

Universidad Nacional de La Plata



**Trabajo final de carrera**

**“Impacto de la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada en el rendimiento de cuatro híbridos de maíz”**

**Carrera: Ingeniería Agronómica**

**Modalidad de trabajo final:** Una investigación en cualquiera de los campos de las ciencias agrarias y forestales

**Área temática:** Cerealicultura

**Alumno:** Dipp, Mariano.

**Número de legajo:** 23821/8

**DNI:** 28945620

**Teléfono:** 02262-15665877

**Correo electrónico:** [marianodipp@gmail.com](mailto:marianodipp@gmail.com)

**Director:** PhD. MSc. Ing. Agr. María Rosa Simón. Profesora Titular Ordinaria de Cerealicultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP.

**Codirector:** Ing. Agr. José Gandini

**Fecha de entrega:** 16/07/2024

## RESUMEN

Los suelos del Partido de San Cayetano, sudeste de la provincia de Buenos Aires pueden tener una capa de tosca a baja profundidad, o presentar rocas en superficie. La tosca constituye una severa impedancia física para el crecimiento de las raíces, ya que las mismas no pueden atravesarla. Así, la profundidad de esta determina la profundidad efectiva del suelo. En este trabajo se determinó el efecto que tienen la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada diferencial sobre el rendimiento de cuatro híbridos de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en el Partido de San Cayetano, provincia de Buenos Aires. Para ello se propuso un diseño experimental de parcelas sub-subdivididas con tres repeticiones de fertilización nitrogenada. La parcela principal estuvo compuesta por los cuatro híbridos de maíz; las sub-parcelas se sembraron con dos densidades distintas ( $40000 \text{ pl ha}^{-1}$  y  $60000 \text{ pl ha}^{-1}$ ) y; las sub-subparcelas se fertilizaron con tres dosis diferentes de fertilizante nitrogenado ( $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ;  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) aplicadas en V2, dos hojas desplegadas. Los resultados obtenidos se analizaron a través de un análisis de varianza para parcelas sub-subdivididas. Las medias se compararon mediante test de LSD ( $P \leq 0,05$ ). Además, se realizó una regresión entre los niveles de tosca y el rendimiento obtenido en cada sub-subparcela. Los resultados demuestran que la disminución de la densidad permitió obtener incrementos significativos en el rendimiento. En contraparte, el incremento de la fertilización nitrogenada no generó diferencias significativas y ninguno de los híbridos demostró poseer mejores aptitudes frente a la presencia de un manto calcáreo a baja profundidad.

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
1.1. Origen, sistemática y morfología del maíz.	3
1.2. Importancia, distribución y evolución del mejoramiento genético del cultivo de maíz en Argentina.	5
1.3. Rendimiento del cultivo de maíz y sus componentes.	8
1.3.1. Influencia de la densidad y fecha de siembra sobre el rendimiento.	9
1.3.2. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento.	12
1.4. Caracterización edafoclimática del Partido de San Cayetano, Buenos Aires.	14
1.5. Hipótesis.	16
1.6. Objetivos generales.	16
1.7. Objetivos específicos.	16
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>17</b>
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>19</b>
3.1. Análisis del suelo.	19
3.2. Datos climáticos.	19
3.3. Rendimiento.	21
<b>4. DISCUSIÓN</b>	<b>28</b>
<b>5. CONCLUSIÓN</b>	<b>30</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>31</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Origen, sistemática y morfología del maíz.

El Maíz (*Zea mays* L.) es una palabra de origen prehispánico que significa “lo que sustenta la vida” (CONANP, 2016). Es originario de América y su historia está muy asociada a las culturas precolombinas. La escuela rusa de Vavilov ubica su origen geográfico en el sur de México y norte de América Central. Allí, existe una enorme variabilidad de formas y crecen al estado silvestre sus parientes más cercanos: los teosintes, originalmente determinados como el género *Euchlaena* (Golik et. al., 2018). Esta especie puede clasificarse de distintas maneras. Taxonómicamente, corresponde a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas (Rios Asanza, 2021). Existe otra clasificación establecida por Sturtevant (1989), en la que se diferencian seis grupos distintos en función de la reserva hidrocarbonada de sus granos (dentado, cristalino, dulce, harinoso, reventón, ceroso y tunicado). Sin embargo, Anderson y Cutler (1942) consideraron que la clasificación de Sturtevant era muy artificial porque estos grupos no eran indicativos de relaciones naturales entre ellos, por lo que propusieron una clasificación basada en la constitución genética total que incluyera características de espiga, mazorca y grano.

Morfológicamente, se trata de una planta monocotiledónea anual tipo C4, diclino monoica y cuantitativa de día corto (Kiniry *et al.*, 1983). Posee una inflorescencia terminal estaminada en su ápice, la panoja y una pistilada, también terminal, pero en una ramificación lateral, entre el 6° y 8° nudo, la espiga o mazorca. En su extremo inferior, se encuentran raíces seminales y adventicias de anclaje y normales. De estas últimas, su desarrollo inicial se produce en sentido lateral, extendiéndose 80 cm a 1m y luego, en sentido horizontal hasta aproximadamente 35 cm. La profundidad alcanzada depende fundamentalmente del tipo de suelo y el manejo del mismo. En Argentina, la mayoría de los cultivares utilizados alcanzan una altura de 1,80 a 2,20 m (13 nudos promedio). La longitud del tallo está muy influenciada por el

genotipo y por la disponibilidad de agua durante el periodo de crecimiento vegetativo. En cuanto a sus hojas, se distinguen las normales (constituidas por vaina, lígula, aurículas y una lámina acintada de 60 a 90 cm de largo y de 7 a 9 cm de ancho, las cuales se disponen en un ángulo de 110° respecto de la vaina); y las modificadas: cotiledón, coleóptilo, prófalo y brácteas (chalas, glumas y glumelas). El maíz típicamente muestra protandria, aunque variantes como el maíz "reventón" pueden presentar protoginia. La maduración de las espigas comienza con las flores en la base, con una diferencia de hasta 7 días respecto a las flores en la punta. Los estigmas aparecen de manera más o menos simultánea en las chalas superiores, con una receptividad que puede durar hasta 14 días si no son fecundados. La fecundación es principalmente anemófila, con el polen dispersándose hasta más de 200 metros con viento, lo que es crucial considerar para el aislamiento en la producción de semillas. (Golik et. al., 2018). A modo de describir las etapas del desarrollo del maíz, Ritchie y Hanway (1982) elaboraron una escala que divide al ciclo ontogénico en dos etapas: la vegetativa (indicada con la letra V en adición a un subíndice numérico según el número de hojas desplegadas en planta) y, la reproductiva (indicada con la letra R en adición a un subíndice numérico según el avance del desarrollo) (Fig. 1).

**Etapas de desarrollo de Maíz (*Zea maíz*)**  
Escala de Ritchie y Hanway, 1982

<b>Etapas vegetativas</b>	<b>Etapas reproductivas</b>
<b>VE</b> Emergencia.	<b>R1</b> Emergencia de estigmas.
<b>V1</b> 1 <sup>era</sup> hoja desarrollada.	<b>R2</b> Ampolla (blister).
<b>V2</b> 2 <sup>da</sup> hoja desarrollada.	<b>R3</b> Grano lechoso.
<b>V3</b> 3 <sup>era</sup> hoja desarrollada.	<b>R4</b> Grano pastoso.
<b>V(n)</b> "n" ésima hoja.	<b>R5</b> Grano dentado.
<b>VT</b> Panojamiento.	<b>R6</b> Madurez fisiológica.

Fig. 1. Escala de Ritchie y Hanway (1982) para el cultivo de maíz

## **1.2. Importancia, distribución y evolución del mejoramiento genético del cultivo de maíz en Argentina.**

El maíz es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y el segundo, después del trigo, en producción total (Golik *et al*, 2018). Junto con el trigo y el arroz, éste cereal es uno de los cultivos más importantes en el mundo (Benítez Cardoza & Pfeiffer Perea, 2006). Este mismo fue domesticado por pueblos nativos del actual México hace alrededor de 10.000 años. El maíz es uno de los pocos cultivos que se pueden sembrar en una gran variedad de climas, suelos, latitudes y altitudes, ya que se siembra desde los 40 ° latitud sur en Argentina y Chile hasta los 60 ° latitud norte en Canadá y, es la mayor fuente de almidón en el mundo (DHAOGTR, 2008).

En Argentina, la zona núcleo, comprendida por el Norte de Bs.As., Sur de Santa Fé y Sudeste de Córdoba, representa las mejores condiciones agroecológicas para el cultivo, en la que se encuentra el mayor desarrollo tecnológico y donde se alcanzan los rendimientos promedios más altos (Golik, *et. al.*, 2018). En nuestro país, el maíz comenzó a cultivarse con fines comerciales a fines del siglo XIX (BCR, 2022), logrando convertirse en uno de los cultivos más relevantes para nuestro país en la actualidad, logrando convertirse en el segundo exportador a nivel mundial (BCR, 2024). Se estima que para la campaña 2023/2024 la superficie sembrada sea de 8,6 millones de hectáreas y se obtengan 59 millones de toneladas de grano de las cuales se exportarán unas 39 millones de toneladas. El rendimiento promedio a nivel nacional se ubicará en 79,6 qq. ha<sup>-1</sup> (BCR, 2023).

Según proyecciones de la FAO (FAO 2009), la producción de cultivos deberá ser incrementada en un 60% para el año 2050 para poder suplir la demanda futura de alimentos. En particular, se espera un mayor incremento en la demanda de soja (80%) y maíz (60%) que en la de trigo (40%) y arroz (28%) (Alexandratos & Bruinsma, 2012). La producción de estos cultivos se puede incrementar mediante aumentos del área cosechada y/o con mayores rendimientos por unidad de superficie (Bruinsma, 2009). Durante la primera mitad de siglo XX, la incorporación

de nuevas tierras a la agricultura fue el principal motor de incremento de la producción (Andrade, 2011), pero en los últimos 50 años este proceso se ralentizó y solo se incorporaron alrededor de 100 Mha más a la agricultura, es decir un 7% de la tierra cultivada total (Fischer *et al.*, 2014). Actualmente, el aumento del área cultivada a nivel mundial apenas compensa lo que se pierde por urbanización, forestación o degradación (Bruinsma, 2009), aunque se ha producido un marcado aumento del área cultivada con cultivos anuales desde 2003, debido a una mayor intensidad en el uso de la tierra (Fischer *et al.*, 2014). De acuerdo con lo proyectado por Alexandratos y Bruinsma (2012), para el 2050 el área cosechada con cultivos anuales va a incrementarse en alrededor de 134 Mha y, la mitad de este incremento se debería a un aumento en la intensidad del uso de la tierra. Por lo tanto, el restante aumento de la producción para suplir la futura demanda de alimentos deberá producirse a través de mayores rendimientos por unidad de superficie. La productividad de los cultivos por unidad de área se puede incrementar mediante el mejoramiento genético, es decir a través de la obtención de nuevos cultivares de mayor potencialidad y estabilidad, y/o reduciendo las brechas entre el rendimiento logrado por los productores y el que potencialmente podrían alcanzar si se aplicaran las mejores prácticas de manejo (Fischer *et al.*, 2014).

El mejoramiento genético (MG) debe entenderse como un proceso incremental y continuo de búsqueda de nuevas recombinaciones de genes que permitan disponer de un material que exprese mayores niveles de rendimiento, calidad, tolerancia a condiciones de estrés, etc. y consistente en la selección artificial deliberada de un grupo de individuos, que serán los progenitores de la siguiente generación (Eyherabide, 2006). Duvick (2005) estableció que el MG contribuyó en las últimas 5 o 6 décadas en menos del 50 % a la ganancia en el rendimiento del maíz y el otro 50 % fue debido a las mejoras en las prácticas de manejo. El aumento en el rendimiento de los híbridos debido a al MG a través del tiempo se atribuye principalmente a incrementos en el número de granos fijados por unidad de área resultantes de una mayor habilidad de los cultivos para tolerar los estreses abióticos

y las mayores densidades poblacionales y utilizar con mayor eficiencia el nitrógeno disponible (DeBruin *et al.*, 2017).

En el caso de Argentina se ha registrado un aumento sostenido en el rendimiento de grano del cultivo de maíz, con valores medios de  $117 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  (2,58% anual) para el período 1970-2015. Esta tendencia, sin embargo, no fue uniforme. Se registraron aumentos ( $63\text{-}198 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ , según el período) hasta el año 2005, momento a partir del cual se verificó un marcado estancamiento en el rendimiento. Esta respuesta coincide con una fuerte adopción de maíces de siembra tardía en las principales provincias productoras de este cereal. El 60% del maíz sembrado en Argentina es considerado tardío (PAS, 2015). Se busca así aprovechar la mayor estabilidad de rendimiento de granos de estas siembras asociada a un balance hídrico más favorable (Mercau & Otegui, 2014), a pesar de su menor potencial rendimiento (Cirilo & Andrade, 1994; Otegui *et al.*, 1995).

Los sistemas de cultivo de la Argentina han experimentado importantes cambios durante los últimos 20 años. Los rendimientos han aumentado significativamente gracias a la amplia adopción de nuevas tecnologías como la siembra directa, el mayor uso de fertilizantes, y la incorporación de materiales genéticos de alto potencial, genéticamente modificados para resistencia a herbicidas e insectos (Andrade *et al.*, 2015 a; Grassini *et al.*, 2013; Satorre, 2011). Sin embargo, la adopción e impacto de esta tecnología no fue homogénea a través de las distintas regiones de la Argentina, existiendo grandes diferencias en las tasas de ganancia de rendimiento entre regiones y cultivos, con mayores tasas en la región Pampeana central y menores tasas en las zonas extrapampeanas (Magrin *et al.*, 2005; Verón *et al.*, 2004). En cuanto al desarrollo de las prácticas de manejo se destacan las variaciones en la fecha de siembra, que en la zona núcleo se desplazadas de septiembre a diciembre para los maíces tardíos (Andrade *et al.*, 1999). El maíz cultivado en la Argentina tiene una madurez relativa de 110 a 130 días, siendo de 110 a 115 días el ciclo ideal para la región sudeste de la provincia de Buenos Aires; de 115 a 125 para la región Pampeana Central, y de 125 a 130 días para zonas

subtropicales (Gear, 2006). Esta especie tiene un requerimiento hídrico que oscila entre los 500 a 800 mm de agua (FAO, 2012). Sus temperaturas mínimas de germinación están entre 8 a 10°C. En nuestro país se siembra entre 17 y 14°C según zonas. Se relaciona con la velocidad de emergencia. La temperatura óptima de germinación es de 33°C, los mínimos y máximos están en 8-10 °C y 45°C respectivamente (Golik *et al.*, 2018)

### **1.3. Rendimiento del cultivo de maíz y sus componentes.**

El rendimiento potencial (RP) de un cultivo se define como el rendimiento obtenido por un genotipo sin limitantes de agua y nutrientes que crece en un ambiente determinado en ausencia de estreses bióticos (insectos, malezas y enfermedades) y abióticos (granizo, heladas, etc). Para un genotipo definido, el RP está determinado por la disponibilidad de CO<sub>2</sub>, la oferta de radiación solar, la temperatura del aire y el fotoperiodo, denominados factores definidores del rendimiento (Van Ittersum & Rabbinge, 1997). El máximo rendimiento alcanzable en secano (RAs) es aquel obtenido con la mejor combinación de tecnologías de manejo e insumos, pero limitado por déficits de agua en algún momento del ciclo de acuerdo al régimen hídrico del área (Lobell *et al.*, 2009). La diferencia de rendimiento entre RP y RAs representa la brecha de rendimiento mejorable a través de tecnologías que permitan un aporte suplementario o un mejor aprovechamiento del agua. Por otra parte, la brecha entre RAs y el rendimiento real (RR), obtenido bajo condiciones de producción en secano con tecnología de insumo y proceso promedio (Lobell *et al.*, 2009), puede ser reducida a través del manejo del cultivo en general. En este sentido Cassman (1999) afirma que, existe más probabilidad de incrementar la producción de granos a través de un mejor manejo que permita aumentar la producción por unidad de superficie en aquellos ambientes donde las brechas de rendimiento sean mayores al 20 %.

En el maíz el rendimiento puede ser analizado en términos de sus componentes numéricos que son el número de granos por unidad de superficie (NGP) y el peso

individual del grano, las relaciones de estos componentes con el crecimiento del cultivo y, la partición de biomasa a lo largo del ciclo se relacionan con el rendimiento (Andrade *et al.*, 2023). En términos numéricos, el componente más importante del rendimiento, es el NGP, el cual se determina durante el período crítico y está estrechamente relacionado a la tasa de crecimiento de la planta en ese momento (TCP). La relación entre TCP y NGP resulta de dos componentes: i) la proporción del crecimiento que la planta asigna a la espiga, determinando la tasa de crecimiento de ese órgano durante la etapa crítica (TCE) y ii) la eficiencia de la espiga para fijar granos por unidad de TCE en dicho período. Variaciones en estos componentes pueden explicar las diferencias de estabilidad entre híbridos (Montenegro, 2016). Por lo tanto, para alcanzar altos rendimientos, el maíz debe lograr un óptimo estado fisiológico en floración: cobertura total del suelo y alta eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa. La adecuada disponibilidad de nutrientes, especialmente a partir del momento en que los nutrientes son requeridos en mayores cantidades (aproximadamente cinco a seis hojas desarrolladas), asegura un buen crecimiento foliar y una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada. Las necesidades nutricionales del cultivo se definen de acuerdo al nivel de rendimiento a alcanzar (Portugal & Torres, 2018). La fertilización y la densidad poblacional se consideran como dos factores que pueden ser controlados y combinados para la obtención de mejores rendimientos en los cultivos. En maíz estos factores ejercen influencia significativa sobre los componentes de rendimientos (Tosquy *et al.*, 1998).

### **1.3.1. Influencia de la densidad y fecha de siembra sobre el rendimiento.**

La densidad óptima es aquella que permite al cultivo alcanzar su máxima producción de grano. El componente del rendimiento más afectado por la densidad es el NGP que logran alcanzar la madurez. El rendimiento en grano de maíz es poco estable ante variaciones en la densidad de plantas en comparación con otros cultivos (Andrade, 1995). Esto está estrechamente relacionado con la TCP de la

planta, cuando se determina la cantidad de asimilados disponibles para el desarrollo de los granos. A medida que el crecimiento por planta se ve afectado por incrementos en la densidad, la reducción en el número de granos que la planta puede sostener se vuelve más pronunciada. Este fenómeno se debe a la competencia interna dentro de la planta, donde los recursos se asignan preferentemente a las estructuras dominantes, como la espiga principal, en detrimento de las inferiores. En última instancia, este comportamiento conduce a un umbral mínimo de crecimiento por planta, por debajo del cual aumentos adicionales en la densidad pueden resultar en esterilidad (Cirilo, 1996). Asimismo, la escasa compensación en bajas densidades se explica por la reducida capacidad del maíz para generar destinos reproductivos (i.e. plasticidad vegetativa y reproductiva) y aprovechar eficientemente los altos niveles de recursos por planta ante la baja competencia intra-específica. Entonces, la estabilidad del rendimiento frente a cambios en la densidad de plantas depende, por un lado, de la capacidad de los individuos dentro del cultivo para expresar mecanismos de compensación cuando el número de plantas es bajo comparado con los recursos que ofrece el ambiente. En general, cuando estos mecanismos de adaptación ocurren a nivel de tallos y hojas, nos referimos a la plasticidad vegetativa del cultivo y cuando se dan a nivel de estructuras florales, nos referimos a la plasticidad reproductiva. Por otro lado, la estabilidad del rendimiento frente a aumentos en la densidad de plantas también depende de la capacidad del cultivo para producir granos en situaciones en las que los recursos por planta son limitados o escasos. Lo anterior tiene lugar cuando el número de plantas por unidad de área es elevado respecto a los recursos disponibles (Vega *et al.*, 2023). Las bajas densidades de plantas pueden además reducir el consumo de agua en etapas vegetativas transfiriendo el recurso a etapas posteriores más críticas para el rendimiento. Es por esto que cuanto más restrictivo es el ambiente, menor es la densidad óptima del cultivo de maíz. Al utilizar bajas densidades de siembra se corre el riesgo de no aprovechar aquellos años donde las condiciones hídricas sean mejores a las esperadas (Cerrudo, 2019).

En ambientes sin restricciones hídricas importantes, el ajuste del número de plantas por unidad de área debe propender al logro del índice de área foliar crítico (IAFc) para maximizar la intercepción de radiación solar por el cultivo tanto durante la etapa crítica de fijación de estructuras reproductivas como durante el llenado de granos. El patrón de asignación de recursos a los meristemas axilares es el principal determinante de las diferencias en plasticidad vegetativa entre las especies. La intercepción de radiación por el cultivo es función de la densidad de plantas, del área foliar de cada planta, de la disposición de sus hojas (más erectas o más planas) y del espaciamiento entre hileras (Vega *et al.*, 2023). Otros aspectos a considerar son la fecha de siembra, que impacta tanto en el número de hojas como en la expansión foliar y, los factores ambientales y genéticos que intervienen en la expresión de mecanismos de plasticidad vegetativa, como el macollaje (Sangoi *et al.*, 2012). La densidad de plantas es la herramienta de manejo más importante para alcanzar el IAF crítico y, por lo tanto, la máxima intercepción de radiación del cultivo de maíz (Timlin *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2018). El manejo de la densidad del cultivo particularmente en ambientes con restricciones ha recibido mucha atención en la última década. Las ventajas en ambientes marginales del uso de bajas densidades, en conjunto con siembras tardías e híbridos de maíz de mayor plasticidad ha sido documentada recientemente y contribuyen a facilitar la introducción del cultivo en nuevas áreas y a potenciar las actividades que allí utilizan al maíz como forraje o insumo industrial (Maddonni *et al.*, 2021). En el manejo de la densidad de plantas para maximizar el rendimiento en un ambiente en particular, es necesario considerar la interacción con el genotipo, particularmente se debe tener en cuenta el ciclo del cultivar a utilizar. En general, los cultivares de ciclo corto presentan mayores densidades óptimas que los de ciclo más largo debido a su menor porte y a su menor plasticidad reproductiva (Sarlangue *et al.*, 2007; Torreani, 2021). Por lo tanto, es importante la elección de cultivares con alta plasticidad reproductiva, es decir que tengan capacidad de transformar en rendimiento esa mayor disponibilidad de recursos disponibles en años más favorables (Cerrudo, 2019).

En ambientes con restricciones hídricas, la elección de la fecha de siembra del cultivo es una de las prácticas de manejo de mayor impacto sobre el rendimiento y la estabilidad del mismo. En ambientes sin limitaciones hídricas y con temperaturas máximas moderadas, los máximos rendimientos de maíz se logran en fechas de siembra tempranas, ya que en estas se maximiza la captura de radiación y la eficiencia con que la radiación es transformada en biomasa durante la etapa reproductiva. Sin embargo, cuando el factor limitante es el agua disponible, la mejor estrategia es evitar la coincidencia de la floración con períodos con alta probabilidad de ocurrencia de estrés hídrico. El objetivo es ubicar la floración del cultivo de maíz en períodos con mayor probabilidad de ocurrencia de precipitaciones y menor demanda atmosférica, atrasando la época de siembra, lo que resulta en un balance hídrico más favorable. Por otro lado, atrasos en fecha de siembra implican un mayor período de barbecho lo que frecuentemente permite incrementar el contenido de agua en el suelo a la siembra. Esto es relevante en suelos con alta capacidad de almacenaje de agua (Cerrudo, 2019).

### **1.3.2. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento.**

Para planificar la fertilización de los cultivos, es preciso hacer un diagnóstico para conocer el sistema y tomar decisiones; luego, una interpretación para definir los criterios de manejo, y por último, diseñar estrategias de aplicación: cuándo y cómo se va a aplicar (Grasso & Díaz-Zorita, 2020). Debemos tener en cuenta que los ambientes son heterogéneos en cuanto al relieve, profundidad del horizonte calcáreo (en caso de estar presente en el perfil) y disponibilidad hídrica. Un cultivo de maíz de  $120 \text{ qq.ha}^{-1}$  de rendimiento necesita absorber aproximadamente 264, 48 y 48 kg.  $\text{ha}^{-1}$  de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), respectivamente. En general, el análisis de suelo es la herramienta básica y fundamental para determinar los niveles de fertilidad del lote a sembrar y diagnosticar la necesidad de fertilización. Los análisis vegetales permiten integrar los efectos de suelo y del ambiente sobre la nutrición de las plantas ampliando la base de diagnóstico, y son de particular importancia para nutrientes cuya dinámica en suelo es particularmente compleja, por ej. el caso de los

micronutrientes. En las condiciones de producción de maíz de Argentina, N y P son frecuentemente deficientes para alcanzar altos rendimientos y, en los últimos años, el S se ha presentado como deficiente en numerosas zonas de producción (García, 2005).

El N es el nutriente más comúnmente deficiente para la producción de maíz. Las principales fuentes nitrogenadas que determinan el rendimiento en cultivos sin fertilizar son: el N disponible a la siembra; el N mineralizado del suelo y, el N de los residuos del cultivo antecesor (Reussi Calvo *et al.* 2020). Los métodos de diagnóstico para la fertilización nitrogenada pretenden predecir la probabilidad de respuesta a partir de la disponibilidad de N en suelo y/o en planta, y el requerimiento previsto para un determinado nivel de rendimiento. Los métodos evaluados en la región pampeana para el cultivo de maíz incluyen el balance de N, el análisis de suelo en presiembra y al estado de 5-6 hojas de desarrollo del cultivo, el análisis de planta en estadios tempranos y avanzados de desarrollo, y el uso de modelos de simulación y sensores remotos (García, 2005).

En términos fisiológicos de la planta, debemos tener presente que la demanda de N del cultivo de maíz aumenta marcadamente a partir del estado de 5-6 hojas desarrolladas (30-50 días después de la emergencia). Por esta razón, la aplicación en este estado del cultivo o inmediatamente previa ha sido reportada como la de mayor eficiencia de uso de N (Sainz Rozas *et al.*, 1999). Asimismo, un estudio realizado por García *et al.* (1999) muestra los rendimientos obtenidos en un cultivo de maíz bajo SD con tres dosis de N aplicadas como urea a la siembra y al estado de 5 hojas desarrolladas o dividida (mitad a la siembra y mitad al estado de 5 hojas). La dosis de 50 kg/ha de N mostraron una mayor eficiencia con la aplicación al estado de 5 hojas que con la aplicación a la siembra o dividida. Dosis mayores muestran respuestas decrecientes y resultan en eficiencias similares para los distintos momentos de aplicación. La eficiencia de las aplicaciones tempranas depende de 1) la cantidad y frecuencia de precipitaciones entre la aplicación y la absorción de N del cultivo que pueden originar pérdidas por lavado y/o

desnitrificación y 2) la inmovilización microbiana que depende principalmente de la cantidad de residuos. (García, 2005)

Grasso (2017) sostiene que el manejo de la nutrición del maíz suele ser resuelto utilizando el criterio de dosis de uso medio de fertilizantes. En promedio para la región maicera la dosis de fertilizantes nitrogenados es de  $120 \text{ kg.ha}^{-1}$  de urea, y de  $85 \text{ kg.ha}^{-1}$  de fosfato diamónico. Estas son utilizadas en el 85% del área total sembrada para este cultivo. Sin embargo, afirma que la perpetuación de tal metodología ha contribuido en gran medida al estancamiento de los rendimientos medios del maíz, ya que en las últimas 15 campañas la productividad media se ubica en los  $6.6 \text{ tn.ha}^{-1}$  con valores promedios máximos y mínimos de 7.8 y  $5.6 \text{ tn.ha}^{-1}$  respectivamente, existiendo la posibilidad de obtener valores mucho mayores en buenos ambientes. Además, explica que estos desajustes en la nutrición del maíz se dan debido a que las decisiones son tomadas en base a las recomendaciones ajustadas a híbridos comercializados hace al menos una década que tenían menos potencial productivo que los que se comercializan actualmente. Entonces, sería más apropiado que la fertilización nitrogenada del maíz sea planificada valiéndose del “criterio de balance”, el que deberá ser ajustado por la eficiencia de fertilización. La magnitud de la misma depende del tipo de fertilizante y del manejo del mismo (fuente, tecnología de aplicación, momento de fertilización, etc.) (Torres Duggan, 2002). Es importante destacar que los híbridos comerciales actuales pueden tener una respuesta diferencial a la fertilización (Cerrudo, 2019) y que el maíz necesita unos  $20\text{-}25 \text{ kg de N.tn}^{-1}$  de grano, por lo que un maíz con altos rendimientos puede necesitar más fertilizante nitrogenado que los habitualmente empleados dependiendo del N disponible en el suelo y la mineralización.

#### **1.4. Caracterización edafoclimática del Partido de San Cayetano, Buenos Aires.**

El partido de San Cayetano se encuentra ubicado en el centro-sur de la Provincia de Buenos Aires, Argentina (Fig. 2). Presenta un clima templado húmedo con una precipitación media anual de 700 mm bajo un régimen isohigro, y tiene una

temperatura media anual de 14°C (Salomón, 2018). Junto a los Partidos de Balcarce, Gral. Pueyrredón, Lobería, Azul, Juárez, Tandil, Gral. Lamadrid, Olavarría, Azul, Tandil, Coronel Pringles, Tres Arroyos, González Chaves y Necochea, pertenece a la serie de suelos denominada como “Cinco Cerros” (CIRN). Esta serie se caracteriza por poseer un suelos oscuros, poco profundos y de aptitud agrícola, se encuentra en un paisaje de lomas moderadamente onduladas, pronunciadas, en posición de loma y pendiente de la Subregión Pampa Austral Interserrana, bien drenado, formado en sedimentos loésicos finos, no alcalino, no salino con pendiente 1-10 %. Clasificado como Argiudol petrocálcico, fina, illítica, somera, térmica (USDA-Soil Taxonomy, 2014). El suelo de San Cayetano puede presentar limitaciones devenidas del exceso de pendiente y de la presencia de tosca a una profundidad que oscila entre los 40 y 80 cm (Ross & Manso, 2013).

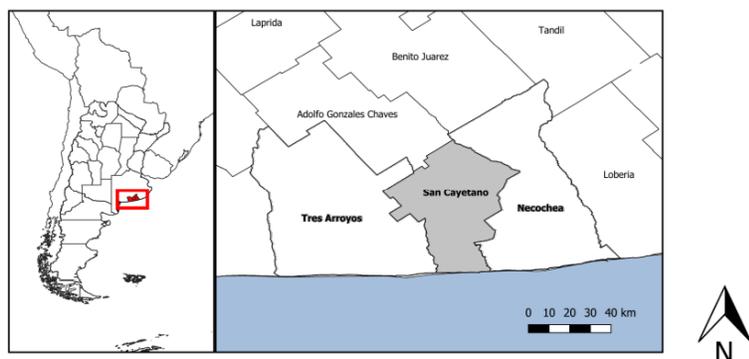


Fig. 2. Mapa del Partido de San Cayetano, Provincia de Buenos Aires.

El maíz es considerado un cultivo muy susceptible a restricciones hídricas (Cerrudo et al., 2013). La presencia de un horizonte calcáreo en el perfil reduce la capacidad de almacenaje de agua y condiciona al cultivo a lluvias oportunas durante su ciclo. Generalmente, esta limitación se traduce en una reducción del rendimiento de los cultivos (Leonardi, 2012). Según Ross (2012), la experiencia de los productores muestra que los mapas de rendimiento de maíz en suelos con tosca exhiben menor productividad. Los factores antes mencionados deben ser tenidos en cuenta en la elección del cultivar a sembrar en ambientes de bajo potencial productivo.

En este trabajo se pretendió demostrar cómo diferentes técnicas de manejo como la variación en las densidades de siembra, la fertilización nitrogenada diferencial y la aptitud de los híbridos de maíz frente a la profundidad de exploración radicular limitada por un horizonte calcáreo, pueden en su conjunto, generar modificaciones en el rendimiento.

### **1.5 Hipótesis.**

- 1) Las densidades bajas o intermedias para la zona centro sur de la provincia de Buenos Aires mejorarán el rendimiento, dado los habituales estreses hídricos en la época de producción del cultivo.
- 2) El ajuste de la fertilización nitrogenada en base al método del balance de nutrientes incrementará el rendimiento.
- 3) Alguno de los híbridos en estudio presentará mejor aptitud con respecto a la profundidad de tosca diferencial.

### **1.6. Objetivos generales.**

- Detectar diferencias en el rendimiento entre cultivares de maíz en diferentes densidades y distintas dosis de fertilización nitrogenada, destacando sus aptitudes frente a la profundidad de tosca.

### **1.7. Objetivos específicos.**

- Determinar diferencias entre híbridos en su respuesta a las diferentes densidades de siembra y la posible interacción con la fertilización nitrogenada.
- Evaluar y comparar la respuesta en el rendimiento a la fertilización nitrogenada en dosis distintas en diferentes híbridos de maíz.
- Identificar híbridos con mejores aptitudes con respecto a profundidad de tosca.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Este ensayo se realizó en el establecimiento Santa María, ubicado en San

Cayetano, Provincia de Buenos Aires. El mismo se efectuó sobre un cultivo previamente implantado por la empresa Alea y Cía. S.A. Se utilizaron híbridos de alta tecnología pertenecientes a los semilleros Don Mario, Brevant y Dekalb. Anterior a este cultivo se aplicó un barbecho químico con Glifosato; 2,4-D; Paraquat; Galant; Atrazina y Aceite Liderol (Fig. 3). Además, la misma empresa realizó un análisis de suelo sobre el lote utilizado previo a la siembra del material.

Herbicida	Momento de aplicación	Coadyuvante
Glifosato 1,5 l/ha	junio	Coadyuvante 0,150 l
Glifosato 1,5 l/ha Galant 0,180 l/ha 2,4-D 0,4 l/ha	agosto	Coadyuvante 0,250 l
Paraquat 2,5 l/ha Aceite liderol 1 l/ha	septiembre	
Atrazina 1 Kg 2,4-D 0,8 l/ha Glifosato 1,5 l/ha	octubre	Coadyuvante 0,2 l

Fig. 3. Detalle del barbecho químico a aplicarse en un ensayo de maíz con diferentes densidades y dosis de fertilizante nitrogenado.

La siembra con sembradora experimental y la fertilización con Urea al voleo estuvieron a cargo de la misma empresa y se llevó a cabo a mediados del mes de noviembre del año 2020. Para ello, se implementó un diseño experimental de parcelas sub-subdivididas con tres repeticiones de fertilización nitrogenada, por lo que el ensayo precisó de 72 sub-subparcelas, las que individualmente tuvieron una dimensión de 4,16 m de ancho (8 surcos sembrados a 0,52 m) y 33,3 m de largo (Fig. 4). La parcela principal fué integrada por cuatro híbridos de maíz: DM2738; NEXT22.6PW; BRV8380PWUE y DK7010; las sub parcelas se sembraron con dos densidades distintas ( $40000 \text{ pl. ha}^{-1}$  y  $60000 \text{ pl. ha}^{-1}$ ) y; las sub-subparcelas fueron fertilizadas con tres dosis diferentes de fertilizante nitrogenado ( $120 \text{ kg N. ha}^{-1}$ ;  $180 \text{ kg N. ha}^{-1}$  y  $240 \text{ kg N. ha}^{-1}$ ) aplicadas en V2, dos hojas desplegadas. Dichas dosis fueron determinadas por la empresa en base a los rendimientos estimados a obtenerse y los datos de análisis de suelo. Los resultados obtenidos se analizaron a través de un análisis de varianza para parcelas sub-subdivididas. Las medias se

compararon mediante test de LSD ( $P \leq 0,05$ ). Además, se realizó una regresión entre los niveles de tosca y el rendimiento obtenido en cada sub- subparcela.

Por simplicidad en la notación de las variables en estudio, los híbridos serán referidos por sus caracteres numéricos, excluyendo a los alfabéticos, quedando de la siguiente forma: DM2738=2738 ; NEXT22.6PW=22.6; BRV8380PWUE=8380 y DK7010=7010.

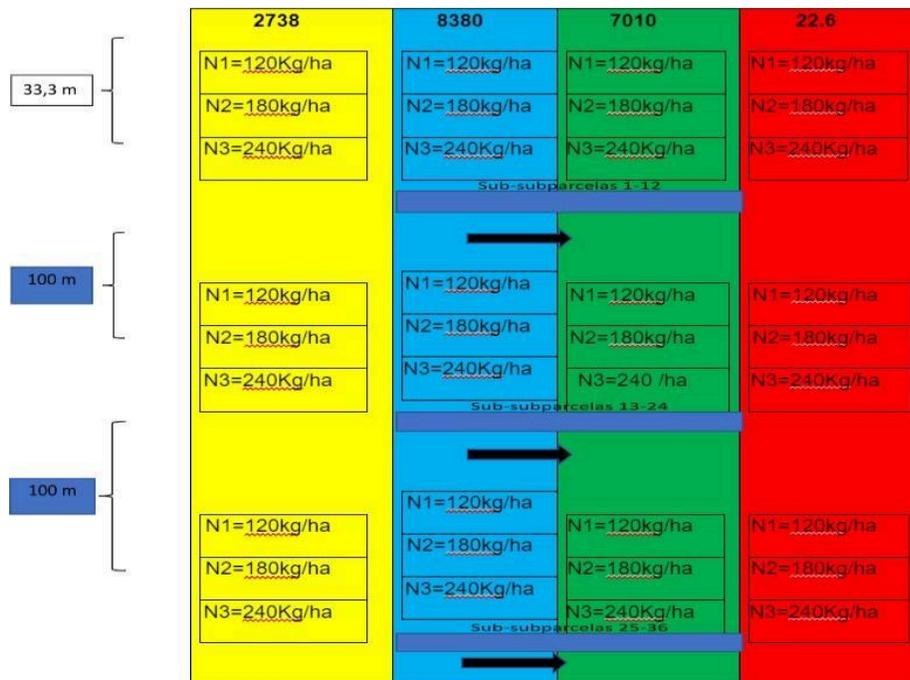


Fig. 4. Plano de ensayo integrando híbridos de maíz distribuidos de izquierda a derecha en parcelas principales, densidades en subparcelas y tratamientos de nitrógeno (urea) en sub-subparcelas.

La cosecha de cada sub-subparcela se realizó de forma manual a mediados del mes de junio del año 2021. En cada una se recolectaron espigas en 5 m lineales de los dos surcos centrales en los que, además se efectuaron de 3 a 5 determinaciones de profundidad del suelo delimitadas por la presencia de tosca. Luego se llevaron las muestras en sus respectivas bolsas rotuladas a desgranar mecánicamente y se calculó el rendimiento en  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Los datos climáticos se registraron en la estación meteorológica del establecimiento donde los ensayos

fueron llevados a cabo.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Análisis del suelo.

En la Tabla N° 1 se detallan los resultados obtenidos para el análisis del suelo correspondiente al ensayo, en el mismo se determinó el porcentaje de materia orgánica, el pH, contenido de zinc, azufre, fósforo, nitrógeno y boro.

Tabla N ° 1. Resultados del análisis de suelo de un ensayo con cuatro híbridos, tres tratamientos de fertilización nitrogenada y dos densidades de siembra en maíz.

Prof (cm)	MO (%)	pH	Zinc	S	P extractable (kg/Ha)	N-NO3 (Kg/Ha)	B (ppm)
0 -20	2,3	7,8	2,5	8,4	25,75	66,2	0,7
20-40						48,6	
40-60						20	

Los resultados del análisis de suelo expresan que el ensayo se realizó sobre un lote cuya fertilidad química no presenta ninguna limitante para el desarrollo del cultivo de maíz.

#### 3.2. Datos climáticos.

En la Tabla N° 2 se detallan los registros correspondientes a las temperaturas mínimas, máximas y medias del año 2020/21, precipitaciones medias mensuales medidas en el 2020/21, precipitación media anual del 2020/21, precipitaciones medias mensuales históricas (1961-1990) y precipitación media anual histórica.

Tabla N°2. Datos climáticos registrados entre mayo del 2020 y julio del 2021 en la localidad de San Cayetano.

Mes	Temperatura ( ° C)			Precipitaciones (mm)	
	Max	min	media	2020 /2021	Histórica
Mayo	24	9	14	40	85
Junio	22	9	13,5	5	70
Julio	23	8	12,4	38	70
Agosto	20	5	15,3	5	75
Septiembre	22	11	16	63	100
Octubre	25	10	16,5	75	90
Noviembre	29	13	18,5	38	80
Diciembre	31	13	19	30	60
Enero	41	16	25,6	10	45
Febrero	38	15	24	5	50
Marzo	28	11	17	3	75
Abril	24	9,5	15	5	100
Mayo	22	10	14,6	40	85
Junio	19	8	14	45	70
Julio	18	7	13	40	70

En cuanto a las temperaturas, se puede observar que las temperaturas medias registradas satisfacen los requerimientos del cultivo en todo el ciclo, aunque las mínimas presentaron valores por debajo del límite inferior. Se observa que el contenido hídrico del perfil ha sido una limitante a lo largo del ciclo del cultivo. Durante la germinación y emergencia la provisión de agua en el suelo fue escasa debido a que en el periodo que corresponde al barbecho (meses previos al mes de noviembre) las precipitaciones fueron escasas. Además, durante los meses posteriores a la siembra (diciembre, enero, febrero y marzo) existió una merma importante en el contenido hídrico del suelo a causa de la escasez en las precipitaciones ocurridas durante tal periodo, las cuales fueron por debajo de los valores históricos para la zona (Fig.5)

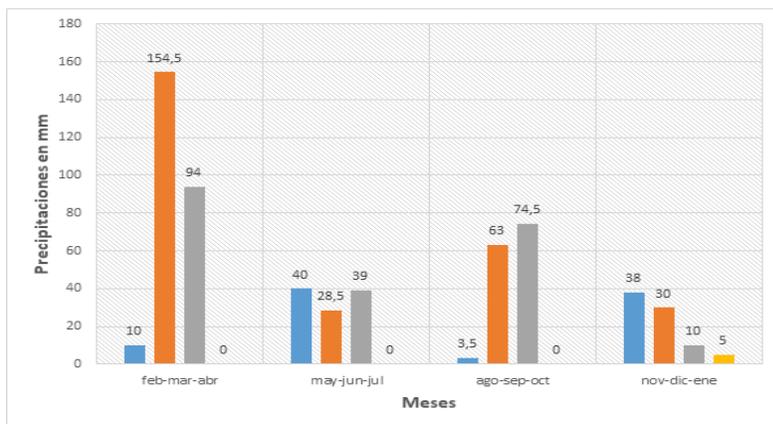


Fig. 5. Precipitaciones mensuales periodo mayo 2020-julio 2021.

### 3.3. Rendimiento.

Se detallan los componentes obtenidos a partir de: Análisis de Varianza para la variable rendimiento (Tabla 3a y b); Error Estándar de la Diferencia de Medias (Tabla 3c) ; Mínima Diferencia Significativa (Tabla 3d) y Análisis de Regresión Simple para la variable rendimiento según las diferentes profundidades de tosca analizadas (Tabla 3e).

Tabla 3a. Variables del análisis de la varianza para el rendimiento de un ensayo con cuatro híbridos de maíz, tres tratamientos de fertilización nitrogenada y dos densidades de siembra.

Variable: Rendimiento corregido					
Fuente de variación	d.f	s.s.	m.s	v.r	F p.r
<b>Estrato de repetición</b>	<b>2</b>	<b>156340697</b>	<b>78170349</b>	<b>26.40</b>	
Estrato					
<b>Híbrido.Repetición</b>	<b>3</b>	<b>25568643</b>	<b>8522881</b>	<b>2.88</b>	<b>0.125</b>
<b>Residual</b>	<b>6</b>	<b>17765073</b>	<b>2960846</b>	<b>0.55</b>	
Estrato					
<b>Híbrido.Densidad.</b>					
<b>Densidad</b>	<b>1</b>	<b>40443385</b>	<b>40443385</b>	<b>7.52</b>	<b>0.025</b>
<b>Híbrido.Densidad</b>	<b>3</b>	<b>3083531</b>	<b>1027844</b>	<b>0.19</b>	<b>0.899</b>
<b>Residual</b>	<b>8</b>	<b>43006824</b>	<b>5375853</b>	<b>1.92</b>	
Estrato					
<b>Híbrido.Densidad.</b>					
<b>Repetición.Nitrógeno</b>					
<b>Nitrógeno</b>	<b>2</b>	<b>7624177</b>	<b>3812088</b>	<b>1.36</b>	<b>0.270</b>
<b>Híbrido.Nitrógeno</b>	<b>6</b>	<b>20682829</b>	<b>3447138</b>	<b>1.23</b>	<b>0.316</b>
<b>Densidad.Nitrógeno</b>	<b>2</b>	<b>10970227</b>	<b>5485113</b>	<b>1.96</b>	<b>0.157</b>
<b>Híbrido.Densidad. Repetición</b>	<b>6</b>	<b>8468410</b>	<b>1411402</b>	<b>0.50</b>	<b>0.800</b>
<b>Residual</b>	<b>32</b>	<b>89523427</b>	<b>2797607</b>		
<b>Total</b>	<b>71</b>	<b>423477223</b>			

Tabla 3b. Tabla de valores medios obtenidos para las variables del análisis de la varianza para el rendimiento de un ensayo con cuatro híbridos de maíz, tres tratamientos de fertilización nitrogenada y dos densidades de siembra. De los cuales: híbrido; densidad y fertilización nitrogenada (notado como “nitrógeno”).

Variable: Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )							
Gran Media: 8871.							
Híbrido	22.6	2738	7010	8380			
	9067	8412	8248	9756			
Densidad	40000	60000					
	9620	8121					
Nitrógeno	120	180	240				
	9128	8412	9072				
Híbrido	Densidad	40000	60000				
	22.6	10095	8039				
	2738	9278	7546				
	7010	8767	7729				
	8380	10341	9171				
Híbrido	Nitrógeno	120	180	240			
	22.6	10223	8829	8150			
	2738	8480	7823	8933			
	7010	7897	7548	9299			
	8380	9914	9448	9906			
Densidad	Nitrógeno	120	180	240			
	40000	9387	9625	9849			
	60000	8870	7198	8295			
	Densidad	40000			60000		
Híbrido	Nitrógeno	120	180	240	120	180	240
	22.6	11008	10207	9070	9437	7450	7230
	2738	9247	9274	9313	7713	6372	8554
	7010	7439	8298	10564	8355	6798	8035
	8380	9853	10721	10449	9976	8174	9363

Tabla 3c. Tabla de valores de un análisis de Error Estándar de la Diferencia de Medias de un ensayo con cuatro híbridos de maíz, tres tratamientos de fertilización nitrogenada y dos densidades de siembra.

Error Estándar de la Diferencia de Medias				
Tabla	Híbrido	Densidad	Nitrógeno	Híbrido
				Densidad
rep.	18	36	24	9
s.e.d.	573.6	546.5	482.8	962.4
d.f.	6	8	32	13.7
Híbrido				1093
d.f.				8
Tabla	Híbrido	Densidad	Híbrido	
	Nitrógeno	Nitrógeno	Densidad	
			Nitrógeno	
rep.	6	12	3	
s.e.d.	975	780.7	1473	
d.f.	30.01	26.22	42.43	
Híbrido	965.7		1561.4	
d.f.	32		26.22	
Densidad		682.8		
d.f.		32		
Híbrido.Densidad			1365.7	
d.f.			32	
Híbrido.Nitrógeno			1561.4	
d.f.			26.22	

Tabla 3d. Tabla de valores de un análisis de Mínima Diferencia Significativa de un ensayo con cuatro híbridos de maíz, tres tratamientos de fertilización nitrogenada y dos densidades de siembra.

Mínima Diferencia Significativa (5%)				
Tabla	Híbrido	Densidad	Nitrógeno	Híbrido
				Densidad
rep.	18	36	24	9
I.s.d.	1403.5	1260.2	983.5	2068.5
d.f.	6	8	32	13.70
Híbrido				2520.4
d.f.				8
Table	Híbrido	Densidad	Híbrido	
				Densidad
				Nitrógeno
rep.	6	12	3	
I.s.d.	1991.2	1604.1	2971.7	
d.f.	30.01	26.22	42.43	
Híbrido	1967.0		3208.2	
d.f.	32		26.22	
Densidad		1390.9		
d.f.		32		
Híbrido.Densidad			2781.8	
d.f.			32	
Híbrido.Nitrógeno			3208.2	
d.f.			26.22	

Tabla 3e. Tabla de valores de un Análisis de Regresión Simple de un ensayo con cuatro híbridos de maíz, tres tratamientos de fertilización nitrogenada y dos densidades de siembra, para la variable rendimiento según las diferentes profundidades de tosca analizadas.

Análisis de regresión (profundidad tosca)					
Fuente	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regresión	1	1173406.	1173406.	2.05	0.155
Residuo	106	60549700.	571224.		
Total	107	61723106.	576851.		

A partir de los datos plasmados en las tablas anteriores, se pueden apreciar los valores resultantes de la interacción entre las variables “Híbrido-Densidad” (Fig. 6); “Híbrido-Nitrógeno” (Fig. 7); “Densidad-Nitrógeno” (Fig. 8) e “Híbrido-Nitrógeno” para la densidad de 40000 y 60000 pl.ha<sup>-1</sup> (Fig. 9a y 9b);

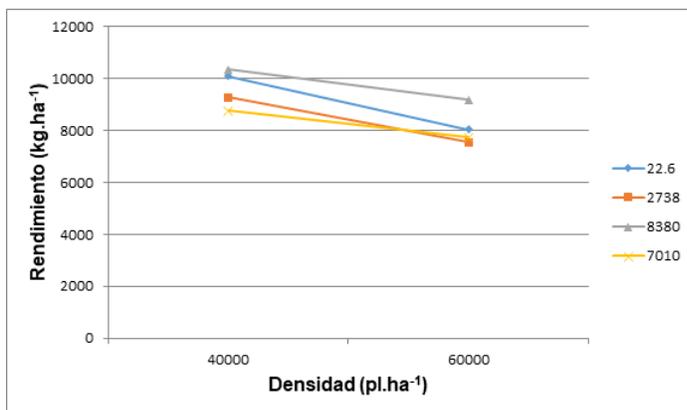


Fig. 6. Gráfico que demuestra la interacción híbrido-densidad de siembra para un ensayo con cuatro híbridos de maíz, tres tratamientos de fertilización nitrogenada y dos densidades de siembra.

Se observa que el híbrido 8380 (BRV8380PWUE) ha presentado los mayores valores de rendimiento promedio para ambas densidades estudiadas, siendo para la densidad de 40000 pl.ha<sup>-1</sup> igual a 10341 kg.ha<sup>-1</sup> y, para la densidad de 60000 pl.ha<sup>-1</sup> igual a 9171 kg.ha<sup>-1</sup>. Como contraparte, el híbrido 7010 (DK7010) produjo los menores valores de rendimiento promedio para la densidad de 40000 pl.ha<sup>-1</sup> (8767 kg.ha<sup>-1</sup>). Para la densidad de 60000 pl.ha<sup>-1</sup> el híbrido menos rendidor fue el 2738 (DM2738) que produjo 7546 kg.ha<sup>-1</sup> de grano.

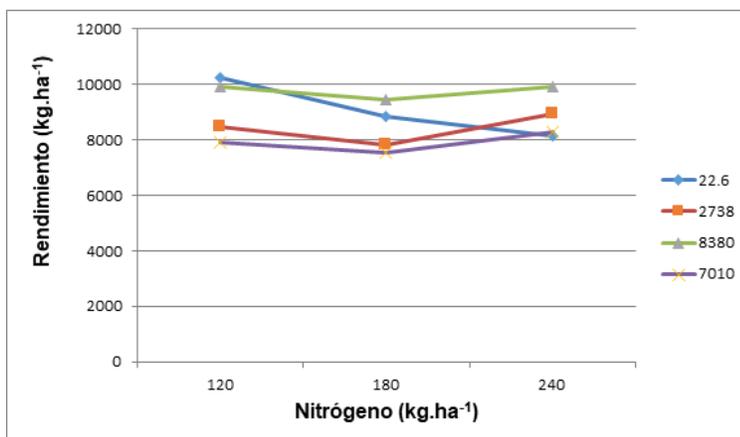


Fig. 7. Gráfico que demuestra la interacción híbrido-nitrógeno aplicado para un ensayo con cuatro híbridos de maíz, tres tratamientos de fertilización nitrogenada y dos densidades de siembra.

A partir de la información expresada en la Fig. 7 se puede evidenciar que, el híbrido 22.6 (NEXT22.6PW) tuvo un comportamiento negativo frente a aumento de la fertilización nitrogenada, disminuyendo su rendimiento promedio de manera proporcional. Este híbrido rindió 10223 kg.ha<sup>-1</sup> con la dosis de 120 kg.ha<sup>-1</sup> de fertilizante y, con la dosis de 240 kg.ha<sup>-1</sup>, rindió 8140 kg.ha<sup>-1</sup>. El híbrido 8380 (BRV8380PWUE) fue el menos afectado por el aumento de la fertilización, para la dosis de 120 kg.ha<sup>-1</sup> de fertilizante se obtuvo un rendimiento promedio de 9914 kg.ha<sup>-1</sup> y para la la dosis de 240 kg.ha<sup>-1</sup>, 9906 kg.ha<sup>-1</sup>. El resto de los híbridos presentaron una respuesta positiva en el rendimiento promedio al incrementar las dosis de fertilización nitrogenada.

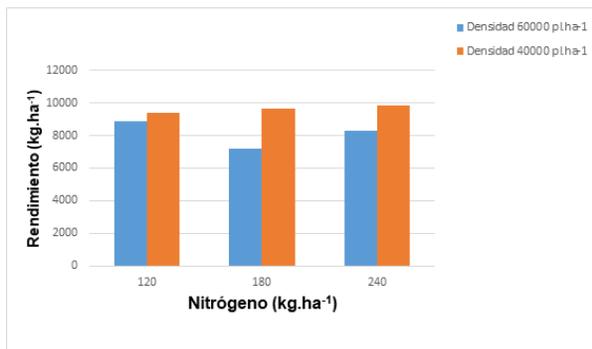


Fig. 8. Gráfico que demuestra la interacción densidad-nitrógeno para un ensayo con cuatro híbridos de maíz, tres tratamientos de fertilización nitrogenada y dos densidades de siembra.

Los resultados para el análisis de la interacción densidad-nitrógeno efectuados demuestran que la dosis de fertilización nitrogenada de 240 kg.ha<sup>-1</sup> aplicada sobre una densidad de 40000 pl.ha<sup>-1</sup> fue la que produjo los mayores valores de rendimiento promedio (9849 kg.ha<sup>-1</sup>). El menor rendimiento promedio (7198 kg.ha<sup>-1</sup>)

se obtuvo mediante la aplicación de una dosis de 180 kg.ha<sup>-1</sup> de fertilización nitrogenada, sobre una densidad de 60000 pl.ha<sup>-1</sup>.

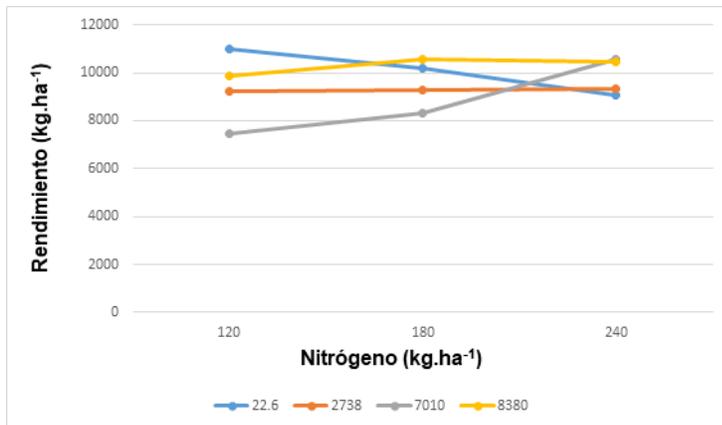


Fig. 9a. Gráfico que demuestra la interacción híbrido-nitrógeno para la densidad de 40000 pl.ha<sup>-1</sup> para un ensayo con cuatro híbridos de maíz, tres tratamientos de fertilización nitrogenada y dos densidades de siembra.

La Fig. 9a muestra que, para la densidad de 40000 pl.ha<sup>-1</sup>, el híbrido 7010 (DK7010) fue el que presentó los mayores incrementos en el rendimiento promedio cuando la dosis de fertilización aumentó. Aunque, para la dosis de 120 kg.ha<sup>-1</sup> de fertilizante, rindió 7439 kg.ha<sup>-1</sup>, siendo este el menor valor de rendimiento en comparación con el resto de los híbridos estudiados. Para la dosis de 240 kg.ha<sup>-1</sup> de fertilizante, este mismo híbrido rindió en promedio unos 10564 kg.ha<sup>-1</sup>, correspondiendo con el mayor valor obtenido comparado con el resto de los híbridos bajo análisis. En el caso del híbrido 22.6 (NEXT22.6PW), este presentó una respuesta negativa al aumentar la dosis de nitrógeno aplicada. El resto de los híbridos mantuvieron rendimientos promedios relativamente estables al recibir mayores dosis de fertilización nitrogenada.

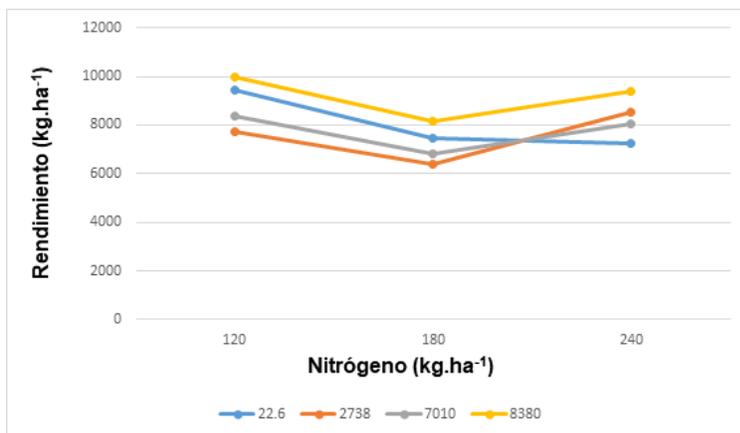


Fig. 9b. Gráfico que demuestra la interacción híbrido-nitrógeno para la densidad de 60000 pl.ha<sup>-1</sup> para un ensayo con cuatro híbridos de maíz, tres tratamientos de fertilización nitrogenada y dos densidades de siembra.

Para la densidad de 60000 pl.ha<sup>-1</sup>, los híbridos 8380 (BRV8380PWUE); 7010 (DK7010) y 2738 (DM2738) mantuvieron rendimientos promedios relativamente estables al recibir incrementos en la dosis de fertilización nitrogenada. El híbrido 22.6 (NEXT22.6PW) presentó una respuesta negativa a la fertilización, disminuyendo los valores de rendimiento promedio con el aumento de esta última. Para la dosis de 120 kg.ha<sup>-1</sup> de fertilizante el híbrido 22.6 rindió 9437 kg.ha<sup>-1</sup>, mientras que, para la dosis más alta, 240 kg.ha<sup>-1</sup>, el rendimiento promedio obtenido fue de 7230 kg.ha<sup>-1</sup>.

En síntesis, para la variable rendimiento (kg.ha<sup>-1</sup>) existieron diferencias significativas ante la variación de la densidad de plantación. La densidad de 40000 pl.ha<sup>-1</sup>. generó los valores más altos. Mientras que, el resto de los parámetros estudiados, se presentaron diferencias que resultaron no ser significativas. Asimismo, a través del análisis de regresión para la profundidad de tosca, se evidenció que la misma no afectó significativamente el rendimiento de ninguno de los híbridos en estudio.

#### 4. DISCUSIÓN

En el sitio y año del ensayo, las precipitaciones fueron un 66% menores a la media histórica registrada para los meses de duración del ciclo del cultivo, resultando en niveles de humedad inferiores al óptimo para el maíz, acentuándose el déficit en febrero, durante el período crítico. Este déficit hídrico afectó negativamente el llenado de granos y, consecuentemente el rendimiento final. Las bajas temperaturas durante la germinación y emergencia también pueden haber afectado negativamente el rendimiento. En discrepancia con lo expuesto por Leonardi (2012) y Ross (2012), la presencia de tosca no se tradujo en una reducción significativa del rendimiento.

Coincidiendo con Cerrudo (2019), Cirilo (1996), Timlin *et al.* (2014) y Li *et al.* (2018), se destaca que el rendimiento del maíz es menos estable frente a variaciones en la densidad de plantas en comparación con otros cultivos. La densidad de plantas se considera la herramienta de manejo más crucial para alcanzar el Índice de Área Foliar (IAF) crítico y maximizar la intercepción de radiación en los cultivos de maíz, lo que resulta en incrementos en el rendimiento. Este aumento está estrechamente relacionado con la Tasa de Conversión de Radiación (TCP) de la planta.

A medida que la densidad de siembra aumenta, el crecimiento por planta se ve afectado, lo que conduce a una reducción en el número de granos que cada planta puede sostener, principalmente debido a la competencia interna. Los recursos se asignan preferentemente a las estructuras dominantes, como la espiga principal, en detrimento de las inferiores. Esto puede llevar a un umbral mínimo de crecimiento por planta, por debajo del cual incrementos adicionales en la densidad podrían resultar en esterilidad.

En el contexto de limitaciones hídricas, se recomienda reducir la densidad de siembra para disminuir el consumo de agua durante las etapas vegetativas y favorecer su transferencia a etapas posteriores más críticas para el rendimiento. Este principio es especialmente relevante dado que el año del ensayo fue

caracterizado por condiciones secas, lo cual explica por qué el aumento de la densidad ( $60000 \text{ pl.ha}^{-1}$ ) resultó en una disminución del rendimiento debido a la competencia interna. De hecho, la densidad fue la única variable que mostró diferencias significativas en los rendimientos obtenidos; la reducción de la densidad ( $40000 \text{ pl.ha}^{-1}$ ) logró los mayores rendimientos promedio.

Aunque no se encontraron diferencias significativas entre los rendimientos de los diferentes híbridos evaluados, es importante considerar que en el manejo de la densidad de plantas para maximizar el rendimiento en un ambiente específico, se debe tener en cuenta la interacción con el genotipo, particularmente en relación con el ciclo del cultivar a utilizar. Esto es respaldado por Sarlangue *et al.* (2007), Torreani (2021) y Cerrudo (2019). Por lo tanto, sería pertinente continuar el ensayo con otros híbridos disponibles en el mercado para evaluar cómo varían en adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas del Partido de San Cayetano y su impacto en el rendimiento del maíz.

Basado en el estudio de García *et al.* (1999), se observó que algunos híbridos de maíz exhiben respuestas decrecientes a dosis elevadas de fertilización nitrogenada, mostrando eficiencias similares. Surge la interrogante sobre si dosis menores podrían ser más eficientes, ya sea aplicadas en la siembra, en V2 o de manera fraccionada. En el presente ensayo, la cantidad de nitrógeno aplicado fue suficiente para alcanzar los máximos rendimientos. Sin embargo, la suma del nitrógeno aplicado, incluyendo el del fertilizante y el mineralizado, excedió las necesidades para los rendimientos obtenidos, especialmente considerando las pérdidas por volatilización en un año seco, lo cual afectó la eficiencia de la aplicación.

En línea con Grasso (2017), se sugiere planificar la fertilización nitrogenada del maíz utilizando el "criterio de balance", ajustado según la eficiencia de fertilización específica del lote a sembrar. En este ensayo particular, no se observaron diferencias significativas entre las dosis probadas; la menor dosis de  $120 \text{ kg.ha}^{-1}$  fue suficiente para los rendimientos alcanzados. Según los requerimientos estimados de

nitrógeno, que consideran la mineralización inicial y la del fertilizante, el cultivo precisa entre 175 y 195 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrógeno.

Es fundamental realizar una estimación precisa del nitrógeno a aplicar para garantizar la rentabilidad de la fertilización y minimizar impactos ambientales adversos. Además, es crucial configurar la interacción entre la densidad de siembra y la fertilización de manera que se evite la contaminación ambiental. Las limitaciones hídricas también jugaron un papel determinante en la eficiencia de la fertilización nitrogenada en este ensayo, donde las dosis aplicadas estaban diseñadas para obtener mayores rendimientos, aunque fueron restringidas principalmente por condiciones de sequía.

## **5. CONCLUSIÓN**

Se acepta la primera y segunda hipótesis planteadas y se descarta la tercera. La densidad de plantas fue la única variable que presentó diferencias significativas. Siendo la menor, de 40000 pl.ha<sup>-1</sup> la que produjo los rangos de valores más elevados para el rendimiento. La reducción de las densidades de siembra contribuyen a un manejo más eficiente del uso del agua en situaciones de estrés hídrico, disminuyendo el consumo de agua durante las etapas vegetativas y favoreciendo su transferencia a etapas posteriores más críticas para el rendimiento. Las tres dosis diferentes de fertilizante nitrogenado (120 kg N ha<sup>-1</sup>; 180 kg N ha<sup>-1</sup> y 240 kg N ha<sup>-1</sup>) aplicadas en V2, no generaron incrementos significativos en el rendimiento y resultaron ser excesivas para los requerimientos nutricionales del cultivo de maíz. En años de bajas precipitaciones, se recomienda reducir la dosis de fertilizante nitrogenado para optimizar su eficiencia en la producción de biomasa y rendimiento del cultivo. Además, ninguno de los híbridos bajo estudio presentó una diferencia significativa en su aptitud para generar rendimientos elevados al ser sometidos a densidades distintas, con tres dosis de fertilizante nitrogenado diferentes y bajo condiciones de profundidad variable de tosca en el perfil de un lote ubicado en el Partido de San Cayetano, Provincia de Buenos Aires. Argentina. Por

lo que se debe considerar la posibilidad de continuar con ensayos de la misma índole, a fin de conocer aún más el comportamiento de los materiales comerciales actuales disponibles en nuestro país y así adecuar las dosis de fertilización nitrogenada de acuerdo al criterio balance de nutrientes.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Alexandratos, N. & Brunisma, J. 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper Rome, FAO. Disponible en: <https://www.fao.org/4/ap106e/ap106e.pdf> [Último acceso: julio 2024]
- Anderson, E. & Cutler, H. 1942. Races of Zea mays: I. Their recognition and classification. Ann. Miss. Bot. Garden 29:69-89. <https://www.biodiversitylibrary.org/part/17003> [Último acceso: julio 2024]
- Andrade, F. H., Cirilo, A., Uhart, S. & Otegui, M. 2023. Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz. Disponible en: [http://www.maizar.org.ar/documentos/cultivo%20de%20maiz\\_version%20digital.pdf](http://www.maizar.org.ar/documentos/cultivo%20de%20maiz_version%20digital.pdf) [Último acceso: julio 2024]
- Andrade, F.H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. Field Crops Research. 41:1-12
- Andrade, F.H. 2011. La tecnología y la producción agrícola. El pasado y los actuales desafíos, INTA. EEA Balcarce, Centro Regional Buenos Aires Sur, Balcarce, Bs. As., Argentina. Disponible en: [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/104007/mod\\_resource/content/1/La\\_tecnologia\\_y\\_la\\_produccion.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/104007/mod_resource/content/1/La_tecnologia_y_la_produccion.pdf). [Último acceso: julio 2024]
- Andrade, F.H., Sala, R., Pontaroli, A., León, A. & Castro, S. 2015. Integration of biotechnology, plant breeding and crop physiology. Dealing with complex interactions from a physiological perspective. In: Sadras, V., Calderini, D. (Eds.), Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy. Elsevier Science, New York, pp. 487–503.

- Andrade, F.H., Vega, C., Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M. & Valentinuz, O., 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Science* 39, 453-459. doi:10.2135/cropsci1999.0011183X0039000200026x
- BCR. Bolsa de Comercio de Rosario. 2022. Aporte del maíz a la economía argentina. Año XXXIX - N° Edición 2042 - Especial Campaña de Maíz 2021/22 - 11 de Marzo de 2022. Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/aporte-del>. [Último acceso: febrero 2024].
- BCR. Bolsa de Comercio de Rosario. 2023. Se estiman 59 Mt para el maíz 2023/34 y sería récord para Argentina. Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/gea/estimaciones-nacionales-de-produccion/estimaciones/se-estiman-59-mt-para-el-maiz> [Último acceso: julio 2024]
- BCR. Bolsa de Comercio de Rosario. 2024. El Agro argentino en el mundo: Ranking mundial de exportaciones. Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/el-agro#:~:text=Argentina%20ocupa%20el%20segundo%20lugar,anuales%20por%2031%20Mt%20respectivamente> [Último acceso: julio 2024]
- Benítez Cardoza, C. G. & Pfeiffer Perea, H. 2006. El maíz: origen, composición química y morfología. Disponible en: <https://www.iim.unam.mx/revista/pdf/numero07.pdf#page=19>. [Último acceso: febrero 2024].
- Brunisma, J. 2009. The resource outlook to 2050: by how much do land, water, and crop yields need to increase by 2050?. FAO Expert Meeting on “How to Feed the World in 2050.” Roma, Italia. Junio 2009. pp. 118–150.

- Cassman, K. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. Proc. Natl. Acad. Sci. 96:5952–5959. doi:10.1073/pnas.96.11.5952
- Cerrudo A., Monzon J.P., DiMatteo J., Aramburu F., Rizzalli R. & Andrade F. 2013. Manejo del cultivo de maíz en ambientes con restricciones hídricas. Disponible en: [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/101613/CONICET\\_Digital\\_Nro.7a7d5183-f781-4788-9783-f0da9109281a\\_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/101613/CONICET_Digital_Nro.7a7d5183-f781-4788-9783-f0da9109281a_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y) [Último acceso: julio 2024]
- Cerrudo, A. 2019. Red de maíz del sur de buenos aires de Aapresid. Siembra tardía. Disponible en: [https://www.aapresid.org.ar/wpcontent/uploads/sites/6/2019/11/DIGITAL\\_RED-DE-MAIZ-BSAS\\_1819.pdf](https://www.aapresid.org.ar/wpcontent/uploads/sites/6/2019/11/DIGITAL_RED-DE-MAIZ-BSAS_1819.pdf) [Último acceso: julio 2024]
- Cirilo A.G., 1996 Rendimiento del cultivo de maíz - Manejo de la densidad y distancia entre surcos. Disponible en: [https://www.academia.edu/33347192/Manejo\\_de\\_la\\_Densidad\\_y\\_Distancia\\_entre\\_Surcos\\_en\\_Ma%C3%ADz](https://www.academia.edu/33347192/Manejo_de_la_Densidad_y_Distancia_entre_Surcos_en_Ma%C3%ADz) [Último acceso: julio 2024]
- Cirilo, A.G. & Andrade F.H., 1994. Sowing date and maize productivity. I. Crop growth and dry matter partitioning. Crop Sci. 34, 1039-1043.
- CIRN. Centro de Investigación de Recursos Naturales. Carta de suelos Serie Cinco Cerros. Disponible en: <https://zenodo.org/records/6353509/files/Cinco%20Cerros.pdf?download=1> [Último acceso: julio 2024]
- CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2016. Programa de conservación de maíz criollo en México. Disponible en: [https://www.google.com/url?q=https://www.conanp.gob.mx/maiz\\_criollo/maiz%2520final.pdf&sa=D&source=docs&ust=1707373966650502&usg=AOvVaw1agamliw1WaeYXraMKIz2e](https://www.google.com/url?q=https://www.conanp.gob.mx/maiz_criollo/maiz%2520final.pdf&sa=D&source=docs&ust=1707373966650502&usg=AOvVaw1agamliw1WaeYXraMKIz2e). [Último acceso: febrero 2024].

- DeBruin, J.L., Schussler, J. R., Mo, H. & Cooper, M. 2017. Grain yield and nitrogen accumulation in maize hybrids released during 1934 to 2013 in the US Midwest. *Crop Sci.* 57(3): 1431–1446. doi: 10.2135/cropsci2016.08.0704.
- DHAOGTR (Department of Health and Ageing Office of the Gene Technology Regulator). 2008. *The Biology of Zea mays L. Ssp mays: maize and corn.* Office of Gene Technology Regulator. Australian Government. <https://www.ogtr.gov.au/resources/publications/biology-zea-mays-l-ssp-mays-maize-or-corn> [Último acceso: julio 2024]
- Duvick, D. 2005. The contribution of breeding to yield advances in maize. pp. 83-145. In: D.N. Sparks (Ed.) *Advances in Agronomy*, Vol. 86. Academic Press, San Diego, CA. doi:10.1016/S0065-2113(05)86002-X
- Eyherabide H.G. (2006). Mejoramiento genético de maíz y su trayectoria en la Argentina. *Revista Maizar* 2:14-21.
- FAO. 2009. *The future of food and agriculture. Rome. La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050.* Disponible en: [https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues\\_papers/Issues\\_papers\\_SP/La\\_agricultura\\_mundial.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf) [Último acceso: julio 2024]
- FAO. 2012. *Crop Evapotranspiration (Guidelines for computing crop water requirement).* Irr. & Drain. 56:163. Government of Pakistan. 2010. *Economic Survey of Pakistan.* Ministry of Finance, Govt. Pak. Isl. p.22
- FAO. USDA Soil Taxonomy. 2014. *The twelve orders of soil taxonomy. Twelfth Edition* Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/usda-soil-taxonomy/en> [Último acceso: julio 2024]
- Fischer, T., Byerlee, D. & Edmeades, G.O. 2014. *Crop yields and global food security: will yield increase continue to feed the world?*, ACIAR Monograph. Australian Centre for International Agricultural Research, Cranberra, Australia. 634p.

- García F., Fabrizzi K., Picone L., & Justel F. 1999. Volatilización de amoníaco a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente bajo siembra directa y labranza convencional. 14° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile. 8-12 Noviembre 1999.
- García, F. O. 2005. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Disponible en: <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/nutricion-en-el-cultivo-de-maiz-ipni-f-garcia-2005.pdf> [Último acceso: julio 2024]
- Gear, J. R. 2006. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. (s/f). Maíz y Nutrición. Tripod.com. Disponible en: <https://gabrieluzca.tripod.com/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/maizynutricion.pdf#page=4> [Último acceso: julio 2024]
- Golik, S. I., Larran, S., Gerard, G. S., & Fleitas, M. C. 2018. Cereales de verano (M. R. Simón & S. I. Golik, Eds.). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/162758> [Último acceso: julio 2024]
- Grassini, P., Eskridge, K.M., Cassman, K.G., 2013. Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. Nat. Commun., 4. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/ncomms3918> [Último acceso: julio 2024]
- Grasso, A. & Díaz-Zorita, M. 2020. Manual de buenas prácticas de manejo de fertilización. 2da edición ampliada y actualizada. Disponible en: [https://www.fertilizar.org.ar/subida/BMPN/BPMN\\_Fertilizar102018.pdf](https://www.fertilizar.org.ar/subida/BMPN/BPMN_Fertilizar102018.pdf). [Último acceso: julio 2024]
- Grasso, A. 2017. Modelos de Manejo Integrados de Nutrición en Maíz. Disponible en:

<https://horizonteadigital.com/modelos-de-manejo-integrados-de-nutricion-en-maiz-por-ing-agr-andres-grasso/> [Último acceso: julio 2024]

- Kiniry, J., Ritchie, J., Musser, R., Flint, E. & Iwig, W. 1983. The photoperiod sensitive interval in maize. *Agron. J.* 75:687-690 doi:10.2134/agronj1983.00021962007500040026x [Último acceso: julio 2024]
- Leonardi, M. 2012. Comportamiento sitio-específico de la soja en el centro sur bonaerense. Tesis para obtener el título de grado en el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Buenos Aires.
- Li J., Xie, R. Z., Wang, K. R., Hou, P., Ming, B., Zhang, G. Q., Liu, G. Z., Wu, M., Yang, Z. S. & L, S. K. 2018. Response of canopy structure, light interception and grain yield to plant density in maize. *Journal of Agricultural Science* 156: 785-794.
- Lobell, D.B., Cassman, K.G., Field, C.B., 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 34, 179–204. doi:10.1146/annurev.environ.041008.093740
- Maddonni G. A., Parco, M. & Rotili, D. H. 2021. Manejo de la estructura del cultivo de maíz en ambientes marginales de la Argentina. *Agronomía y Ambiente, Revista de la Facultad de Agronomía UBA*, 41(2): 84-99.
- Magrin, G., Travasso, M. & Rodríguez, G. 2005. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change* 72: 229-249. doi:10.1007/s10584-005-5374-9
- Mercou, J.L. & Otegui, M.E. 2014. A modeling approach to explore water management strategies for latesown maize and double-cropped wheat-maize in the rain-fed Pampas region of Argentina. En: Lajpat Ahuja, Liwang Ma, Robert Lascano (Eds), 'Advances in Agricultural Systems Modeling'. ASA-CSSASSA, Baltimore, EEUU. pp. 351-374.
- Montenegro, M. A. 2016. Caracterización de la estabilidad en el rendimiento de cuatro híbridos de maíz (*zea mays* l.) A través de rasgos ecofisiológicos asociados a

la determinación del número de granos. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/53694/Documento\\_completo\\_\\_.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/53694/Documento_completo__.pdf?sequence=3&isAllowed=y) [Último acceso: julio 2024]

- Otegui, M.E., Nicolini, M.G., Ruiz, R.A. & Dodds, P. 1995. Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agron. J.* 87, 29-33.

- PAS. Panorama Agrícola Semanal. 2015. Bolsa de Cereales, Argentina. Disponible en: <http://bibliotecadigital.bolsadecereales.com.ar/greenstone/collect/pubper/index/assoc/HASH22ed/5cba8d8d.dir/PAS2015.,%2010%20dic.pdf> [Último acceso: julio 2024]

- Portugal, J. & Torres, F. 2018. Evaluación de la eficiencia de fertilización nitrogenada con la aplicación de inhibidor de la ureasa (NBPT) sobre el rendimiento en grano de maíz. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/67924/Documento\\_completo\\_\\_\\_.PDF.pdf-PDFA1b.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/67924/Documento_completo___.PDF.pdf-PDFA1b.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [Último acceso: julio 2024]

- Reussi Calvo N., Diovisalvi N., Berardo Á., & García F.O. 2020. Del paper al lote: ¿Cuándo, cómo y por qué debería fertilizar mis maíces?. Disponible en: <https://laboratoriofertilab.ar/newsletters/20200722/index.html> [Último acceso: julio 2024]

- Rios Asanza, C. A. 2021. Caracterización morfoagronómica y fisicoquímica de 15 accesiones de maíz (*Zea mays* L.) Con fines de fitomejoramiento. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16564/1/TTUACA-2021-IA-DE00030.pdf> [Último acceso: febrero 2024].

- Ritchie J.T. & Hanway J.J. 1982. How corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special Report N°48

- Ross F., & Manso M.L. 2013. Cultivo de cobertura-maíz en suelos someros del centro-sur bonaerense. Disponible en:

[https://aws.agroconsultasonline.com/documento.html?op=d&documento\\_id=1070](https://aws.agroconsultasonline.com/documento.html?op=d&documento_id=1070)  
[Último acceso: julio 2024]

- Ross, F. 2012. Densidad de plantas en maíz: Ajuste por ambiente. Disponible en: <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2012/12/11.pdf>. [Último acceso: julio 2024]
- Sainz Rozas H., Echeverría H., Studdert G., & Andrade F. 1999. No-till maize nitrogen uptake and yield: Effect of urease inhibitor and application time. *Agron. J.* 91:950-955.