



RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAÍZ ANTE CAMBIOS EN LA DENSIDAD DE SIEMBRA EN UN AMBIENTE CON PRESENCIA DE NAPA

2021

Alumnos:

MARENGO; Lucas.

MARINI; Santiago.

Tutor: CANTARERO; Marcelo



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

Agradecimientos

A Julio Panero y Maximiliano Rocchia por su tiempo, dedicación y predisposición a la hora de realizar el presente trabajo, a Marcelo Cantarero por el aporte de sus conocimientos en la confección del mismo, familia y amigos.

Tabla de Contenidos

Contenido	Pág.
Resumen	5
Introducción	6
Objetivos	8
Materiales y Métodos	9
Resultados y Discusión	12
Fenología	12
Condiciones climáticas durante las fases fenológicas y profundidad de napa	12
Materia seca total a cosecha, rendimiento y componentes	15
Peso seco total	15
Rendimiento	15
Peso específico del tallo y vuelco de plantas	16
Perdida de humedad de grano	17
Perdida de cosecha	18
Resultado económico	19
Conclusión	21
Bibliografía	22

Lista de Tablas

Tabla	Título	Pág.
1	Propiedades físicas del suelo.	9
2	Duración en días de las etapas fenológicas desde siembra (S) a emergencia (E), de emergencia (E) a floración femenina (R1) y de floración femenina (R1) a madurez fisiológica (MF) para las diferentes densidades.	12
3	Condiciones climáticas durante las etapas fenológicas de siembra (S) a floración femenina (R1), de floración femenina (R1) a madurez fisiológica (MF) y 15 días antes y después de floración femenina (R1) que corresponde al periodo crítico.	13
4	Peso seco total del cultivo a madurez fisiológica (PST), rendimiento expresado al 0 y 14% de humedad del grano (PSG y RG, respectivamente, índice de cosecha (IC), número de granos por unidad de superficie (NG) y peso individual del grano (PG) para cada densidad. Al pie de la tabla se muestra la diferencia mínima significativa para comparar cada variable. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).	15
5	Detalle del Resultado Económico	20

Lista de Figuras

Figura	Título	Pág.
1	Profundidad de napa en función de los días desde la siembra del cultivo.	14
2	Humedad volumétrica del perfil de suelo hasta 200 cm de profundidad a la siembra (Inicio), madurez fisiológica (Final), punto de marchitez permanente (PMP) y Capacidad de campo (CC).	14
3	Asociación entre el rendimiento (PSG) y el número de granos por unidad de superficie (NG) en el panel superior y entre el PSG y el peso individual del grano (PG) en el panel inferior.	16
4	Peso específico del tallo para cada densidad. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).	17
5	Pérdida de Humedad del grano para cada densidad. Las barras verticales indican la DMS ($p < 0,05$) y la línea horizontal punteada la humedad de referencia del 15% de humedad.	18
6	Pérdida de cosecha en kg/ha para cada densidad. Letras iguales indican diferencias estadísticas no significativas ($p > 0,05$). Letra mayúscula compara pérdidas totales (cola + cabezal), letra minúscula negra compara pérdidas por la cola de la máquina, letra minúscula gris compara pérdida por el cabezal.	19

RESUMEN

El objetivo del presente informe fue evaluar el comportamiento de un híbrido de maíz (P2089) frente a cambios en la densidad de siembra, en un ambiente con presencia de napa freática para siembras tempranas. Las densidades evaluadas fueron de 4, 6, 8 y 10,5 pl/m². El mismo se llevó a cabo en el establecimiento “San Francisco” de Panagro S.A. ubicado 10 km al norte de la localidad de San Francisco (Córdoba) en la campaña agrícola 2020/2021. El diseño experimental utilizado fue en bloques completos al azar con dos repeticiones por cada densidad. Para poder determinar las condiciones hídricas del cultivo se realizó lecturas de la profundidad de napa freática, registro pluviométrico y cuantificación de lámina de agua útil (al momento de la siembra y en MF). Para cada tratamiento se determinó el momento de floración y MF, peso seco total, peso específico del tallo, pérdida de humedad de grano, componentes numéricos del rendimiento y pérdida de cosecha. Con los valores analizados se determinó que el cultivo no sufrió estrés hídrico en ningún momento de su ciclo. No se encontraron diferencias en la duración de cada fase fenológica entre las densidades. En cuanto al peso seco total se encontró diferencia significativa entre las menores densidades (4 y 6 pl/m²) y las mayores (8 y 10,5 pl/m²) siendo estas últimas superiores. El peso específico del tallo disminuyó a medida que aumentó la densidad. Se encontraron diferencias significativas en cuanto al NG siendo mayor en las densidades de 8 y 10,5 pl/m² pero el PG no mostró variación. En consecuencia, el rendimiento fue significativamente mayor en las densidades de 8 y 10,5 pl/m². Por último, la pérdida de cosecha no sufrió variaciones por la densidad de plantas.

Palabras Clave: Maíz, napa freática, densidad, rendimiento.

INTRODUCCIÓN

El maíz es una gramínea anual megatérmica originaria de América Central. Actualmente es el cereal de mayor producción en el mundo, habiendo sobrepasado a otros cereales básicos como el trigo y el arroz (Paliwal, 2013). Su uso es muy diverso, aunque principalmente se lo utiliza para alimentación humana y animal, e industrialmente para la producción de bioetanol (Paliwal, 2013). La producción anual de maíz a nivel mundial es de 850 millones de toneladas de grano y ocupa una superficie de 162 millones de hectáreas, con un rendimiento promedio de 52 qq/ha.

En Argentina la superficie sembrada en la campaña 2020/2021 destinada a la producción de granos de maíz, ocupó un total de 7,9 millones de hectáreas y la producción fue de 59 millones de toneladas, con un rendimiento promedio de 74,6 qq/ha (Bolsa de comercio de Rosario, 2021). Por su parte, para la misma campaña, la provincia de Córdoba contribuyó con 2,5 millones de ha, las cuales presentaron un rendimiento promedio de 84,6 qq/ha y una producción estimada total de 18,3 millones de tn (Bolsa de Cereales de Córdoba, 2021).

Para la determinación del rendimiento se deben considerar prácticas principales como la elección del genotipo, la densidad poblacional y fecha de siembra. Para maximizar la producción, la densidad de plantas debería ser ajustada para cada combinación de genotipo y ambiente y reducir al mínimo los efectos de adversidades tanto bióticas como abióticas. Todos los cultivos difieren en su respuesta a la variación de la densidad de plantas y esto se debe al efecto de dos mecanismos: la capacidad del cultivo para interceptar radiación solar (plasticidad vegetativa) y la plasticidad reproductiva de los individuos. Andrade *et al.* (2005), observaron mayores respuestas del rendimiento en maíz ante variaciones de la densidad poblacional comparado con soja o girasol. El maíz posee una capacidad limitada para compensar una baja densidad de plantas debido a una menor plasticidad vegetativa y reproductiva (Cox, 1996; Doebley *et al.*, 1997).

En el cultivo de maíz, el período crítico (PC) para la determinación del rendimiento, se ubica en una ventana dentro del ciclo que comienza 15 días antes del momento de floración femenina (R1) y finaliza 15 días después de este estado fenológico. Durante esta fase, cualquier factor de estrés produce la mayor caída del rendimiento, afectando negativamente al principal componente del rendimiento, el número de granos por unidad de superficie. Las condiciones de crecimiento del cultivo durante el PC son fundamentales para maximizar el rendimiento. Para alcanzar alta tasa de crecimiento, el cultivo debe alcanzar alta captura (>95%) y eficiencia de uso de la radiación solar. El Índice de área foliar que permita captar el 95% de la radiación solar incidente es denominado IAF crítico, y en caso del maíz es de aproximadamente 4 m²/m² (Gardner y col., 1985). En consecuencia, aquellas prácticas de manejo que permitan lograr altas tasas de crecimiento y partición hacia las estructuras reproductivas (espigas) durante esta etapa, serán las de mayor impacto positivo sobre el rendimiento. Entre aquellas, la elección de la densidad de plantas es fundamental sobre todo considerando que el maíz posee una baja plasticidad vegetativa y reproductiva.

El rendimiento por unidad de área del cultivo de maíz, presenta una marcada respuesta parabólica al aumento de la densidad. Mientras que el rendimiento por planta disminuye con aumento en la densidad, el rendimiento del cultivo se incrementa hasta un máximo a partir del cual, el aumento en el número de individuos produce una drástica reducción del mismo (Satorre *et al.*, 2003), debido a que la espiga es un destino axilar y por lo tanto de prioridad secundaria (Tollenaar, 1977).

La elección de la fecha de siembra es otro aspecto de manejo importante ya que la misma va a condicionar el rendimiento potencial del cultivo. Generalmente un maíz sembrado en fechas tem-

pranas presenta mayor rendimiento potencial que uno tardío. Entre las causas que explican este comportamiento podemos mencionar el mejor ambiente fototérmico explorado durante el PC (Papucci *et al.*, 2016). Luque (2019) menciona valores de 1,6 y 1,3 $\text{Mj/m}^2/^{\circ}\text{Cd}$ para maíces sembrados en fechas de octubre y diciembre respectivamente. Al realizar siembras tempranas en zonas de régimen monzónico existe el riesgo que el cultivo transcurra su periodo vegetativo con escasas precipitaciones, pudiendo afectar el rendimiento (Papucci *et al.*, 2016). Entonces, en aquellos ambientes que pueden presentar menor deficiencia de agua, por ej en condiciones bajo riego, buena recarga hídrica del perfil del suelo a la salida del invierno, la presencia de napa en la zona explorada por las raíces del cultivo, etc., se presenta una oportunidad para aprovechar el mayor potencial de las siembras temprana.

Respecto a la presencia de napa, Nosetto *et al.* (2009) determinaron que la profundidad de la napa freática puede afectar positiva o negativamente el rendimiento del cultivo. En el caso del maíz el rango óptimo de la profundidad de la napa freática se encuentra entre 1,40 y 2,45 m. Cuando la profundidad de la misma es menor a 1,40 m hay un marcado declive en los rendimientos por los efectos negativos derivados del anegamiento y anoxia de la raíz. Por el contrario, profundidades mayores a 2,45 m también produjeron una disminución en los rendimientos, debido a que el cultivo no tiene la capacidad de poder desarrollar raíces de gran profundidad para poder aprovechar el agua de la napa freática. Es importante destacar que la tasa en la disminución del rendimiento es mayor en casos de una profundidad menor a la óptima.

Conocer la respuesta del rendimiento del cultivo de maíz ante cambios en la densidad de siembra en ambientes con esas características es un objetivo de importancia para ajustar el manejo en sintonía con la oferta de recursos del ambiente.

La etapa de llenado del grano produce una acumulación de materia seca en el grano, hasta que se alcanza la madurez fisiológica. A partir de dicho momento, el peso seco del mismo permanecerá constante. En siembras tempranas, este periodo de llenado ocurre con mayor temperatura que en siembras tardías, alcanzando una tasa de pérdida de humedad mayor, posibilitando una cosecha anticipada. Al realizar una cosecha anticipada, es posible obtener la producción antes y alcanzar mejores precios de mercado por disponer del mismo cuando la oferta es baja, mejorando de esta manera la rentabilidad.

La pérdida de humedad de granos es la etapa comprendida entre la madurez fisiológica y la madurez comercial. La misma está condicionada por características genotípicas y ambientales. El ritmo de pérdida de humedad está dado por la diferencia que existe entre el contenido hídrico del grano y el del aire que lo rodea. Es importante determinar este tiempo de secado, ya que si el mismo es excesivo puede provocar pérdidas debido a lluvias tardías o vientos que provocan vuelcos de plantas y posterior pudrición de las mazorcas, generando una pérdida de rendimiento. También puede suceder que el maíz germine en la mazorca si hay suficiente humedad debido a las precipitaciones. Finalmente es posible el ataque de hongos e insectos al grano dentro de la espiga (Andrade, *et al.*, 1996). Cosechar con elevados contenidos de humedad no solo genera aumento en los costos de secado artificial y flete, sino también mayores roturas de los granos. Por el contrario, cosechas tardías conllevan un riesgo asociado al aumento de pérdidas debido al desgrane, vuelco y ataque plagas y enfermedades (Satorre, *et al.*, 2012).

Al momento de cosecha es crucial determinar la pérdida de granos debido a que impacta directamente sobre el rendimiento final. Se debe realizar una correcta calibración del equipo de cosecha para que las mismas sean las mínimas posibles. Ferrari *et al.* (2016) demostraron que en promedio el 72% de las mismas se deben al cabezal y el 28% al sistema de trilla, separación y limpieza.

Por su parte Bragachini *et al.* (2005) consideran que una tolerancia aceptable para un rendimiento de 70 qq/ha es de 210 kg (3%).

Para poder llevar a cabo nuestra actividad productiva es de suma importancia tener en cuenta los aspectos económicos de la misma, motivo por el cual se decidió realizar una comparación económica entre las densidades para determinar no solo el máximo rendimiento, sino también la máxima rentabilidad.

Objetivo Principal:

- Analizar la respuesta del rendimiento en un amplio rango de densidades, en un ambiente caracterizado por la presencia de napa y en una fecha de siembra temprana.

Objetivos Específicos:

- Determinar los componentes numéricos del rendimiento (NG y PG) en cada una de las densidades. Determinar la biomasa aérea e índice de cosecha con cada una de las densidades.
- Determinar la caída de humedad de grano luego de madurez fisiológica en cada densidad.
- Determinar la pérdida de cosecha en cada una de las densidades.
- Estimar el vuelco de plantas en cada una de las densidades.
- Estimar el resultado económico para cada una de las densidades.

MATERIALES Y MÉTODOS

El establecimiento donde se realizó el ensayo se encuentra ubicado al noreste de la provincia de Córdoba, en el departamento San Justo a 10 km de la ciudad de San Francisco. Los datos climáticos de la campaña fueron obtenidos de una estación meteorológica ubicada a 20 km del sitio experimental. El régimen de precipitaciones de la localidad es monzónico, con precipitaciones medias anuales de 850 mm. La temperatura media anual es de 17 °C y cuenta con un período libre de helada de 265 días. El mes más caluroso del año es enero con una temperatura máxima promedio de 31 °C y una temperatura mínima promedio de 20 °C. El mes más frío es el de julio con una temperatura mínima promedio de 6 °C y una máxima promedio de 17 °C.

Las características del perfil de suelo fueron tomadas de la Hoja San Francisco 3163-29 de los Suelos de la Provincia de Córdoba (INTA, 1998), observadas en la Tabla 1. El suelo es Argiudol típico, profundo y bien drenado de textura franco arcillo limosa. Su capacidad de uso es IIc, lo que indica que la productividad del mismo está condicionada por una leve limitación climática.

Tabla 1: Propiedades Físicas del Suelo.

HORIZONTE	A	BA	Bt1	Bt2	BC	C	Ck
Profundidad (cm)	25	37	71	100	122	144	144+
Densidad aparente (g/cm ³)	1,39	1,41	1,56	1,52	1,45	1,29	1,35
Capacidad de Campo (1/3 atm; %)	32,6	34,2	36,8	39,9	35,9	35,3	34,2
PMP (15 atm; %)	15,1	16,2	18,3	18	16,3	18,3	14,9
Porosidad (%)	48	47	41	43	45	51	49

En la campaña 2019/2020 se realizó una secuencia trigo/soja con rendimientos promedios de 44 qq/ha y 48 qq/ha, respectivamente. Luego del cultivo de soja se realizó un barbecho químico con 2,5 litros/ha de glifosato sal potásica 66,2%, 1 kg/ha atrazina 90% y 5 gr/ha metsulfuron 60%.

La siembra del maíz se realizó el día 31/08/2020 con una sembradora mecánica Apache 6210 SII de 18 surcos, distanciados a 0,52 metros (ancho total 9,36 metros), con 2 cajas reguladoras impulsadas por un tractor New Holland TM 135.

El híbrido utilizado fue el Pioneer P2089 con las siguientes características (Catálogo de Híbridos Pioneer, 2020):

- Tecnología en control de plagas: Agrisure Viptera (Singenta Group Company), Herculex (Dow Agrosciences/ Pioneer HiBred) y YielGard (Monsanto Compañía).
- Tecnología de control de malezas: Powercore Enlist (Monsanto Company/Dow Agrosciences) y LibertyLink (BASF).
- Altura de planta: 240 cm.
- Altura de inserción de espiga: 115 cm.
- Tolerancia media-baja a roya común y a mal de Rio IV.

- Tolerancia media-alta a tizón y green snap (quebrado en verde).
- Tolerancia media a vuelco y quebrado de planta.

Se llevó a cabo un diseño experimental en bloques completos al azar con dos repeticiones por cada una de las densidades en estudio, dando como resultado 8 unidades experimentales. Cada una de ellas consistió de 9 surcos distanciados a 0,52 m por 600 m de largo. Las densidades utilizadas fueron de 4, 6, 8 y 10,5 pl/m² respectivamente. Al momento de la siembra se aplicó 4 kg N, 7 kg P, 1,8 kg S y 0,8 kg Zn por ha. Además, se realizaron dos fertilizaciones nitrogenadas con urea (46-0-0). A los 49 DDS se aplicaron 83 kg N y a los 53 DDS, 92 kg N. Posterior a ambas aplicaciones ocurrieron precipitaciones que permitieron la incorporación del fertilizante.

Se realizaron dos muestreos de suelo para cuantificar la lámina de agua útil hasta 2 m de profundidad en cada unidad experimental. El primero se hizo inmediatamente después de la siembra y el segundo al momento de MF del cultivo. La determinación de la lámina de agua útil se realizó por gravimetría utilizando el valor de PMP que se muestran en la Tabla 1. El nivel de la napa freática se midió con un freatómetro ubicado a 170 m del área experimental, con una profundidad total de 5 m. En cada parcela se etiquetaron ocho plantas al azar para determinar el estado fenológico de floración (R1) y madurez fisiológica (R6) de acuerdo a la clave de Ritchie y Hanway (1982).

La humedad del grano se registró con un humedímetro (John Deere Sw08120) luego de madurez fisiológica cada 10 días, hasta alcanzar la humedad de 15%. Las muestras fueron tomadas de 3 espigas en cada unidad experimental. La proporción de plantas volcadas fue determinada a partir de la cantidad de plantas cuyo ángulo respecto al suelo fue menor a 45° en un surco de 30 m en cada unidad experimental. El peso específico del tallo se determinó previo a la cosecha sobre 5 plantas representativas de cada unidad experimental. Se extrajeron los 50 cm inferiores del tallo y se midieron sus diámetros en ambos extremos para poder determinar el volumen de los mismos. Luego se llevaron a estufa hasta peso constante y se tomó su peso. El volumen de los mismos se determinó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen} = (\pi x h / 3) \times (R^2 + r^2 + R \times r)$$

Siendo h= Altura, R= Radio Mayor, r= Radio Menor

El peso seco total a cosecha se determinó sobre 5 plantas por cada unidad experimental, secadas en estufa a 60 °C hasta peso contante. La determinación de rendimiento se llevó a cabo mediante la utilización del monitor de la cosechadora. Para evaluar las pérdidas de cosecha se utilizaron 3 aros ciegos de 0,25m². Dichos aros se lanzaron debajo de la cosechadora después del paso del cabezal y antes de la salida del rastrojo por la parte posterior de la máquina. Uno de estos aros se lanzó debajo del cajón de zarandas y los otros dos al azar a los costados de la máquina. Luego de esto se contaron los granos que se encontraban por encima del aro, y con el dato del peso de mil granos se conoció la pérdida de rendimiento por cola. Para la pérdida de rendimiento por cabezal se contabilizaron los granos ubicados debajo de los aros ciegos y además se recolectaron las mazorcas que se encontraron en el suelo luego de la cosecha. Este procedimiento se realizó en cada una de las unidades experimentales.

Para realizar el análisis económico de la actividad, al valor de la producción se le restaron los costos y se obtuvo el margen bruto en cada uno de los tratamientos. Se utilizaron precios de mercado de los insumos utilizados durante todo el ciclo del cultivo y, si bien tanto la maquinaria utilizada como el campo es propiedad del productor, se asignó un precio por cada labor (según precios de contratistas de la zona) y un costo de oportunidad por el uso de la tierra (según alquiler pro-

medio en la zona que es de 15 qq soja/ha/año). Dichos precios corresponden al 23 de abril de 2021, siendo el tipo de cambio oficial 92.92 pesos argentinos por cada dólar estadounidense.

Los datos de PST, PSG, RG, IC, NG, PG, peso específico del tallo, pérdida de humedad de grano, pérdida de cosecha fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de la varianza (ANAVA) y cuando se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$) las medias se compararon a través del método DGC utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología

En la Tabla 2 se muestra la duración de las diferentes etapas fenológicas para cada densidad. La densidad de siembra no afectó a la duración de ninguna de las fases evaluadas. Esto nos da indicios de que el cultivo no atravesó estrés hídrico, y podemos suponer que no hubo un desfase considerable entre la floración masculina y femenina. La duración de cada fase en combinación con la Tabla 3, permite establecer las condiciones ambientales por las que atravesó el cultivo durante su ciclo.

Tabla 2: Duración en días de las etapas fenológicas desde siembra (S) a emergencia (E), de emergencia (E) a floración femenina (R1) y de floración femenina (R1) a madurez fisiológica (MF) para las diferentes densidades.

Densidad (pl/m ²)	S-E (días)	E-R1 (días)	R1-MF (días)
4	15 a	85 a	59 a
6	15 a	84 a	58 a
8	15 a	83 a	59 a
10,5	15 a	84 a	58 a

Letras iguales indican diferencias no significativas ($p > 0,05$)

Condiciones climáticas durante las fases fenológicas y profundidad de napa

Como se aprecia en la Tabla 3, el cociente fototérmico (Q) en el PC fue de 1,9 Mj/m² °Cd, siendo levemente superior al esperado según Luque (2019) para siembras tempranas. Además desde el inicio del PC hasta madurez fisiológica, las precipitaciones fueron similares a la demanda atmosférica (ET0) lo que demuestra que las condiciones hídricas fueron muy favorables.

Tabla 3: Condiciones climáticas durante las etapas fenológicas de siembra (S) a floración femenina (R1), de floración femenina (R1) a madurez fisiológica (MF) y 15 días antes y después de floración femenina (R1) que corresponde al periodo crítico.

Variable	S-R1	R1-MF	±15 d R1
T med (°C)	18,1	23,2	22,4
T min (°C)	10,3	15,8	14,2
T max (°C)	26,0	30,5	29,7
Rg (Mj/m ²)	22,5	27,1	27,6
Q (Mj/m ² °Cd)	2,2	1,8	1,9
PP (mm)	197	332	173
ETO acum (mm)	473	349	193

Por el contrario, desde la siembra a R1, si bien la demanda atmosférica fue notoriamente superior a las precipitaciones, el perfil de suelo se encontraba cercano a CC y con presencia de napa a los 2,19 m (Fig. 1). Es importante destacar que desde el inicio del cultivo hasta fin del PC (115 DDS), el nivel de la napa freática osciló entre 2,19 y 2,45 m de profundidad, encontrándose dentro del rango óptimo según Noretto *et al.* (2009). Al momento de MF, no se encontraron diferencias significativas en el contenido volumétrico de agua del perfil de suelo para ninguna de las densidades evaluadas. El contenido volumétrico de agua en el perfil de suelo fue similar a la CC e incluso superior a partir de 1,4 m de profundidad, indicando la presencia de la napa (Fig. 2). Como consecuencia de ello, puede considerarse que el cultivo no enfrentó ninguna situación de estrés hídrico durante todo el ciclo, difiriendo con Papucci *et al.* (2016), el cual plantea que el riesgo de las siembras tempranas en ambientes de régimen monzónico está asociado con la escasez de oferta hídrica.

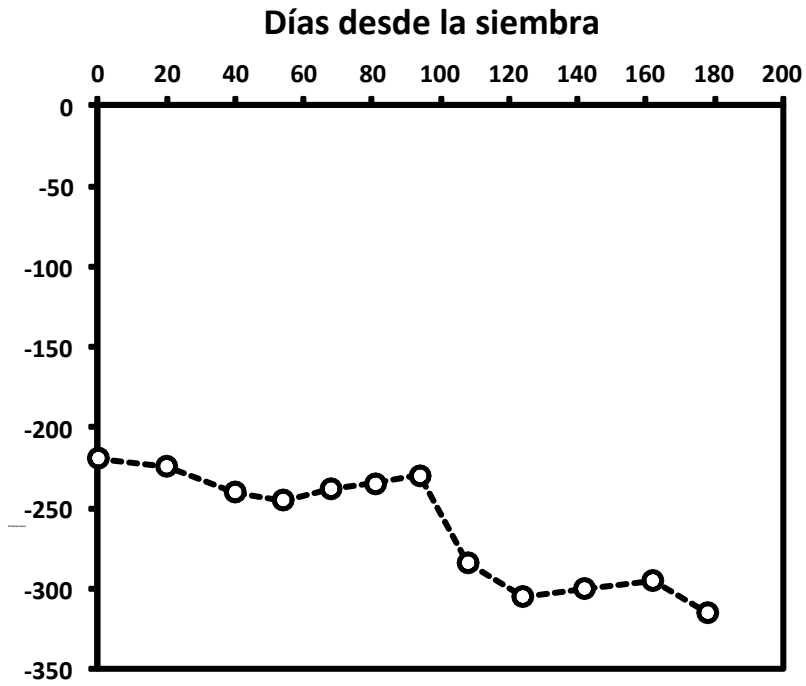


Fig. 1: Profundidad de napa en función de los días desde la siembra del cultivo.

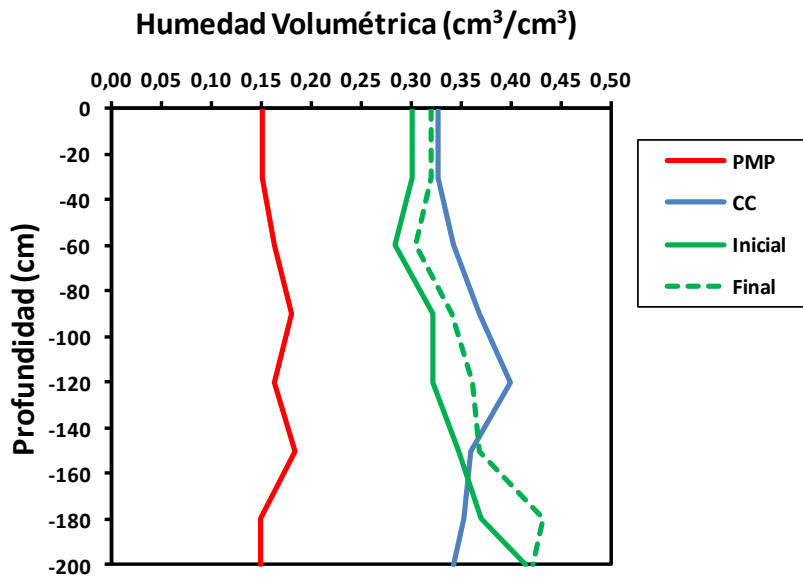


Fig. 2: Humedad volumétrica del perfil de suelo hasta 200 cm de profundidad a la siembra (Inicial), madurez fisiológica (Final), punto de marchitez permanente (PMP) y Capacidad de campo (CC).

Materia seca total a cosecha, rendimiento y componentes

Tabla 4: Peso seco total del cultivo a madurez fisiológica (PST), rendimiento expresado al 0 y 14% de humedad del grano (PSG y RG, respectivamente), índice de cosecha (IC), número de granos por unidad de superficie (NG) y peso individual del grano (PG) para cada densidad. Al pie de la tabla se muestra la diferencia mínima significativa para comparar cada variable. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$). DMS= diferencia mínima significativa

Densidad (pl m ⁻²)	PST ----- (g m ⁻²)	PSG ----- (g m ⁻²)	RG ----- (g m ⁻²)	IC (%)	NG (núm. m ⁻²)	PG (mg)
4,0	2027 b	1140 c	1325 c	56,2 ab	3721 c	307 a
6,0	2381 b	1459 b	1696 b	61,3 a	4448 b	328 a
8,0	3006 a	1637 a	1904 a	54,5 bc	5141 a	319 a
10,5	3429 a	1661 a	1931 a	48,5 c	5281 a	315 a
DMS ($p < 0,05$)	477	58	68	6,5	456	27

Peso seco total

Se encontró diferencia significativa entre las menores densidades (4 y 6 pl/m²) y las mayores (8 y 10,5 pl/m²) siendo estas últimas superiores en un 45% respecto al promedio del peso seco total de las densidades de 4 y 6 pl/m². Coincidiendo de esta manera con Cox (1996) y Doebley *et al.* (1997) respecto a la baja plasticidad vegetativa del cultivo de maíz, ya que las plantas ubicadas en las menores densidades no igualaron la MS lograda por la mayor cantidad de plantas en las altas densidades. Esto es así debido a que las unidades experimentales de mayor densidad alcanzaron el IAF crítico antes, logrando una mayor EUR produciendo una mayor biomasa.

Rendimiento

Los mayores rendimientos se alcanzaron en las densidades de 8 y 10,5 pl/m², sin diferencias significativa entre ellas. El menor rendimiento se obtuvo en la densidad de 4 pl/m², un 69% del promedio logrado en las dos densidades más altas (8 y 10,5 pl/m²) (Tabla 5). No se logró llegar a la densidad a partir de la cual los rendimientos comienzan a disminuir con el aumento de la misma, mencionado por Satorre *et al.* (2003). Respecto al IC se observó una caída a medida que aumenta la densidad. No obstante, el promedio general del IC fue de 0,55 lo que indica una alta partición hacia estructuras reproductivas, ya que Garay y Colazo, 2015 considera que el IC del cultivo de maíz oscila entre 0,43 y 0,52 con variaciones atribuidas al genotipo, al ambiente y a la interacción genotipo x ambiente

El NG fue significativamente mayor para las densidades de 8 y 10,5pl/m². Por su parte, no se encontraron diferencias en el PG entre densidades. El NG presentó una asociación positiva con el

rendimiento y explicó un 96% de su variabilidad. Por el contrario, el PG no se asoció con el rendimiento (Fig. 3).

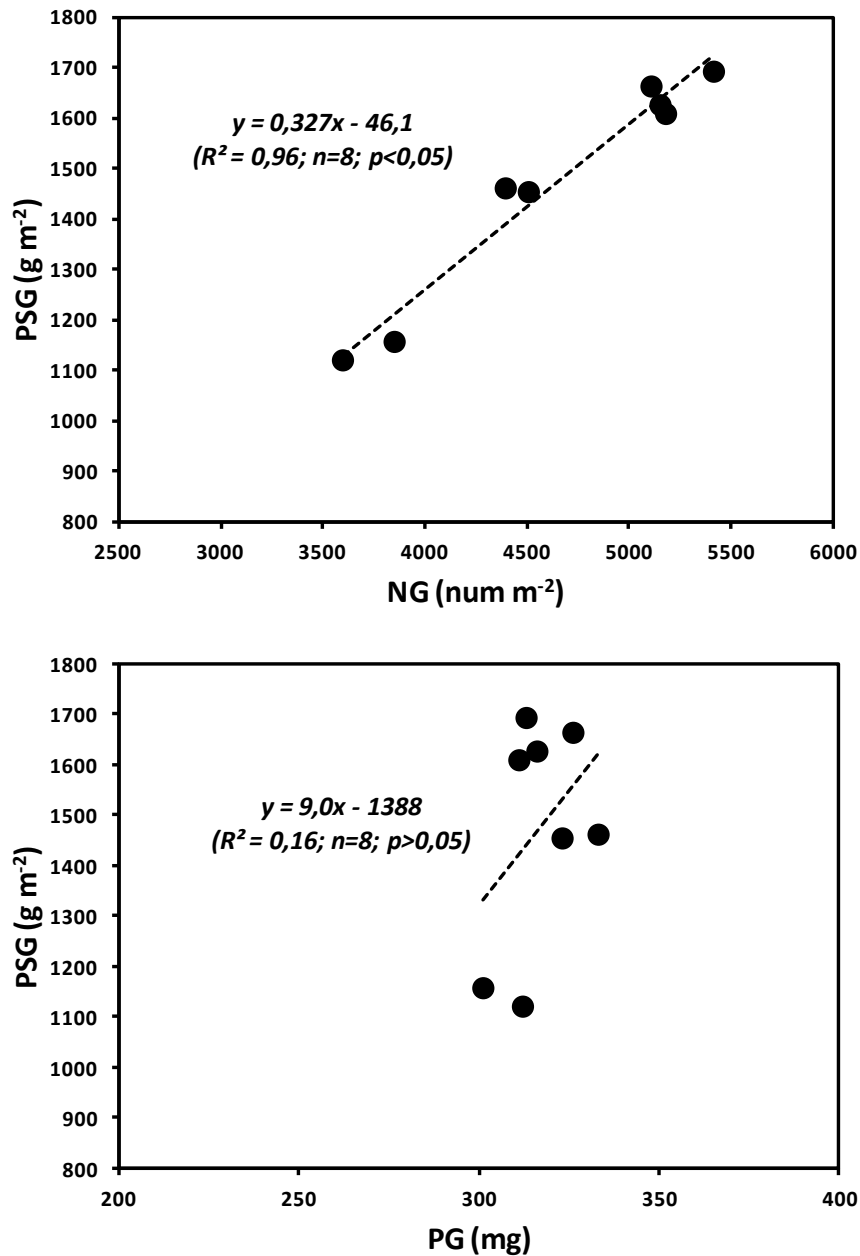


Fig. 3: Asociación entre el rendimiento (PSG) y el número de granos por unidad de superficie (NG) en el panel superior y entre el PSG y el peso individual del grano (PG) en el panel inferior.

Peso específico del tallo y vuelco de plantas

El peso específico del tallo se redujo a medida que aumentó la densidad (Fig. 4). Pero, a pesar de la menor resistencia del tallo con incrementos de la densidad, no se observaron plantas que

hayan sufrido vuelcos y/o quebrados en ninguna de las unidades experimentales al momento de la cosecha.

Se debe destacar que no hubo eventos de vientos fuertes en la zona para la campaña en estudio.

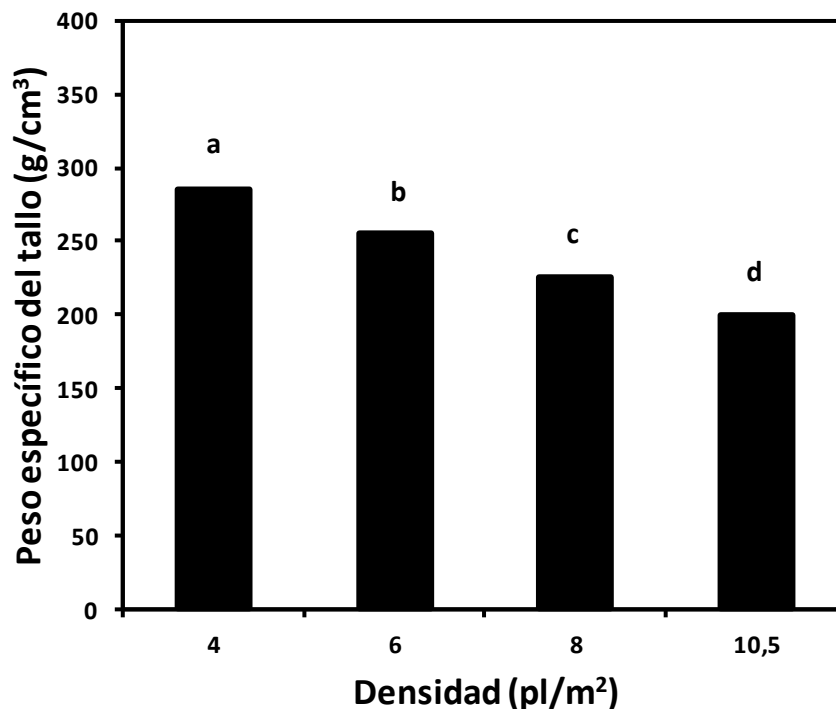


Fig. 4: Peso específico del tallo para cada densidad. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

Pérdida de Humedad de Granos

Desde el 15 de febrero al 15 de marzo, teniendo en cuenta las características climáticas de esta época y de la campaña, la tasa diaria de pérdida de humedad de grano fue de 0,45% en promedio de todas las densidades. La densidad de 10.5 pl/m² es la que presentó mayores valores de humedad del grano lo que puede deberse a que la mayor cantidad de plantas, impiden que las corrientes de aire puedan desplazar el microclima húmedo presente alrededor de la planta, y además al presentarse mayor cantidad de follaje, la incidencia de la radiación es menor. Al momento de la cosecha la humedad oscilaba entre 14,5 y 16 %, motivo por el cual no se observaron los inconvenientes de rotura de granos, pérdidas por desgrane, enfermedades y aumento en los costos de secado artificial, mencionados por Satorre, *et al.* (2012).

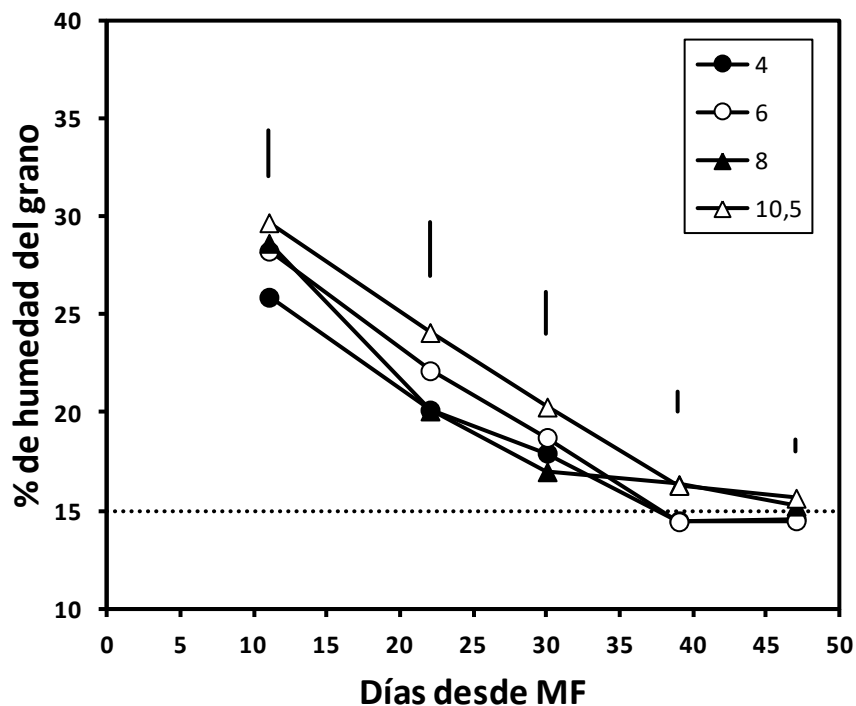


Fig. 5: Pérdida de Humedad del grano para cada densidad. Las barras verticales indican la DMS ($p < 0,05$) y la línea horizontal punteada la humedad de referencia del 15% de humedad.

Pérdidas de Cosecha

Las pérdidas por cosecha cuantificadas en el ensayo se consideran aceptables ya que fueron en promedio de 205 kg (1,2% del rendimiento promedio) y Bragachini *et al.* (2005) cita como tolerante una pérdida del 3% del rendimiento. No se encontraron diferencias significativas de pérdidas entre los tratamientos. Es importante destacar que las pérdidas por cabezal fueron en promedio del 16% y las pérdidas por cola 84%, contradiciendo a lo demostrado por Ferrari *et al.* (2016) quien afirma que en promedio el 72% de las pérdidas se debe a la recolección (cabezal) y el 28% a la trilla, separación y limpieza (cola). Además, explican que cuando estos porcentajes son alterados, aumentando las pérdidas por la cola de la cosechadora, la causa generalmente es por mala regulación del cabezal (excesivo corte de plantas y aumento del índice de alimentación no grano, como por ej hojas, tallo, marlo) o por un mal estado del cultivo.

Por último, Ferrari *et al.* (2016) establecen que del 100% de las pérdidas por cabezal, el 82% es por desgrane de espigas y ello se debe a una mala regulación de las chapas espigadoras o bien a un cultivo de plantas y espigas muy desuniformes en su tamaño, hecho que no se vio en el presente ensayo.

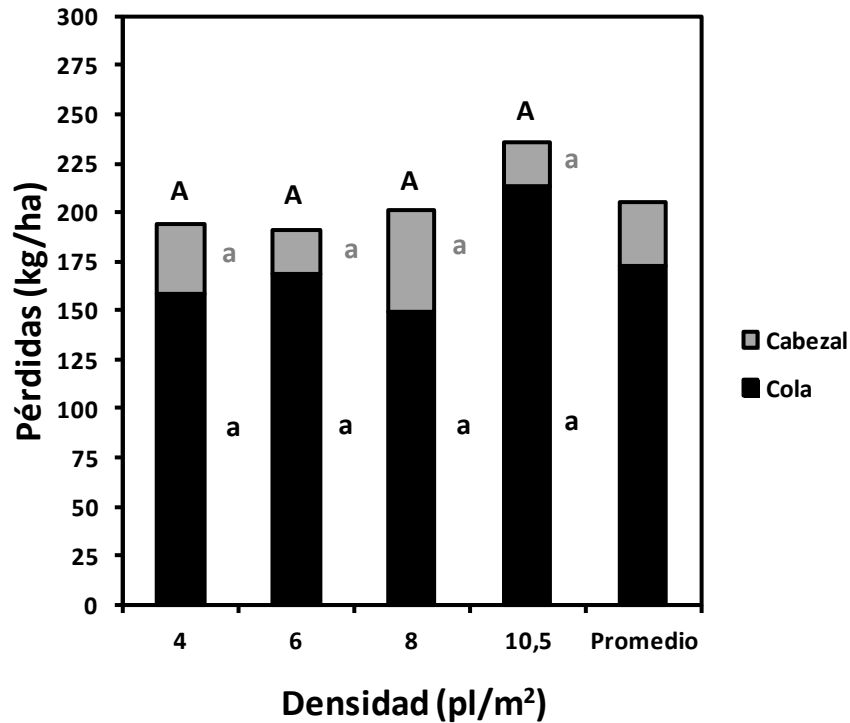


Fig. 6: Pérdida de cosecha en kg/ha para cada densidad. Letras iguales indican diferencias estadísticas no significativas ($p>0,05$). Letra mayúscula compara pérdidas totales (cola + cabezal), letra minúscula negra compara pérdidas por la cola de la máquina, letra minúscula gris compara pérdida por el cabezal.

Resultado Económico

En la Tabla 6 se puede observar el resultado económico. El margen bruto se correlacionó positivamente con la densidad de siembra utilizada, y fue mayor al utilizar densidades más altas. Esto se debió a que el incremento de densidad presentó mayores rendimientos, con su consecuente mayor ingreso, y este superó al incremento de costo generado por utilizar más cantidad de semillas para incrementar la densidad.

Tabla 5: Detalle del Resultado Económico

	4 pl/m ²	6 pl/m ²	8 pl/m ²	10,5 pl/m ²
2,5 lt. Glifosato	\$ 1.162	\$ 1.162	\$ 1.162	\$ 1.162
1 kg. atrazina 90%	\$ 604	\$ 604	\$ 604	\$ 604
5 gr. Metsulfuron	\$ 11	\$ 11	\$ 11	\$ 11
400 kg. Urea	\$ 20.442	\$ 20.442	\$ 20.442	\$ 20.442
40 kg. Fertilizante a la siembra	\$ 8.103	\$ 8.103	\$ 8.103	\$ 8.103
Semilla hibrido P2089	\$ 7.294	\$ 10.969	\$ 14.588	\$ 19.195
Pulverización barbecho	\$ 450	\$ 450	\$ 450	\$ 450
Siembra	\$ 3.800	\$ 3.800	\$ 3.800	\$ 3.800
Fertilización al voleo	\$ 1.600	\$ 1.600	\$ 1.600	\$ 1.600
Cosecha	\$ 9.500	\$ 9.500	\$ 9.500	\$ 9.500
Flete a puerto	\$ 19.995	\$ 25.591	\$ 28.723	\$ 29.207
Costo de oportunidad de la tierra	\$ 23.969	\$ 23.969	\$ 23.969	\$ 23.969
Costo total	\$ 96.930	\$ 106.200	\$ 112.951	\$ 118.043
Kg de Rendimiento	13330	17060	19148	19471
Valor de la producción	\$ 265.934	\$ 340.363	\$ 382.011	\$ 388.456
Margen bruto	\$ 169.005	\$ 234.163	\$ 269.059	\$ 270.413

CONCLUSIONES

En este trabajo se hizo hincapié en la evaluación de diferentes densidades en fecha de siembra temprana del cultivo de maíz en un ambiente caracterizado por la presencia de napa freática.

Debido a las condiciones ambientales presentes durante la campaña, el cultivo no enfrentó situaciones de estrés hídrico en ningún momento y en consecuencia se lograron rendimientos que expresan el alto potencial productivo de la localidad. En este sentido, cuando se sembraron densidades entre 8 y 10,5 pl/m² estos estuvieron en el orden de 1900 g/m². Sumado a esto, la duración de las etapas fenológicas no se vio modificada ante el aumento de la densidad, reafirmando que el cultivo no sufrió estrés.

El número de granos por unidad de superficie fue el componente numérico más asociado a las variaciones del rendimiento. El mismo fue máximo para las densidades de 8 y 10,5 pl/m². En contrapartida, en la densidad menor (4 pl/m²), el NG no pudo ser compensado por mayor PG y pone en evidencia la baja plasticidad reproductiva del cultivo de maíz.

A pesar de la reducción del peso específico del tallo a medida que aumentó la densidad, no se observaron diferencias en el quebrado y/o vuelco de las plantas. Esto también puede ser considerado como una evidencia de un buen estado fisiológico del cultivo, aún en condiciones de alta densidad. La ausencia de problemas de vuelco y/o quebrado indican una buena estructura de soporte del tallo, la cual podría haberse visto comprometida si se hubiera producido una mayor removilización de reservas para el crecimiento del grano.

Respecto a la pérdida de humedad del grano, esta se mantuvo en valores mayores en la densidad de 10,5 pl/m², indicando que en esa situación las condiciones del canopeo impiden una mayor velocidad de secado de los granos. Esto puede traer aparejado demoras en la cosecha. Las pérdidas de cosecha no presentaron variación entre densidades y las mismas son aceptables ya que fueron menores al 3%.

Analizando el resultado económico podemos ver que en un año de estas características las densidades de 8 y 10,5 pl/m² fueron las que lograron el mayor margen bruto. Sin embargo se podría considerar que la densidad de 8 pl/m² sería las más adecuadas para la zona en estudio, ya que las mismas presentaron un mayor peso específico que la densidad mayor, entonces en una futura campaña con mayor presencia de vientos fuertes, habría menor susceptibilidad al vuelco de plantas evitando posibles pérdidas de rendimiento.

Para finalizar debemos destacar la importancia de la correcta elección de la densidad de siembra. Esta última le permitirá al cultivo poder captar todos los recursos que le ofrece el ambiente para poder alcanzar el máximo rendimiento sin redundar en costos excesivos. En el presente trabajo se demostró que con la disponibilidad hídrica de la campaña 2020-2021, las siembras tempranas y las altas densidades lograron alcanzar rendimientos potenciales y los mejores márgenes económicos.

Bibliografía

Andrade F. H., Sadras V.O., Vega C.R.C. and Echarte L. 2005. Determinantes ecofisiológicos del crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz, girasol y soja. Su aplicación al manejo del cultivo, modelado y mejoramiento. Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

Andrade F. H., Cirilo A., Uhart S., Otegui E.1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa, Balcarce, Argentina.

Bolsa de cereales de Córdoba. 2021. Campaña 2020/21 Segunda quincena de junio. Publicado en internet, disponible en <https://sway.office.com/nnWDB9gfNMZkYPiD>. Activo julio 2021.

Bolsa de comercio de Rosario. 2021. Estimaciones agrícolas. Publicado en internet, disponible en <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/gea/estimaciones-nacionales-de-produccion/estimaciones>. Activo julio 2021.

Bragachini M., Peiretti J. 2005. Determinación de Pérdidas durante la Cosecha de Maíz. INTA Manfredi. Publicado en internet, disponible en www.agroconsultasonline.com.ar/documento.html?op=d&documento_id. Activo julio 2021.

Catálogo de híbridos PIONEER. 2021. Publicado en internet, disponible en <https://semillas.app/P2089.html>. Activo julio 2021.

Catálogo de Rizobacter Microstar PZ. 2021. Publicado en internet, disponible en <https://www.rizobacter.com.ar/es/productos/argentina/microstar-pz>. Activo julio 2021.

Cox W.J. 1996. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. Agron. J. 88:489-496.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M y Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Doebley J.A., Stec A., Hubbard L. 1997. The evolution of apical dominance in maize. Nature 386: 485-488.

Ferrari H., Ferrari M. C., Sánchez F., Urretz Zavalía G., Bragachini M. 2016. Cosecha de maíz Técnicas prácticas para la regulación y calibración de la cosechadora y su cabezal maicero. Publicado en internet, disponible en <https://docplayer.es/35251214-Cosecha-de-maiz-tecnicas-practicas-para-la-regulacion-y-calibracion-de-la-cosechadora-y-su-cabezal-maicero.html>. Activo julio 2021.

Garay J. A., Colazo J. C. 2015. El cultivo de maíz en San Luis. Publicado en internet, disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_maizensanluis.pdf

Gardner B.R., Pearce R. B., Mitchel R. L. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press. USA. 327 págs.

Infostat. 2021. Infostat/Estudiantil, versión 2020. Grupo Infostat/FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Ed. Brujas, Córdoba, Argentina.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1998. Cartas de suelos de la República Argentina, Provincia de Córdoba, Hoja San Francisco 3163-29.

Instituto nacional de tecnología agropecuaria. 2021. Visor GeoINTA. Publicado en internet. Disponible en <http://visor.geointa.inta.gob.ar/?p=857>. Activo julio 2021.

Luque S. 2019. El cultivo de maíz, ecofisiología y producción del cultivo. Publicado en internet, disponible en https://fca.aulavirtual.unc.edu.ar/pluginfile.php/66214/mod_resource/content/4/Ecofisiolog%C3%ADa%20ma%C3%ADz%202019.pdf. Activo julio 2021.

Nosetto M. D., Jobbagy E., Jackson R., Sznaider G. 2009. Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. Field crop research, www.elsevier.com/locate/fcr.

Paliwal L. R. 2013. Usos del Maíz. Publicado en internet, disponible en <http://www.fao.org/3/x7650s/x7650s08.htm>. Activo julio 2021.

Papucci S., González A., Cruciani M., Tuttolomondo G., González M. 2016. Maíces tempranos versus tardíos. Publicado en internet, disponible en <https://fcagr.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2016/11/5AM46.pdf>. Activo julio 2021

Ritchie S., Hanway J. 1982. Clave fenológica del cultivo de maíz. Publicado en internet, disponible en <http://www.agro.unc.edu.ar/~wpweb/cereales/wp-content/uploads/sites/31/2018/07/Etapas-fenologicas-de-cereales-y-oleaginosas.pdf>. Activo julio 2021.

Satorre E. M., Benech Arnold R. L., Slafer G. A., De La Fuente E., Miralles D. J., Otegui M. E., Savin R. 2003. Producción de Granos Bases Funcionales para su manejo. Editorial Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

Suarez A., Geronimo Gomez L. 2021. Intercepción de radiación fotosintéticamente activa como factor determinante de densidad optima en cultivares de maíz (*Zea mays* L.). Publicado en internet, disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-radiacion.pdf>. Activo julio 2021.

Tollenaar M. 1977. Sink-source relationship during reproductive development in maize. A review. *Maydica* 22:49-52.

Universidad tecnológica nacional regional San Francisco. 2020. Estación meteorológica San Francisco. Publicado en internet, disponible en <https://climatologia.sanfrancisco.utn.edu.ar/contenidos/estado-del-tiempo>. Activo julio 2021.

Weather spark. 2021. Clima de San Francisco (s.f.). Publicado en internet, disponible en <https://es.weatherspark.com/y/28489/Clima-promedio-en-San-Francisco-Argentina-durante-todo-el-año>. Activo julio 2021.