



Pontificia Universidad Católica Argentina

Ingeniería Agronómica

“Ensayo comparativo de Rendimiento de Híbridos de Maíz de siembra temprana”

Trabajo final de graduación para optar por el título de Ingeniero Agrónomo

- **Autor: Francisco Tomás Fabiani.**
- **Tutor: Jecke Fernando Ariel.**
- **Fecha de defensa: 2025.**

Índice

1. **Introducción** – pág. 3
 - 1.1. Mejoramiento genético en maíz – pág. 3
 - 1.2. Botánica del maíz – pág. 4
 - 1.3. Estadios de desarrollo del maíz – pág. 4
 - 1.4. Factores que determinan el rendimiento – pág. 5
 - 1.5. Fenómeno El Niño - La Niña y su impacto en el cultivo de maíz – pág. 5
 - 1.6. Densidad de siembra: influencia en el rendimiento del cultivo – pág. 6
 - 1.7. Relación entre densidad, fecha de siembra y disponibilidad hídrica – pág. 6
 - 1.8. Históricos de rendimiento de maíz en San Antonio de Areco – pág. 7
2. **Experiencia en la Unidad Demostrativa Agrícola INTA San Antonio de Areco** - pág.8
 - 2.1. Materiales y métodos – pág. 8
3. **Resultados** – pág. 10
4. **Conclusiones** – pág. 15
5. **Agradecimientos** – pág. 16
6. **Bibliografía** – pág. 17

1. Introducción:

El maíz (*Zea mays* L.) es una de las plantas más antiguas domesticadas por la humanidad. A lo largo de los años, el ser humano y el maíz han evolucionado juntos, dando lugar a una especie que no puede crecer de forma salvaje ni sobrevivir en la naturaleza sin la intervención del hombre (Wilkes, 2004). Actualmente, el maíz es uno de los cultivos más productivos a nivel mundial, ocupando el segundo lugar en producción después del trigo, mientras que el arroz se encuentra en tercer lugar. Sin embargo, destaca por ser el cultivo con el mayor rendimiento de grano por hectárea, lo que lo convierte en una fuente clave de carbohidratos (FAO, 2021). Además de su importancia en la alimentación humana y animal, el maíz juega un papel fundamental en la industria, siendo materia prima para productos como biocombustibles y otros derivados industriales (FAO, 2021).

En la última década, los principales productores de maíz en términos de superficie sembrada han sido Estados Unidos, China y Brasil. Estados Unidos lidera con aproximadamente 37,5 millones de hectáreas dedicadas al cultivo de maíz (USDA, 2023), seguido por China con alrededor de 42 millones de hectáreas (FAO, 2021) y Brasil con cerca de 18 millones de hectáreas (CONAB, 2023).

Argentina, por su parte, se ha consolidado como uno de los principales productores mundiales, ocupando el cuarto lugar con aproximadamente 7,9 millones de hectáreas sembradas (Bolsa de Cereales de Buenos Aires, 2024). Este crecimiento en la superficie cultivada en Argentina, que ha más que duplicado en los últimos 20 años, ha sido impulsado por avances tecnológicos y una mayor competitividad en el mercado global (Ministerio de Agricultura de Argentina, 2023). México también se destaca con una superficie sembrada de alrededor de 7 millones de hectáreas (SIAP, 2023). Estos datos reflejan la importancia del maíz en la agricultura global y la posición estratégica de Argentina en este contexto.

1.1 Mejoramiento genético en maíz

La genética desempeña un papel fundamental en el cultivo de maíz, ya que permite el desarrollo de híbridos con características mejoradas, como mayor rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, resistencia a distintos tipos de herbicidas y adaptación a diversas condiciones climáticas. Estas mejoras han sido posibles gracias a programas de mejoramiento genético que combinan técnicas de mejoramiento con herramientas biotecnológicas avanzadas. A nivel global, se ha observado un incremento sostenido en el rendimiento del maíz durante los últimos 50 años, con una tasa de ganancia anual estimada en 1,6%, resultado de avances genéticos y mejoras en el manejo agronómico (Cirilo, 2012).

En Argentina, los semilleros han realizado aportes significativos al progreso genético del maíz. Estudios indican que la ganancia global en rendimiento de grano fue de 144 kg por hectárea por año, representando un aumento anual del 2,59%. Este progreso se atribuye tanto a la introducción de híbridos más eficientes como a prácticas agronómicas mejoradas (Chazarreta, 2019).

La innovación en programas de mejoramiento genético ha sido clave para el desarrollo de híbridos adaptados a las necesidades específicas de los productores. La inversión en investigación ha permitido ofrecer materiales con características deseables.

En resumen, la genética ha sido y continúa siendo un pilar esencial en la innovación y desarrollo del cultivo de maíz, tanto en Argentina como a nivel global. Los avances en mejoramiento genético han permitido obtener híbridos más productivos y adaptados a diversas condiciones, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria y al desarrollo agrícola sostenible.

1.2 Botánica del maíz:

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta anual de la familia Poaceae que se caracteriza por contar con un tallo cilíndrico, sólido y con nudos bien definidos. Sus hojas son alternas, alargadas y envainadoras. Este cultivo es una especie alógama, lo que significa que su reproducción se da mayormente por polinización cruzada. Esto ocurre por ser una planta monoica, es decir, que posee flores masculinas y femeninas separadas en la misma planta. Las masculinas se agrupan en una panoja terminal y las femeninas en espigas envueltas por chalas a lo largo de la planta (Golik et al., 2018).

En cuanto al sistema radicular el maíz presenta un sistema fasciculado, con raíces principales que pueden alcanzar hasta 1,5 metros de profundidad, concentrándose mayormente en los primeros 60 cm del suelo, donde se da la mayor absorción de agua y nutrientes. Además, desarrolla raíces adventicias a partir de los nudos basales del tallo, las cuales mejoran la estabilidad de la planta y favorecen su anclaje al suelo (Ciampitti & Vyn, 2012).

1.3 Estadios de Desarrollo del maíz

El desarrollo del maíz se divide en dos fases principales: vegetativa (V) y reproductiva (R).

- **Fase Vegetativa (V):** Comienza con la emergencia de la plántula (VE), seguida por la aparición secuencial de hojas (V1, V2, V3, etc.). Durante esta etapa, la planta establece su estructura foliar y radicular, preparándose para la floración (Toledo, 2018).
- **Fase Reproductiva (R):** Se inicia con la floración, la cual se caracteriza con la aparición de los estilos o "cabellos" en la espiga (R1), seguida de la polinización y fecundación (R2), formación del grano (R3-R4), llenado del grano (R5) y finaliza con la maduración fisiológica (R6), momento en que el grano alcanza su máximo contenido de materia seca (Toledo, 2018).

El período crítico más determinante es durante la **floración y polinización**, ya que define el número de granos por espiga. Cualquier factor que limite el desarrollo en este momento impactará fuertemente en el rendimiento final del cultivo, elevadas temperaturas y estrés hídrico durante este proceso pueden provocar aborto en las flores que como consecuencia el número de granos por espiga, uno de los componentes de rendimiento.

1.4 Factores que determinan el rendimiento:

El rendimiento del cultivo de maíz está determinado por cuatro factores principales: radiación, temperatura, concentración de CO₂ en la atmósfera y su genética. Estos factores establecen el rendimiento potencial, que representa el máximo rendimiento posible bajo condiciones óptimas. Sin embargo, en condiciones reales a campo, el rendimiento alcanzable se ve afectado por limitaciones como la disponibilidad de agua y nutrientes. Además, la presencia de plagas y enfermedades afecta negativamente en el rendimiento, dando lugar a lo que se conoce como rendimiento real. La determinación del rendimiento potencial es de gran importancia para cuantificar pérdidas y diseñar estrategias de manejo que permitan reducir la brecha entre lo obtenido y lo esperado en cada zona productiva (Rendimiento Potencial de Maíz, Reporte Campaña 2019/20).

Entre los factores ambientales, la radiación solar juega un papel fundamental en la producción de materia seca, especialmente en los períodos críticos donde se define el rendimiento del cultivo. La eficiencia en la captura de la radiación solar está estrechamente relacionada con la densidad de plantas, un factor determinante en el desarrollo del maíz. El rendimiento pierde estabilidad a medida que varía la cantidad de plantas por hectárea, ya que la competencia por agua y nutrientes se intensifica en situaciones de sequía o falta de fertilidad del suelo. En especial, si el agua escasea durante la floración, la producción de granos puede disminuir considerablemente. Por eso, es fundamental ajustar la densidad de siembra según el clima de cada región. En zonas con lluvias abundantes, es posible sembrar más plantas por hectárea, mientras que, en áreas con menos precipitaciones, una menor densidad ayuda a aprovechar mejor los recursos disponibles (Andrade F.H., et al., 1996).

1.5 Fenómeno El Niño - La Niña y su Impacto en el cultivo de maíz:

El Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es una variabilidad climática natural que se manifiesta a través de fluctuaciones en la temperatura del océano en la región central y oriental del Pacífico ecuatorial, acompañadas de cambios en la circulación atmosférica. Estas variaciones tienen un impacto significativo en las condiciones climáticas de diversas regiones del mundo, incluyendo Argentina.

El ENOS se compone de tres fases: El Niño, La Niña y una fase neutra. Las dos primeras fases se refieren a cambios anormales en la temperatura de los océanos, mientras que la Oscilación del Sur representa su componente atmosférico. Este fenómeno ocurre en ciclos de entre dos y siete años, y se considera activo cuando la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial oriental supera o cae 0,5°C por encima o por debajo del promedio durante al menos cinco trimestres consecutivos.

En la región pampeana argentina, el ENOS influye directamente en la variabilidad climática y, por ende, en la producción agrícola. Durante los eventos de El Niño, el aumento de precipitaciones tiende a mejorar el rendimiento de los cultivos, mientras que, en La Niña, la reducción de las lluvias puede generar déficits hídricos que afectan negativamente su desarrollo. Sin embargo, estos efectos no son homogéneos en toda la región: el impacto del ENOS es más pronunciado en el norte de la región pampeana, disminuyendo progresivamente hacia el sur (Fernandez Long et al.).

1.6 Densidad de siembra: Influencia en el rendimiento del cultivo.

La cantidad de plantas por hectárea es un factor determinante en el rendimiento del cultivo de maíz. Un aumento en la densidad de siembra provoca una reducción en el rendimiento individual de cada planta debido a una mayor competencia por recursos esenciales como luz, agua y nutrientes. No obstante, el rendimiento total del cultivo puede incrementarse hasta alcanzar un punto óptimo, a partir del cual una mayor densidad comienza a perjudicar el desarrollo del maíz.

Uno de los componentes más afectados por la densidad es la cantidad de granos formados por planta, ya que un crecimiento limitado durante la floración puede comprometer la formación de espigas y disminuir significativamente el número de granos a lograr. En situaciones de alta densidad, la competencia extrema puede incluso provocar la esterilidad de algunas plantas, reduciendo la productividad del cultivo (Cirilo & Andrade, 1994).

La respuesta del maíz a la densidad de siembra puede variar según la disponibilidad de agua y nutrientes. En sistemas con buena disponibilidad hídrica y nutricional, es posible utilizar densidades más altas sin afectar negativamente el rendimiento. Sin embargo, en escenarios de estrés hídrico o deficiencias de nutrientes, un aumento excesivo en la densidad puede llevar a una reducción del rendimiento, ya que las plantas no logran desarrollarse adecuadamente. En estos casos, una estrategia de menor densidad de siembra permite reducir la competencia entre plantas y optimizar la producción por unidad de superficie (Satorre, 2002).

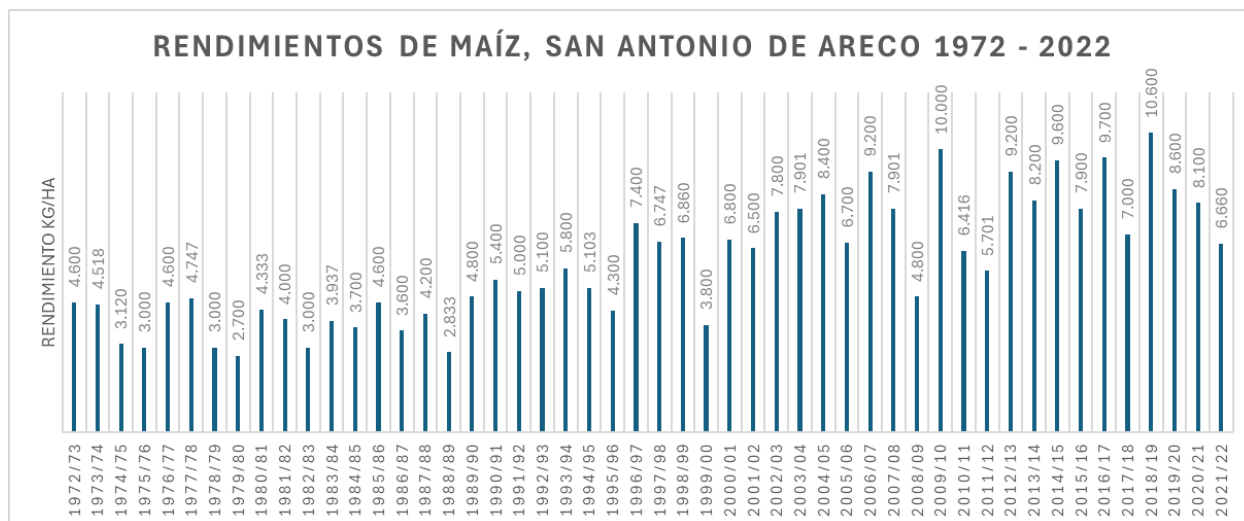
1.7 Relación entre Densidad, Fecha de Siembra y Disponibilidad Hídrica

La interacción entre la densidad de siembra, la fecha de implantación y la disponibilidad de agua es otro de los factores clave para determinar el rinde del cultivo. Cuando la siembra se realiza en fechas tardías, el período crítico del cultivo, como la floración, ocurre bajo condiciones de menor radiación solar, lo que limita su crecimiento y desarrollo (Maich, 2023). En estos casos, una alta densidad de plantas puede intensificar la competencia por recursos esenciales como agua y nutrientes, reduciendo la cantidad de granos por espiga y afectando el rendimiento final (Satorre, 2002).

Se ha observado que, en siembras tempranas y bajo buenas condiciones hídricas, un incremento en la densidad de 60.000 a 90.000 plantas por hectárea puede mejorar la productividad. Sin embargo, en situaciones de menor disponibilidad de agua, densidades elevadas pueden resultar perjudiciales debido a la mayor demanda de recursos por planta (Satorre, 2002). Es por eso que, ajustar la densidad de siembra en función de la disponibilidad de agua y la fecha de implantación es una estrategia clave para optimizar el rendimiento del cultivo.

1.8 Históricos de rendimiento de maíz en San Antonio de Areco

Gráfico 1: Rendimientos promedio de maíz en el partido de San Antonio de Areco, serie 1972 – 2022.



Fuente: (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2022).

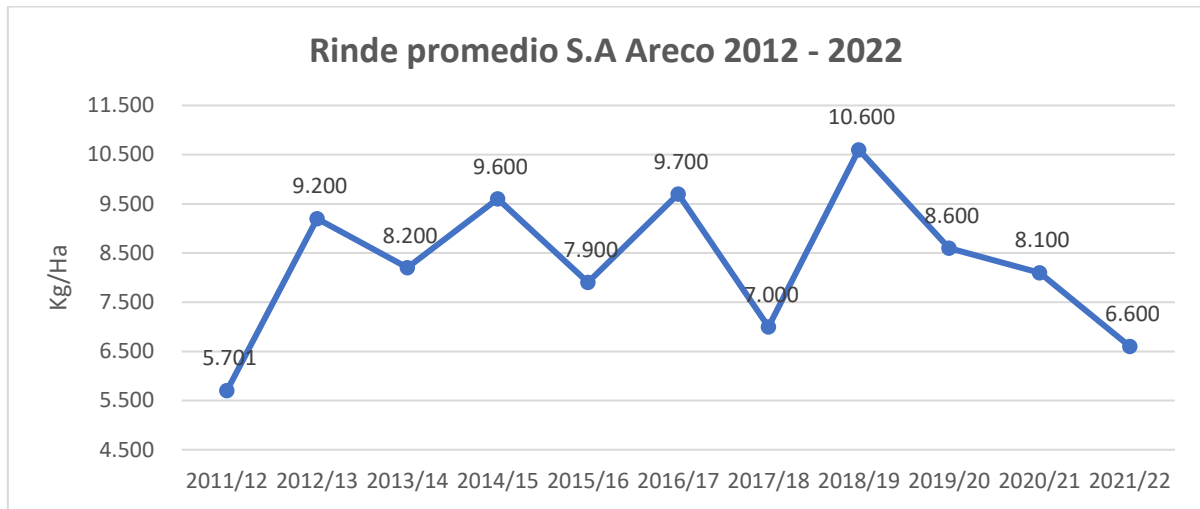
El análisis de los datos históricos de rendimiento del cultivo de maíz en el partido de San Antonio de Areco, durante el período 1972-2022, muestra una evolución significativa. Para estos 50 años, el rendimiento promedio se ubicó en 5.970 kg/ha (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2022).

A partir de la década de 1990, se observa una tendencia creciente en los rendimientos de los híbridos de maíz. En particular, desde 1996, con la introducción de los primeros híbridos transgénicos desarrollados por la industria, los rendimientos comenzaron a incrementarse de manera sostenida, consolidando una trayectoria de crecimiento y estabilidad productiva a lo largo de las campañas. Si bien existen fluctuaciones en determinadas campañas debido a factores ambientales, como la variabilidad en las precipitaciones asociada a los fenómenos de El Niño y La Niña, la tendencia general evidencia una mejora considerable en la productividad del cultivo.

Comparando distintos períodos, se aprecia que entre 1972 y 1990 el rendimiento promedio fue de 4.038 kg/ha, mientras que en la serie 1996-2022, tras la introducción de materiales transgénicos, el rendimiento medio ascendió a 7.634 kg/ha. Este aumento refleja el impacto positivo del mejoramiento genético y la incorporación de biotecnologías en el germoplasma del maíz por parte de la industria semillera.

Si enfocamos el análisis a las últimas dos décadas (2002-2022), se constata que el rendimiento promedio continuó en ascenso, alcanzando 8.019 kg/ha. Estos datos confirman el papel clave de la innovación genética y tecnológica en la mejora de la productividad del maíz en Argentina, permitiendo optimizar la eficiencia y la estabilidad del cultivo en diferentes campañas.

Gráfico 2: Rendimientos promedio de maíz en el partido de San Antonio de Areco, serie 2012 – 2022.



Fuente: (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2022).

2. Experiencia en la Unidad Demostrativa Agrícola INTA San Antonio de Areco.

Se plantea como hipótesis que: existen diferencias productivas y de calidad entre los diferentes híbridos de maíz recomendados para siembras tempranas en el norte de la provincia de Buenos Aires.

El objetivo de este ensayo es poder evaluar aspectos productivos y de calidad de diferentes híbridos comerciales de maíz de siembra temprana en el norte de la provincia de Buenos Aires de acuerdo con el pronóstico climático de mediano plazo y las condiciones hídricas que afecten a los materiales en cuestión.

2.1 Materiales y métodos:

El ensayo se llevó a cabo durante la campaña de gruesa 2021/2022 en la Unidad Demostrativa de la Agencia de Extensión Rural del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de la localidad de San Antonio de Areco específicamente en las instalaciones del establecimiento “La Fe” con las siguientes coordenadas 34°12'27.0"S 59°32'43.9"W, ubicado en kilómetro 80 de la Ruta Nacional N°8.

El mismo se realizó sobre un suelo de la Serie Capitán Sarmiento (Sm11), clasificado como Argiudol vértico, familia fina, illítica, térmica (según Soil Taxonomy, versión 2014). El perfil se ubica a 34° 13' 20" S y 59° 36' 40" O, a una altitud de 52 m.s.n.m., y se encuentra a 2,7 km al este-sudeste de la estación Duggan (F.C.G.B.M.), en el partido de Capitán Sarmiento, provincia de Buenos Aires (Mosaico I.G.M. 3560-4-4, Duggan). El suelo es bien drenado, presenta un escurrimiento medio y una permeabilidad moderada. El horizonte Bt posee una textura arcillosa y arcillo-limosa, con un contenido de arcilla que varía entre el 40 % y el 60 %. En algunos perfiles del horizonte C, se puede encontrar material calcáreo a casi 2 m de profundidad, dependiendo de la posición en el relieve. La mayor parte del área está destinada a la agricultura, con cultivos predominantes como maíz, trigo y soja. La siguiente tabla presenta la descripción analítica de la serie.

Tabla 1: Descripción analítica de la serie de suelos Capitán Sarmiento (Fuente: Carta de Suelos de la República Argentina).

Horizontes	Ap1	Ap2	BAt	Bt	Bt	BCt	C
Profundidad (cm)	0-16	16-28	28-38	38-56	56-97	97-180	180-225
Mat. orgánica (%)	3,96	2,93	1,63	1,29	0,58	0,34	0,25
Carbono total (%)	2,30	1,70	0,95	0,75	0,40	0,20	0,15
Nitrógeno (%)	0,224	0,159	0,106	0,084	0,051	0,026	0,024
Relación C/N	10	11	9	9	8	8	6
Fósforo (ppm)	-	-	-	-	-	-	-
Arcilla < 2 µ (%)	26,1	28,6	36,2	60,2	42,3	38,5	30,2
Limo 2-20 µ (%)	19,3	30,4	26,3	18,0	26,6	27,8	25,1
Limo 2-50 µ (%)	58,2	54,5	52,5	31,9	45,4	50,7	51,1
AMF 50-75 µ (%)	-	-	-	-	-	-	-
AMF 75-100 µ (%)	-	-	-	-	-	-	-
AMF 50-100 µ (%)	7,2	7,9	6,4	5,1	7,3	5,4	10,7
AF 100-250 µ (%)	0,4	0,4	0,3	0,2	0,4	0,6	2,1
AM 250-500 µ (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AG 500-1000 µ (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AMG 1-2 mm (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Calcáreo (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eq.humedad (%)	28,9	28,5	29,6	47,7	38,0	35,1	33,5
Re. pasta Ohms	-	-	-	-	-	-	-
Cond. mmhos/cm	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,44	0,26
pH en pasta	5,6	5,6	5,7	5,5	5,6	5,6	6,8
pH H ₂ O 1:2,5	6,3	6,5	6,8	6,8	7,0	6,9	7,9
pH KCL 1:2,5	5,4	5,4	5,2	5,0	5,0	5,0	5,9
CATIONES DE CAMBIO							
Ca ⁺⁺ m.eq./100gr	12,6	13,9	15,7	23,8	20,4	20,7	24,2
Mg ⁺⁺ m.eq./100gr	3,1	5,7	5,0	10,8	8,7	7,2	7,7
Na ⁺ m.eq./100gr	0,3	0,3	0,4	0,8	0,6	0,6	0,8
K m.eq./100gr	2,2	1,3	1,2	2,0			

El ensayo de sembró el 5 de octubre del 2021, utilizando el método de testigo apareado. Las parcelas apareadas comparan el rendimiento de los híbridos que intervienen en la experiencia con un testigo inmodificable que se siembra intercalado disminuyendo la influencia del suelo en macro parcelas. En la experiencia se ubicaron cada cinco híbridos participantes un híbrido testigo. El diseño elegido para este ensayo se debe a la imposibilidad de hacer repeticiones de cada parcela. Con los datos obtenidos se determina un coeficiente de ajuste de cada híbrido de acuerdo con el testigo apareado.

En este caso, el testigo utilizado fue el híbrido P2021PWUE de la marca Pioneer. Este maíz templado presenta una excelente adaptación a la región centro, con un muy buen perfil sanitario ante el tizón, la roya común y en menor manera al Mal de Río IV. Además, este híbrido cuenta un paquete biotecnológico que le otorga un mejor control de insectos y tolerancia a ciertos herbicidas, logrando así una amplia variedad de herramientas para el control de malezas.

Dicho ensayo se sembró en lotes con antecesor trigo/soja de segunda, en siembra directa utilizando una densidad de 65.000 pl/ha a 70 cm de distanciamiento entre líneas, con una fertilización base de 100 kg/ha de fosfato mono amónico (N 11 –

P 23 – K 0) aplicado por el costado y debajo de la semilla. En V5 ya con el cultivo en pie, se refertilizó con 250 L/ha de Solmix líquido (N 28 – S 5,2). En cuanto al control de malezas de hoja ancha y gramíneas, se aplicó en preemergencia 1.0 L/ha de Paraquat en conjunto con 1.0 L/ha de Acuron y 1.0 L/ha de S-Metacoloro.

El 14 de abril de 2022, al momento de la cosecha, se utilizó maquinaria equipada con monitor de rendimiento, el cual se validó con una tolva con balanza.

Previo a la siembra se realizó un muestreo de suelo del lote para luego ser analizado y determinar sus características químicas. Dichos resultados se detallan en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1: *Análisis de suelo al momento de la siembra.*

pH	MO	P Bray I	N –Nitratos	N –Nitratos	N –Nitratos
	(0-20 cm)	(0-20 cm)	(0-20 cm)	(20-40 cm)	(40-60 cm)
	(%)	(mg kg ⁻¹)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
5.7	35.9	16	19.2	15.5	7.75

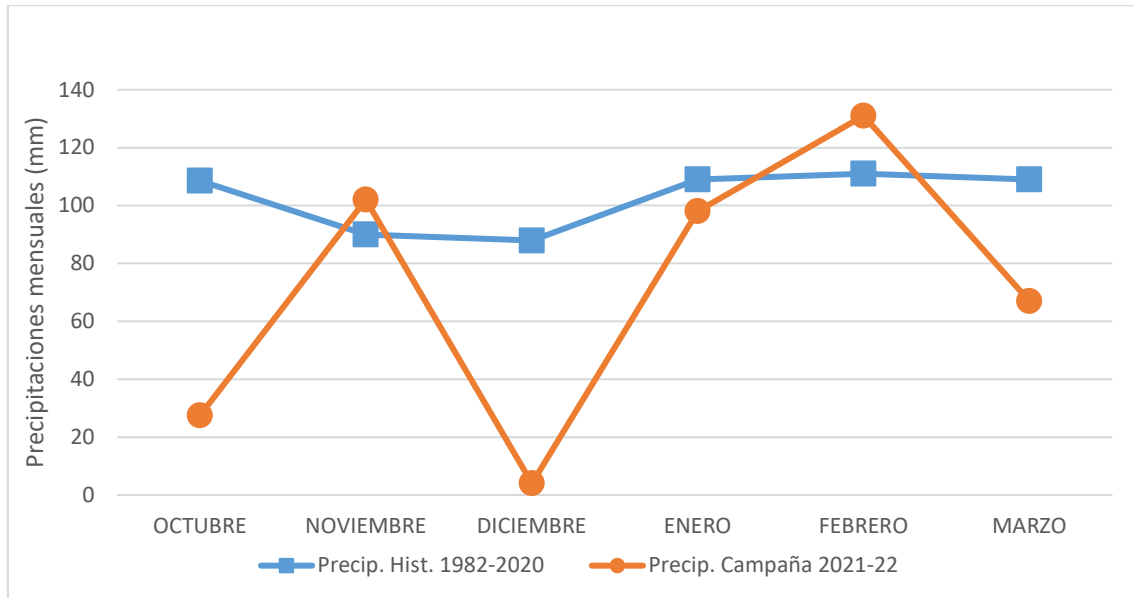
También, dentro de las determinaciones realizada se evaluaron los componentes del rendimiento del cultivo, como son: el número de espigas por planta, contando el número de espigas y plantas sobre 5 metros lineales de cada parcela y el número de granos por espiga, contando la cantidad de granos en 5 espigas para poder estimar el rendimiento de los diferentes híbridos del ensayo.

A cosecha se evaluó el rendimiento final y algunos parámetros simples que hacen a la calidad de los granos recolectados como son la humedad, el peso hectolítrico y el peso de mil granos. Para eso, el día de la cosecha se tomaron muestras correctamente enumeradas, para luego evaluar en el laboratorio del INTA los tres aspectos mencionados previamente mediante el uso de un higrómetro.

3. Resultados:

Un dato importante a tener en cuenta son las precipitaciones mensuales que ocurrieron a lo largo de la campaña. A continuación, en el **Gráfico 3** se detallan las precipitaciones mensuales registradas entre octubre y marzo de la campaña 21-22. Además, se incluye el promedio histórico de precipitaciones (1982-2020) en la localidad de San Antonio de Areco. Puntualmente los datos meteorológicos de esta campaña se registraron con la estación meteorológica instalada en la Unidad Demostrativa del INTA S.A. de Areco.

Gráfico 3: Precipitaciones mensuales campaña 2021-22 y precipitaciones promedio mensuales históricas (1982-2020) en la localidad de San Antonio de Areco.



A partir del gráfico de precipitaciones se puede observar diferencias en la distribución temporal de la lluvia:

- En octubre y diciembre, las precipitaciones de la campaña 2021–22 fueron ampliamente inferiores a la media histórica, en diciembre puntualmente no alcanzó ni siquiera los 20 mm. Cuando su promedio está cerca de los 85 mm.
- En noviembre, se produjo un leve repunte, quedando apenas por encima de la media con unos 100 mm.
- En enero y febrero, las precipitaciones mejoraron considerablemente alcanzando en enero un valor cercano al promedio, mientras que febrero la oferta hídrica superó al histórico, permitiendo un correcto llenado de granos.

Tabla 2: Detalle de componentes de rendimiento en un ensayo de maíz siembra temprana, San Antonio de Areco, Buenos Aires, campaña 2021/2022.

Híbrido	Semillero	Plantas/ha	Espigas/ha	Espiga/PI	Gr/esp
Syn 897 Vip 3	NK Semillas	65714	65.714	1,0	644
ACA 470 VT3PRO	ACA	62857	68.571	1,1	636
DK 7208 VT3PRO	MONSANTO	65714	68.571	1,0	600
Syn 979 Vip 3	NK Semillas	62857	62.857	1,0	667
DK 7272 VT3PRO	MONSANTO	60000	60.000	1,0	583
NK 2743 Vip 3	NK Semillas	62857	60.000	1,0	562
TOB 767 Vip 3	Tobin	62857	62.857	1,0	442
I 782 Vip 3	ILLINOIS	57143	57.143	1,0	540
ADV 8122 VT3PRO	ADVANTA	65714	62.857	1,0	642
ACA 484 VT3PRO	ACA	62857	60.000	1,0	608
SRM 6620 VT3PRO	LIMAGRAIN	62857	60.000	1,0	566

NS 7921 Vip 3	NIDERA	62857	54.286	0,9	567
ACA 473 VT3PRO	ACA	60000	62.857	1,0	611
KM 4216 Vip3	KWS	65714	65.714	1,0	591
DM 2773 VT3PRO	DON MARIO	60000	57.143	1,0	769
I 799 VT3PRO	ILLINOIS	65714	60.000	0,9	556
DK 7303 VT3PRO	MONSANTO	60000	62.857	1,0	688
ACA 481 VT3PRO	ACA	57143	62.857	1,1	477
ADV 8115 VT3PRO	ADVANTA	57143	51.429	0,9	614
LT 718 VT3PRO	LA TIJERETA	51429	54.286	1,1	655
ACA 476 VT3PRO	ACA	60000	54.286	0,9	536
P 1815 VYHR	PIONNER	68571	62.857	0,9	664
P2021 PWUE (Testigo)	PIONNER	62857	62.540	1,0	592
LT 722 VT3PRO	LA TIJERETA	62857	60.000	1,0	535
NS 7621 Vip 3	NIDERA	65714	60.000	0,9	508
LG 30870 MGRR2	LIMAGRAIN	68571	68.571	1,0	527
MS 7123 PW	NEXSEM	68571	62.857	0,9	566
NK 890 Vip3	NK Semillas	62857	62.857	1,0	613
DUO 225 PWU	NEOGEN	60000	54.286	0,9	706
DUO 30 PWU	NEOGEN	62857	65.714	1,0	658
KM 3916 Vip3	KWS	57143	62.857	1,1	458
P 2089 VYHR	PIONNER	60000	60.000	1,0	534
ACA 19MZ227 VT3PRO	ACA	51429	45.714	0,9	489
P 1804 PWU	PIONNER	68571	65.714	1,0	572
MH5 1.0 RR	ARGENSEED	57143	54.286	1,0	580
P 2167 VYHR	PIONNER	57143	57.143	1,0	657
I 695 MGRR2	ILLINOIS	54286	51.429	0,9	537
NXM 1122 PWU	NEXSEM	68571	60.000	0,9	670
MH7 1.0 RR	ARGENSEED	54286	48.571	0,9	559
KM 4480 VT3PRO	KWS	62857	60.000	1,0	659

Tabla 3: Datos de Rendimiento, peso hectolítrico (PH), peso de mil granos (PMG) en un ensayo de maíz siembra temprana, San Antonio de Areco, Buenos Aires, campaña 2021/2022.

Híbrido	Semillero	Rinde	PMG	PH
Syn 897 Vip 3	NK Semillas	8712	320	68,9
ACA 470 VT3PRO	ACA	8616	297	76,4
DK 7208 VT3PRO	MONSANTO	8545	331	76,6
Syn 979 Vip 3	NK Semillas	8477	369	68,8
DK 7272 VT3PRO	MONSANTO	8179	371	72,2
NK 2743 Vip 3	NK Semillas	7866	342	73,2
TOB 767 Vip 3	Tobin	7818	360	68,4
I 782 Vip 3	ILLINOIS	7777	284	72,8
ADV 8122 VT3PRO	ADVANTA	7776	335	72,8
ACA 484 VT3PRO	ACA	7703	302	73,6

SRM 6620 VT3PRO	LIMAGRAIN	7678	321	70,5
NS 7921 Vip 3	NIDERA	7677	365	72,0
ACA 473 VT3PRO	ACA	7456	327	73,4
KM 4216 Vip3	KWS	7395	318	73,0
DM 2773 VT3PRO	DON MARIO	7368	299	67,2
I 799 VT3PRO	ILLINOIS	7367	332	72,8
DK 7303 VT3PRO	MONSANTO	7308	310	68,8
ACA 481 VT3PRO	ACA	7233	383	72,0
ADV 8115 VT3PRO	ADVANTA	7116	323	71,0
LT 718 VT3PRO	LA TIJERETA	7108	321	76,4
ACA 476 VT3PRO	ACA	7102	335	74,5
P 1815 VYHR	PIONNER	7101	319	70,1
P2021 PWUE (Testigo)	PIONNER	7073	306	70,1
LT 722 VT3PRO	LA TIJERETA	7065	229	74,1
NS 7621 Vip 3	NIDERA	6984	344	70,9
LG 30870 MGRR2	LIMAGRAIN	6801	356	68,4
MS 7123 PW	NEXSEM	6719	340	69,1
NK 890 Vip3	NK Semillas	6383	348	72,0
DUO 225 PWU	NEOGEN	6244	302	64,7
DUO 30 PWU	NEOGEN	6033	323	69,7
KM 3916 Vip3	KWS	5837	368	71,3
P 2089 VYHR	PIONNER	5696	299	68,6
ACA 19MZ227 VT3PRO	ACA	5590	341	69,5
P 1804 PWU	PIONNER	5556	323	68,2
MH5 1.0 RR	ARGENSEED	5347	290	72,2
P 2167 VYHR	PIONNER	5041	282	75,7
I 695 MGRR2	ILLINOIS	4910	282	68,4
NXM 1122 PWU	NEXSEM	4791	308	61,5
MH7 1.0 RR	ARGENSEED	4528	357	69,7
KM 4480 VT3PRO	KWS	4466	368	71,8

Tabla 4: Rendimientos de híbridos de maíz siembra temprana, San Antonio de Areco, Buenos Aires, campaña 2021/2022.

Ranking	HIBRIDO	Rinde Kg/Ha
1	Syn 897 Vip 3	8.712
2	ACA 470 VT3PRO	8.616
3	DK 7208 VT3PRO	8.545
4	Syn 979 Vip 3	8.477
5	DK 7272 VT3PRO	8.179
6	NK 2743 Vip 3	7.866
7	TOB 767 Vip 3	7.818
8	I 782 Vip 3	7.777
9	ADV 8122 VT3PRO	7.776
10	ACA 484 VT3PRO	7.703
11	SRM 6620 VT3PRO	7.678
12	NS 7921 Vip 3	7.677
13	ACA 473 VT3PRO	7.456
14	KM 4216 Vip3	7.395
15	DM 2773 VT3PRO	7.368
16	I 799 VT3PRO	7.367
17	DK 7303 VT3PRO	7.308
18	ACA 481 VT3PRO	7.233
19	ADV 8115 VT3PRO	7.116
20	LT 718 VT3PRO	7.108
21	ACA 476 VT3PRO	7.102
22	P 1815 VYHR	7.101
23	P2021 PWUE (Testigo)	7.073
24	LT 722 VT3PRO	7.065
25	NS 7621 Vip 3	6.984
26	LG 30870 MGRR2	6.801
27	MS 7123 PW	6.719
28	NK 890 Vip3	6.383
29	DUO 225 PWU	6.244
30	DUO 30 PWU	6.033
31	KM 3916 Vip3	5.837
32	P 2089 VYHR	5.696
33	ACA 19MZ227 VT3PRO	5.590
34	P 1804 PWU	5.556
35	MH5 1.0 RR	5.347
36	P 2167 VYHR	5.041
37	I 695 MGRR2	4.910
38	NXM 1122 PWU	4.791
39	MH7 1.0 RR	4.528
40	KM 4480 VT3PRO	4.466

Si nos basamos en análisis de los rendimientos promedios históricos de San Antonio de Areco, mencionados previamente en la introducción (**Gráfico 1**) donde hace referencia al histórico de la zona en los últimos 50 años, el rinde promedio se ubicó en los 5.970 kg/ha (*Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2022*).

Pero, si acotamos el análisis a lo mencionado en el (**Gráfico 2**) podemos ver que en las últimas 10 campañas (*serie 2012 – 2022*), se observa un rendimiento promedio de 8.566 kg/ha un número considerablemente mayor.

Mientras que el ensayo realizado alcanzó solo 6.861 kg/ha, evidenciando una diferencia significativa. Esta disminución confirma el impacto de la escasez de precipitaciones en los momentos clave del ciclo del cultivo. Además, al compararlo con los 6.600 kg/ha de rinde promedio de la campaña 21-22 (**Gráfico 2**) del partido de San Antonio de Areco, se observa un valor cercano, lo que indica que la campaña analizada fue de baja productividad a nivel regional.

4. Conclusiones:

A partir del análisis de todas las componentes del rendimiento para cada uno de los 40 híbridos sembrados, se obtuvo un rinde promedio de 6.861 Kg/Ha presentándose algunos maíces que lograron superar los 8.000 kg/ha (**Tabla: 4**). Lo que para la zona donde se realizó el ensayo en provincia de Buenos Aires es bajo, considerando que los híbridos sembrados, de alto potencial de rendimiento, tienen en conjunto un rinde potencial superior a las 10 Tn/ha.

Si se realiza un ranking de los 10 híbridos que mejor performaron durante el ensayo podemos destacar los siguientes:

1. SYN 897 Vip 3: 8.712 Kg/Ha
2. ACA 470 VT3PRO: 8.616 Kg/Ha
3. DK 7208 VT3PRO: 8.545 Kg/Ha
4. SYN 979 Vip 3: 8.477 Kg/Ha
5. DK 7272 VT3PRO: 8.179 Kg/Ha
6. NK 2743 Vip 3: 7.866 Kg/Ha
7. TOB 767 Vip 3: 7.818 Kg/Ha
8. IS 782 Vip 3: 7.777 Kg/Ha
9. ADV 8122 VT3PRO: 7.776 Kg/Ha
10. ACA 484 VT3PRO 7.703 Kg/Ha

Este ranking de materiales nos arroja un rendimiento promedio de 8.147 Kg/Ha, un rendimiento aceptable para lo que fue la campaña en cuanto a precipitaciones y temperaturas, pero bajo considerando el potencial de rendimiento de cada híbrido según la información brindada por los semilleros.

Durante el ciclo de crecimiento se acumuló un total de 429 mm de lluvia, lo cual es considerablemente inferior al promedio histórico de 615 mm registrado entre 1982 y 2020 para el mismo periodo, evidenciando una notable reducción en la disponibilidad de agua durante el desarrollo del cultivo y sobre todo durante el período crítico de floración.

En el **Gráfico 3** se observa una distribución de las precipitaciones muy irregular a lo largo del ciclo del cultivo.

Durante octubre, se registraron precipitaciones insuficientes en el momento de la siembra, lo que retardó el establecimiento del cultivo ya que, el stand de plantas logrado fue menor al esperado. En noviembre, la mayor disponibilidad de agua favoreció un óptimo desarrollo vegetativo de los híbridos. Sin embargo, durante diciembre, mes donde ocurre la floración, y hasta mediados de enero, se registraron precipitaciones significativamente inferiores a la media histórica, acompañadas de altas temperaturas ambientales. Estas condiciones generaron un entorno de estrés crítico que provocó el aborto de flores, repercutiendo negativamente en el número de granos por espiga. A partir de mediados de enero, el aumento de las lluvias favoreció un adecuado llenado de granos.

En cuanto a plagas y enfermedades en los cultivos, no se observaron daños significativos durante campaña como aspectos que incidieran negativamente en el comportamiento y rendimiento de la mayoría de los híbridos.

Por último y para concluir, estos resultados evidencian el impacto positivo del mejoramiento genético continuo, que ha permitido obtener elevados rendimientos incluso bajo estrés hídrico, una condición que en campañas anteriores habría sido un factor crítico en la productividad.

Confirmando así que, las inversiones en biotecnología y mejoramiento genético por parte de la industria y todos los actores relacionados, han ampliado significativamente el abanico de opciones para los productores, quienes cuentan con híbridos de alto potencial productivo, adaptabilidad específica a cada región y una destacada sanidad vegetal. Esta evolución tecnológica ha contribuido a la estabilidad de los rendimientos, incluso en contextos agroclimáticos desfavorables.

5. Agradecimientos:

En primer lugar, agradecer al Ing. Agrónomo Fernando Jecke quien actúo como mi tutor durante todo este proceso y también al INTA de S.A de Areco quienes me abrieron las puertas para poder llevar adelante el ensayo correspondiente a mi trabajo de graduación final.

A su vez, agradecer al equipo de Establecimiento La Fe por el aporte del predio y a las distintas empresas semilleras que brindaron sus materiales para utilizar en el ensayo.

Finalmente, me gustaría agradecer a toda mi familia, y a la comunidad de la UCA, profesores y autoridades quienes han estado siempre a disposición de los alumnos.

6. Bibliografía

- Andrade, F.H., Echarte, L., Rizzalli, R., Della Maggiora, A., & Casanovas, M. (1996). *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Balcarce, Argentina: INTA. Recuperado de <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/14738>
- Cassman, K.G. (1999). *Intensificación ecológica de los sistemas de producción de cereales*. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*.
- Cirilo, A.G., & Andrade, F.H. (1994). *Densidad de siembra y rendimiento del maíz: resultados de experimentos de campo*. *Investigación en Cultivos de Campo*.
- FAO (2021). *Anuario Estadístico de Agricultura*.
- Fernandez Long, M.E., Menéndez, C.G., & Bettolli, M.L. (2013). *Análisis de eventos El Niño y La Niña en la región pampeana argentina y su impacto en la precipitación*. *Meteorológica*, 38(2), 49-63. Recuperado de <http://www.meteorologica.org.ar>
- Fernandez Long, M.E., Spescha, L., Hurtado, R., & Murphy, G.M. (2011). *Impacto del ENOS sobre los rendimientos de maíz en la región pampeana argentina*. *Agriscientia*.
- Golik, S. I., Larran, S., Gerard, G. S., & Fleitas, M. C. (2018). *Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química*. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/162758>
- Maich, R. H. (2023). *Efecto de la fecha y densidad de siembra sobre el comportamiento agronómico en maíz*.
- Satorre, E.H. (2002). *Crecimiento del cultivo de maíz y respuesta del rendimiento a la densidad de plantas y contenido de agua en el suelo*. *Sistemas Agrícolas*.
- Satorre, E. H. (2002). *Efectos de la fecha de siembra, disponibilidad hídrica y densidad de siembra sobre la determinación del rendimiento y la calidad de maíz*
- Satorre, E. H. (2005). "Producción de granos: bases funcionales para su manejo". Editorial Facultad de Agronomía, UBA.
- Trigo, E. J., & Cap, E. J. (2006). "Diez años de cultivos genéticamente modificados en Argentina". Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología (ArgenBio).
- Shiferaw, B., Prasanna, B.M., Hellin, J., & Bänziger, M. (2011). *Producción de maíz, mercados y políticas*. *Seguridad Alimentaria*, 3(3), 307-327.
- Toledo, R. (2018). *Representación y breve descripción de las etapas de desarrollo de maíz (Zea mays)*.
- Trenberth, K.E. (1997). *La definición de El Niño*. *Boletín de la Sociedad Meteorológica Americana*.

- ArgenBio. (2020). *Cultivos transgénicos en Argentina*. ArgenBio. Recuperado de <https://argenbio.org/cultivos-transgenicos>.
- F. Mousegne , F. Jecke , M. C. Paolilli , F. Fabiani “*ENSAYO COMPARATIVO DE RENDIMIENTO DE MAÍZ DE SIEMBRA TEMPRANA. CAMPAÑA 21/22*”. Informe técnico INTA (2022)
- Universidad Nacional de Río Cuarto. (2020). *Rendimiento Potencial de Maíz: Reporte Campaña 2019/20*.
- Wilkes, H.G. (2004). *La historia y domesticación del maíz*.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. (s.f.). *Datos y estimaciones agrícolas*. Recuperado de <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/>