pudo desarrollarse sin restricciones hídricas severas en gran parte de su ciclo. En contraparte, en Coronel Dorrego el cultivar estuvo expuesto a un severo estrés ambiental debido a la escasez de precipitaciones durante prácticamente todo el ciclo, exceptuando el mes de Diciembre, lo que afectó notablemente su potencial productivo. El cultivar "AX 7784" en baja densidad (25.000 pl ha⁻¹ sitio experimental Tres Arroyos) demostró su potencial genético en cuanto a macollaje,

produciendo en promedio casi dos macollos productivos por planta (1,7) que aportaron más del 50% del rendimiento total (54,2 %) en dicho sitio.

BIBLIOGRAFÍA

Andrade, F., Aguirrezabal, L. A. N. y Rizalli, R. H. 2000. Crecimiento y rendimiento comparados. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Andrade, F. E. y Sadras, V. O., editores. Editorial Médica Panamericana S.A.

Andrade, F., Cirilo, A., Uhart, S. y Otegui, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa. Balcarce, Buenos Aires.

Borrás, L. y Uhart, S. 2017. Compendio primer congreso de maíz tardío. San Isidro: Dow Agrosiences Argentina.

Campo, A.; Ramos, M. y Zapperi, P. 2009. Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el suroeste bonaerense, Argentina. 12º Encuentro de Geógrafos de América Latina. Montevideo, Uruguay.

Cantamutto, M.; Bertucci, C. y Huarte, D. 2016. El trigo en el sudoeste bonaerense. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Regional Buenos Aires Sur.

Domenech, M., et al. 2015. *Análisis de antecesores de trigo pan, cebada cervecera y soja en el Partido de Coronel Dorrego*. INTA Barrow. Extraído de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_barrow_-_anlisis_de_antecesores_en_coronel_dorre.pdf.

Echevarría, H., Sainz Rosas, H., Barbieri, P. 2014. Maíz y sorgo. En: Echevarría, H. y García, F (eds.) Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. 2da ed. Buenos Aires: Ediciones INTA.

Estación meteorológica INTA Barrow. Disponible en: <https://inta.gob.ar/paginas/agrometeorologia-barrow>.

Eyhérabide, G. 2015. *Bases para el manejo del cultivo de maíz*. INTA Pergamino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Extraído de <http://inta.gob.ar/documentos/bases-para-el-manejo-del-cultivo-de-maiz>

FAO. Datos sobre alimentación y agricultura. 2020-2021. Extraído de <http://www.fao.org/faostat/es/>.

Folleto técnico “Características y descripción agronómica del híbrido AX 7784 VT3 PRO”. Empresa Nidera.

Heiland, E. 2019. Evaluación de densidades de siembra en maíz en el Sudoeste bonaerense. UNS. Bahía Blanca, Buenos Aires.

Heintz, G. 2017. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de dos cultivares de maíz tardío cultivado en el partido de Coronel Suárez. UNS. Bahía Blanca, Buenos Aires.

López Santillán, J. A., Reyes Méndez, C. A., Castro Nava, S., Briones Encinia, F. 2004. Componentes del crecimiento de grano de cultivares prolíficos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 27 (1):23-26.

MAIZAR. Asociación Maíz y Sorgo Argentino. Cadena del maíz. 2018. Disponible en: [//www.maizar.org.ar](http://www.maizar.org.ar).

Rosetti, M.V. 2016. Desarrollo del fruto del olivo (*Olea europaea* L.) cultivado en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires creciendo bajo condiciones de riego y secano (tesis de posgrado). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

Rotili, D.H., Giorno, A., Tognetto P.M. y Maddonni, G. A. 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.

Thiessen, G. 2021 “El maíz es del Sudoeste”. Charla técnica.

USDA. FAS. Foreign Agricultural Service. 2018. United States Department of Agriculture. Disponible en: [//www.fas.usda.gov/data](http://www.fas.usda.gov/data).

Vega, C.R. y Andrade, F. 2000. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. En: Andrade, F.H. y V.O. Sadras (eds). Bases para el manejo del maíz, girasol y la soja. EEA INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias UNMP.