



**“Densidad de Siembra en Maíz (*Zea mays* L.) para Silaje:
Relación entre Rendimiento y Calidad Nutricional”**

**Trabajo Final de Grado Para optar al
título de Ingeniero Agrónomo**

Autor: Juan Pablo Prada

Director: Ing. Agr. (M.Sc., Dr.) Luis Máximo Bertoia.

**Universidad Nacional de Lomas De Zamora
Facultad de Ciencias Agrarias**

2020

Agradecimientos

Antes que nada, a mis padres, mi hermano, mi abuelo y toda mi familia que sin ellos esto nunca hubiera sido posible.

A Luis M. Bertoia por siempre estar predispuesto a ayudar y transmitir sus conocimientos y que junto a Alejo hicieron más ameno este último tramo.

A la Cátedra de Cerealicultura y la UNLZ Agrarias que me abrió las puertas para formarme tanto como persona y profesionalmente y trabajar con ellos.

Y a todos mis amigos que me acompañan en las buenas y sobre todo en las malas.

Índice General

Índice General.....	3
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas	5
Palabras Claves	6
Acrónimos	6
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción	9
Importancia del silaje de maíz en Argentina	9
Silaje de Maíz.....	12
Partición de la materia seca	14
Calidad Nutricional	16
Densidad de Siembra	18
Objetivos e Hipótesis.	21
Objetivo general	21
Objetivos específicos	21
Hipótesis.....	21

Materiales y Métodos	22
Resultados y Discusión	28
Variables relacionadas al rendimiento.....	28
Variables relacionadas a la digestibilidad	32
Conclusiones.....	39
Investigaciones Futuras.....	41
Bibliografía	42
Datos Anexos	49

Índice de Figuras

Figura 1: Temperaturas mínima y máxima en °C y precipitaciones diarias desde siembra a cosecha, expresada en días desde la siembra. Fuente: Estación meteorológica UNLZ Agrarias.....	24
Figura 2. Distribución de precipitaciones caídas en Vicente Casares, partido de Cañuelas, Provincia de Bs. As., durante los meses de evaluación 2018-2019, se detalla momento de siembra y cosecha. Fuente: Estación meteorológica UNLZ - Agrarias.....	25
Figura 3: Respuesta de del rendimiento de Materia seca en Kg Ms ha ⁻¹ de las porciones de T+H, ESP y PC en cuatro densidades a través de tres híbridos en un ensayo a campo en la localidad de Cañuelas, Bs As.....	30
Figura 4: Relación entre el % de espiga (IE) y la Digestibilidad de la Planta Completa (Dpc) en cuatro densidades en tres híbridos en un ensayo a campo en la localidad de Cañuelas, Bs As.....	34
Figura 5: Respuesta de la DIVMS de las porciones de T+H, ESP y PC en cuatro densidades a través de tres híbridos en un ensayo a campo en la localidad de Cañuelas, Bs As.....	36

Índice de Tablas

Tabla 1: Características de los híbridos utilizados. Informacion obtenida del portfolio de Asociacion de Coperativas Argentinas (ACA). No se incluyó el hibrido experimental por no estar disponible en el mercado.....23

Tabla 2: ANOVA y DMS de las variables relacionadas al rendimiento evaluadas a través cuatro densidades (D),con tres Híbridos (H) y su interacción (D x H) en un ensayo a campo en la localidad de Cañuelas, B A.....30

Tabla 3: Significancia del ANOVA y DMS de las variables relacionadas a la digestibilidad evaluadas a través de la Densidad (D), Híbrido (H) y su interacción (DxH) en un ensayo a campo en la localidad de Cañuelas, B A.....32

Palabras Claves

Maiz para silaje. Digestibilidad in Vitro. Índice de Espiga. Rendimiento de materia seca.

Acrónimos

ANVA: Análisis de varianza

ESP: Espiga

DIVE: Digestibilidad in vitro de la materia seca de la espiga (%)

DIVTH: Digestibilidad in vitro de la materia seca de tallo más hojas (%)

DIVPC: Digestibilidad in vitro de la materia seca de la planta completa (%)

DIVMS: Digestibilidad in vitro de la materia seca

DMS: Diferencias de Medias Significativas

FDA: Fibra detergente Ácida

FDN: Fibra detergente Neutra

IAFc: índice de área foliar crítico

IE: Índice de Espiga

LDA: Lignina Detergente Ácida

MS: Materia Seca

NIRS: Near infrared reflectance spectroscopy

PC: Planta completa

RMSE: Rendimiento de la materia seca de la espiga (Kg de materia seca ha⁻¹)

RMSTH: Rendimiento de la materia seca de tallo más hojas (Kg de materia seca ha⁻¹)

RMSPC: Rendimiento de la materia seca de la planta completa (Kg de materia seca ha⁻¹)

T+H: Tallo más hojas

Resumen

La definición de la densidad de siembra del maíz (*Zea mays* L.) es una de las decisiones de manejo de cultivo que tiene mayor impacto tanto en lo económico como en la producción forrajera y su calidad nutricional cuando el destino es el ensilaje de planta entera. Por lo tanto, es de interés la respuesta de distintos genotipos de maíz a este factor de manejo sobre las variables de producción de materia seca y la calidad de los componentes de la planta. El objetivo de este trabajo fue determinar como interactúan la densidad de siembra con la producción de forraje de materia seca (Kg Ms ha^{-1}) de los componentes de la planta, Tallo+Hojas (T+H), Espiga (ESP) y Planta Completa (PC), así como también la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) de los mismos componentes. Para ello, tres híbridos simples de maíz fueron evaluados en un ensayo a campo en la localidad de Cañuelas, Buenos Aires durante la campaña 2018-2019 en un diseño factorial de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se realizó un ANOVA de los principales componentes y otro de correlación entre densidad y digestibilidad de la materia seca. Contrariamente a lo esperado no se detectaron diferencias significativas para la interacción de los tratamientos, densidad e híbrido en ninguna de las variables analizadas. La densidad de 90 mil pl ha^{-1} fue la que generó el mayor rendimiento de materia seca de espiga (RMSE). Cuando se analizó el rendimiento de materia seca de planta completa (RMSPC), la densidad de 90 mil pl ha^{-1} junto con la de 110 mil pl ha^{-1} fueron las que se diferenciaron positivamente del resto. El rendimiento de materia seca de T+H (RMSTH) presentó diferencias significativas para híbridos y densidades, diferenciándose negativamente el híbrido granífero de los seleccionados por ser doble propósito. No se observaron diferencias significativas para DIVE y DIVPC. En cambio, sí hubo diferencias en la DIVTH, donde los híbridos doble propósito se diferenciaron del híbrido granífero. Se encontró una relación positiva entre el índice de espiga (IE) y la digestibilidad, aunque no fue estadísticamente significativa.

Abstract

The definition of the sowing density of corn (*Zea mays* L.) is one of the crop management decisions that has the greatest impact both economically and on forage production and its nutritional quality when the destination is whole plant silage. Therefore, the response of different maize genotypes to this management factor on the variables of dry matter production and the quality of the plant components is of interest. The objective of this work was to determine how the sowing density interacts with the dry matter forage production (Kg Ms ha^{-1}) of the components of the plant, stover (T + H), ear (ESP) and whole plant (PC), as well as the in vitro dry matter digestibility (DIVMS) of the same components. For this, three simple maize hybrids were evaluated in a field trial in the town of Cañuelas, Buenos Aires during the 2018-2019 campaign in a randomized complete block factorial design with three repetitions. An ANOVA of the main components and another of correlation between density and dry matter digestibility were carried out. Contrary to our expectations, no significant differences were detected for the interaction of the treatments, density and hybrid in any of the variables analyzed. The density of $90.000 \text{ pl ha}^{-1}$ was the one that generated the highest yield of ear dry matter (RMSE). When the whole plant dry matter yield (RMSPC) was analyzed, the density of $90.000 \text{ pl ha}^{-1}$ together with that of $110.000 \text{ pl ha}^{-1}$ were those that were positively differentiated from the rest. The yield of dry matter of T + H (RMSTH) presented significant differences for hybrids and densities, differing negatively the grain hybrid from those selected for being double purpose. No significant differences were observed for DIVE and DIVPC. On the other hand, there were differences in the DIVTH, where the dual-purpose hybrids differed from the grain hybrid. A positive relationship was found between the ear index (IE) and digestibility, although it was not statistically significant

Introducción

Importancia del silaje de maíz en Argentina

La demanda global de los cultivos de cereales se está incrementando a pasos acelerados en consecuencia de la expansión de la población en el mundo (Duvick y Cassman, 1999; Tilman et al., 2011; FAO, 2018) El maíz (*Zea mays* L.) junto con el arroz y el trigo, es uno de los tres cereales más importantes del mundo para alimentación humana y animal (FAOSTAT, 2011), constituyendo con un tercio de la producción mundial de cereales, con un promedio de 157 millones de hectareas por año y una producción de 781 megatoneladas mundiales por año entre 2000 y 2014 (Ramirez-Cabral et al., 2017). Este cultivo se destina principalmente a la alimentación animal, aunque también en la alimentación humana como en productos no alimenticios (Garcia Stepien, 2012). La mayor utilización de los cereales para la alimentación del ganado en conjunto con un esperado aumento en la producción de biocombustibles (Edgerton, 2009), compiten por las tierras agrícolas disponibles (Dunn *et al.*, 2013) en la actualidad se evidencia un desplazamiento de la actividad ganadera hacia zonas marginales juntamente con una reducción de la superficie destinada a la producción de forrajes. Frente a este panorama, el productor ganadero debe recurrir a importantes inversiones destinadas a la generación de forrajes que aporten elevados rendimientos por unidad de superficie y excelente calidad nutricional. En el contexto presente y futuro de una intensificación ganadera, el cultivo de maíz para silaje cobra relevancia (Garcia Stepien, 2012).

Así como la Siembra Directa produjo un cambio que potenció la agricultura argentina, la tecnología que revolucionó la producción de carne y leche en nuestro país es el silaje de maíz. En las últimas décadas,

Argentina sufrió una evolución de la superficie destinadas a silaje de maíz y sorgo, en busca de una mayor eficiencia productiva de carne y leche. En la década de los 90, el 80% del escaso silaje de maíz que se producía era destinado a la producción de leche, siendo poco significativo el destino de estos forrajes a la producción de carne (Bragachini et al., 2015). En la última década, si bien se mantuvo año a año un marcado incremento de la superficie picada para leche, este proceso fue acompañado de un fuerte aumento de las hectáreas destinadas a la producción de carne, principalmente en feed lot, lo que indica una evolución hacia sistemas más intensivos de producción (Santini, 2003; C.A.C.F.,2020).

Es importante destacar que este forraje conservado ha incrementado su participación en las raciones de un 15 a casi un 40% y su tiempo de uso pasó de 4 a 6 meses (para cubrir los baches de producción estacional de forrajes) a todo el año (De Leon, 2004).

En Argentina la superficie cultivada para silaje se incrementa año a año. En 20 años la superficie destinada al mismo se multiplicó por 20 (INTA, 2015). Del total de hectáreas sembradas con maíz durante la campaña 2018-2019 (6.000.000 ha) aproximadamente el 20% (1.238.722 ha) se destinó a silaje alcanzando así un número récord (C.A.C.F.,2019), siendo esta superficie más de un 50 % superior a la de la campaña 2007/2008.

En el país, las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe concentran el 87 % de las hectáreas destinadas a silaje y el formato de conservación más utilizado fue en silo bolsa (81.8%), siendo el resto conservado en silos aéreos (18.2%) (C.A.C.F., 2019). Dentro de la elección de cultivo para ensilar en la Argentina se encuentra el maíz en primer lugar con el 58.5% seguido por sorgo con 17.2% de la superficie total cultivada para este destino, el resto es abarcado por verdeos y pasturas. (C.A.C.F., 2019). Dentro de las ventajas de incluir el silaje en los planteos ganaderos se encuentran: sostener cargas animales más elevadas, terminar con los picos y baches de forraje y estabilizar la oferta forrajera. La clave en materia de costos está en el rinde del cultivo que le dé origen, (IPCVA, 2009) llegando a

producir rendimientos muy importantes por hectárea, con elevado valor energético, fácil de producir y conservar, y muy bien aceptado por los animales. Frente a una tendencia mundial a mayor demanda de alimentos, con mercados creciendo a ritmos sostenido (FAO, 2018), es necesario poner a disposición de los productores métodos y materiales que permitan la producción de carne y leche de calidad, satisfaciendo la demanda de los consumidores. Además, deberían ser capaces de generar una reducción en los costos productivos y ambientales.

Del más de millón y medio de hectáreas destinadas a silaje, el 43,8% (764.000 has) está destinado a lechería y el 56,2 % (980.461has) a carne (C.A.C.F., 2016). Si tomamos las producciones de leche y carne durante la misma campaña, podemos suponer que el 30 % de la leche y sólo el 5 % de la carne que se produce en el país provienen del silaje. Estos números, aunque aproximados, son suficientemente contundentes para extraer conclusiones trascendentes (Bertoia, 2016). El 85 % de los tambos utiliza silaje y sólo un 10 % en los establecimientos para carne, o sea que, si la demanda de carne aumentara, y el desarrollo de feed lot creciera, se incrementaría abruptamente la demanda de maíz para silaje, y aun así, es cercana en superficie a la empleada por la actividad lechera.

Frente a esta realidad que deslumbra un futuro que podría ser promisorio para el mercado de semillas híbridas y para el país, nos encontramos a medio camino en el empleo de la tecnología que demanda el ensilaje de maíz. Así como también no se debe ignorar la utilización de híbridos menos aptos para este destino. De acuerdo con encuestas realizadas por Maizar surge que gran parte de los productores eligen híbridos para silaje tomando como principales características la incorporación de eventos para resistencia a Glifosato, precio de la semilla, al volumen total de planta y su rendimiento en grano, recomendaciones de vecinos o exigencias de nutricionistas en cuanto a calidad generada (Bertoia, 2020).

Se pudo observar que el productor no cuenta con suficiente información por parte de las empresas semilleras y carece de elementos que le permitan evaluar la calidad de los materiales. Por lo tanto, es frecuente que reduzca costos de producción utilizando semilla barata y asumiendo que no existe diferencia entre híbridos y en consecuencia, no justificarían realizar inversiones en genética.

El silaje de maíz es un forraje esencialmente energético, ya que su tenor proteico es bajo y poco variable. Su calidad nutritiva depende del contenido de grano y de la calidad del resto de la planta, razón por la cual interesa conocer no sólo el índice de espiga [IE = peso seco de espiga completa/peso seco de planta completa] a picado sino también la proporción de los distintos componentes morfológicos, los cuales presentan calidades intrínsecas diferentes (Carrete y Scheneiter, 2012).

Por esto y dada la necesidad de reducir el costo por unidad de nutriente y lograr un producto de mejor valor nutricional, es necesario maximizar la producción y calidad del forraje por unidad de superficie. Esto implica, entre otros factores, tener en cuenta una correcta elección del híbrido, época y densidad de siembra, fertilización, control de malezas y cosecha del forraje en el momento adecuado (Carrete et al., 1997; Ventimiglia, 2020).

Silaje de Maíz

La cantidad y calidad del silaje de maíz está bajo influencia directa del manejo del lote: una mala elección de la fecha y densidad de siembra, el control de malezas, el nivel de nutrientes, el momento de cosecha, etc. pueden transformar un excelente híbrido en un fracaso y, por supuesto, un híbrido mediocre con buen manejo podría superarlo sin inconvenientes. Sumado a esto, la digestibilidad de sus componentes (ESP y T+H) varía por efecto del genotipo, siendo la arquitectura de la planta uno de los condicionantes de su calidad. La misma cambia entre fechas y densidades de siembra, dando mayor o menor desarrollo de la parte vegetativa (Bertoia, 2012). Esta variación en las proporciones de los

componentes del silaje recae directamente en la calidad del mismo, ya que el grano es el principal componente digestible del mismo y su relación con el T+H serán determinantes en la digestibilidad (Cone y Engels, 1990).

Gran parte de la selección de híbridos de maíz se ha realizado en materiales destinados a la producción de grano, careciéndose de suficiente información sobre el comportamiento de los demás componentes de la planta, así como también sobre la respuesta de la calidad. La selección de genotipos graníferos se focaliza en incrementar el rendimiento de granos mientras que la selección de genotipos sileros busca mejorar el rendimiento de materia seca total digestible, siendo objetivos claramente diferentes (Bertoia, 2012). Ante esto, el aumento de la lignina fue la consecuencia estructural necesaria para sostener el incremento del tamaño de la espiga de los híbridos graníferos actuales (Barrière et al., 2005; Duvick, 2005) y la digestibilidad de la porción vegetativa varía de acuerdo al contenido de pared celular, a la cantidad y composición química de la lignina (principal factor de pérdida de calidad en las plantas) y a su distribución en la pared secundaria de las células vegetales (Garcia Stepien, 2012).

El ideotipo de maíz forrajero debería generar altos rendimientos de materia seca de excelente calidad, que podrían alcanzarse mediante el empleo de genotipos de mayor tamaño, utilizando densidades de siembra similares o menores que las usadas en los híbridos para grano (rendimiento vertical) o bien, mediante el empleo de genotipos de arquitectura más baja y compacta, capaces de tolerar altas densidades sin resignar rendimiento ni calidad (rendimiento horizontal) (Bertoia, 2000). Ciertas características en el maíz para silaje, como la digestibilidad, son escasamente modificadas por el ambiente, mientras que el rendimiento está fuertemente condicionado por la expresión ambiental (Bertoia, 2000, 2012). Gravelier (1986), propone que un híbrido para silaje no requiere una fuerte translocación desde la caña hacia el grano, como en los híbridos graníferos, sino que la misma debería transformarse en un segundo depósito de energía altamente digestible, mientras Zimmer y Wermke

(1986), plantearon la existencia de variabilidad genética para la translocación de asimilados desde la caña hacia la espiga. Estas observaciones, sostienen las bases para la búsqueda de variabilidad genética del grado de asociación entre el IE (Fairey, 1980) y la calidad nutricional de la fracción vegetativa.

Como resultado de la fuerte prioridad que tiene la espiga como destino, los azúcares formados en el área fotosintética de la planta no terminan en pared celular poco digestible, sino en almidón del grano, dando una fuerte influencia a la espiga en la digestibilidad (INTA, 2015). Esto se debe principalmente a que en la espiga, los azúcares se destinan a almidón, contenido celular o pared celular altamente digestible. Una vez terminado el llenado del grano se produce una leve caída en la digestibilidad de sus paredes celulares (INTA, 2015). La producción de nueva pared celular cesa, pero la lignificación es constante. A medida que pasa el tiempo tras la madurez fisiológica del grano, solo hay pérdida de calidad. Esta situación se traduce en un detrimento de la digestibilidad, ya que el proceso de lignificación dificulta la digestión del resto de los integrantes de la pared celular (celulosa + hemicelulosa) (Argillier et al., 1996., Di Marco et al., 2000). Se puede esperar por este motivo que la digestibilidad no aumenta una vez que el cultivo deja de acumular materia seca, por el contrario, ocurre una caída de la misma. Sumado a este escenario hay que tener en cuenta que por encima de 40% la MS del grano pierde digestibilidad. Ya que un elevado contenido de materia seca del grano puede inducir una utilización incompleta de los mismos por parte del animal (Di Marco et al., 2000).

Partición de la materia seca

Tradicionalmente se consideró importante la cantidad de grano que contenía el silaje para valorarlo nutricionalmente. De allí que en los ensayos realizados en el país se midiera la proporción de espiga en relación con los cambios en la densidad de plantas. Los resultados muestran que este carácter puede ser

poco afectado, aunque las diferencias en el IE por efecto de sitios y años pueden ser muy importantes (Carrete y Scheneiter, 2012).

La interacción híbrido x densidad en el porcentaje de ESP y de T+H encontrada en algunos ensayos realizados puede reflejar la diferente adaptación de los híbridos al estrés poblacional. En silaje, toda la planta toma relevancia; ESP y T+H, tanto desde el punto de vista de la producción de materia seca como desde la calidad de la misma. Si bien la fracción ESP es muy importante dado el aporte energético y calidad, la fracción T+H tienen tanta importancia como la ESP ya que aportan alrededor del 50% de la materia seca. El valor nutritivo del material a ensilar mejora a medida que aumenta el contenido de grano, hasta que éste representa un 30 % de la MS total (Dalla Valle et al., 1999), luego con el avance de la madurez, una mayor lignificación del tallo puede reducir o contrarrestar el beneficio de un mayor nivel de grano de la planta (Romero et al., 2004).

Mencionado esto, a medida que se comienza a aumentar la densidad, se genera una competencia por recursos dentro del cultivo determinando que posteriores aumentos en el número de individuos tengan efectos negativos en los restantes y disminuyan el crecimiento individual de las plantas. En estos niveles de densidad de plantas existe un momento de equilibrio donde no hay efectos negativos en el porcentaje de la fracción de ESP, y el volumen total de materia seca aumenta por incremento en la cantidad de plantas. Pasado esto, el rendimiento de la materia seca de planta completa (RMSPC) se mantiene más o menos constante pero se condiciona el rinde en ESP afectando negativamente la calidad del silo y la proporción de energía del mismo (Bertoia, 2005).

Calidad Nutricional

Este concepto tiene numerosas connotaciones, siendo prácticamente imposible dar una única definición. La manera más sensata es buscar sinónimos para comprender el concepto, la "calidad del forraje" podemos equipararla a digestibilidad, que a su vez depende de la proporción del material ingerido que se degrada en rumen. Los términos calidad, valor nutritivo o calidad nutritiva, se usan indistintamente como sinónimos debido a que así se emplea en la bibliografía científica (Agnusdei, *et al.* 2001).

El contenido de materia seca al momento de picado tiene relación directa con la calidad técnica (aptitud del forraje para conservarlo con pérdidas mínimas) y con la calidad biológica del cultivo (aptitud para generar producto animal: Leche o carne). La calidad técnica puede ser afectada por el contenido de materia seca del forraje que va a estar condicionada por la densidad de siembra y la arquitectura de la planta. La calidad biológica también es sensible a las variaciones de humedad, ya que el contenido de materia seca condiciona el consumo y la concentración de nutrientes en el forraje verde (Bertoia, 2009). Según la mayoría de las evaluaciones realizadas en nuestro país, la DIVMS puede ser similar para distintas densidades de plantas. Sin embargo, algunos ensayos evidenciaron que esta variable disminuyó con altas densidades, aunque dependió del híbrido, ya que desde el punto de vista morfológico, el aumento de la densidad de plantas a cosecha provoca invariablemente una disminución del diámetro del tallo (Carrete y Scheneiter, 2012).

Una baja calidad de la planta o una caída brusca de la digestibilidad (debido a una gran lignificación del tallo) pueden enmascarar el efecto favorable que produce la acumulación de grano en la espiga. Desde este punto de vista, el mayor contenido de grano es deseable siempre y cuando compense la caída de calidad del resto de la planta (Romero et al, 2004). La digestibilidad de las hojas, tallo y chala disminuye

con la maduración, pero ésta disminución se compensa por un aumento de la cantidad de grano (Weaver et al., 1978). Por lo tanto, cuando la planta alcanza la madurez fisiológica, mayor es la energía digestible por hectárea. Diferencias en el valor nutritivo pueden ocurrir por otros factores ajenos a la maduración, como los agronómicos, climatológicos, condiciones de cosecha y de almacenamiento (Jorgensen y Crowley, 1988).

Ya en la década de 1980, la falta de interés en diferenciar calidad en el maíz para uso forrajero ha obtenido como respuesta la introducción de nuevas variedades que presentan cambios leves en los valores de digestibilidad de la materia orgánica pero menores que otras características que han mejorado significativamente (Struik, 1983a). Por ejemplo, con la mejora de las características agronómicas para lograr un cultivar de alto rendimiento en grano, también se ha seleccionado por resistencia de la caña al vuelco. Dicha resistencia se logra a través de un incremento del contenido de lignina en la pared celular (Pinter, 1986). Sin embargo, incrementar la digestibilidad del maíz forrajero por mejoramiento genético es posible sin mayor sacrificio del rendimiento (Deinum y Bakker, 1981). Como ejemplo, es posible citar la serie alélica mutante recesiva, denominada BMR, la cual genera una brusca caída en el porcentaje de lignina que contiene la pared celular, obteniéndose un incremento en la digestibilidad de los tejidos (Barriere y Argillier, 1993). No obstante, la reducción en el contenido de lignina generalmente va acompañada por una reducción en la biomasa, por consiguiente, cualquier reducción de ésta debería estar compensada por un incremento en el rendimiento digestible total (Pedersen et al., 2005). Estos maíces representan una excelente alternativa ante situaciones en las cuales se requiera de un silaje de alta calidad, sin depender tanto del contenido de granos para lograr calidad de material a ensilar. Lo cual puede convertirse en una ventaja estratégica frente a los maíces convencionales, ya que estos últimos presentan una fuerte dependencia de los granos para aportar calidad de material picado (Lus, 2014). Existen genotipos de maíz que presentan un retraso de la

senescencia foliar al ser comparados con un genotipo de referencia, a este rasgo se lo denomina Stay green (Thomas y Howarth, 2000). Bosch et al. (1989), encontraron que aquellos híbridos de maíz con destino forrajero que presentaban el rasgo Stay green podían aventajar a sus competidores por presentar un mayor período de picado y por una menor pérdida de DIVTH (Bosch et al.1990), siendo estas dos características de relevancia para un genotipo con destino forrajero.

Las técnicas de laboratorio como la espectrometría cercana al infrarrojo y la de digestión de celulosa se correlacionan lo suficientemente bien con la digestibilidad, por lo que su empleo permite una reducción de tiempo y costo de las evaluaciones (Deinum y Struik, 1986).

Densidad de Siembra

La densidad óptima para un cultivo (número de plantas que maximiza el rendimiento) depende de las condiciones ambientales, del manejo, y de las particularidades fisiológicas de la especie (Camarasa, 2019).

El cultivo es capaz de alcanzar su máxima tasa de crecimiento recién cuando alcanza su índice de área foliar crítico (IAFc), es decir, el IAF que le permite captar el 95% de radiación incidente. Cuanto antes alcance dicha cobertura y cuanto más tiempo la mantenga, mayor será su producción de biomasa (Andrade et. al., 1996). En maíz, son limitados los mecanismos de compensación del área foliar por planta, frente a un escaso número de plantas en el cultivo (Cox, 1996; Doebley et al., 1997). Por consiguiente, en bajas densidades, el cultivo no logra desarrollar suficiente área foliar para alcanzar IAFc. Contrariamente, el incremento en la densidad de plantas permite alcanzar coberturas en forma anticipada dentro del ciclo del cultivo, alcanzando antes el IAFc, lo que favorece la producción de biomasa o rendimiento biológico.

De este modo, la producción total de materia seca por unidad de área se incrementa con el aumento de la densidad de plantas, siguiendo una relación esencialmente asintótica (Andrade et al., 1996).

Se detectó una respuesta positiva al incremento en la densidad de plantas en San Vicente y Cañuelas, determinando un aumento del 18 % en la producción de materia seca cuando las densidades se incrementaron desde 60.000 a 100.000 pl ha⁻¹ (Bertoia y col. 1994). En Pergamino, incrementos de 45 y 50 % en la cantidad de plantas logradas a cosecha se tradujeron en aumentos de 14 a 18 % en producción de forraje, mientras que en Balcarce, (Dalla Valle y col. 1999), determinaron un aumento del 16 % en la acumulación de biomasa cuando incrementaron la densidad de 70.000 a 110.000 pl ha⁻¹.

En general, estas respuestas positivas se han manifestado con condiciones de humedad muy favorables para el desarrollo del cultivo. Sin embargo, si las condiciones ambientales durante parte del cultivo no son satisfactorias, puede no haber relación positiva entre densidad de plantas a cosecha y acumulación de biomasa.

El cultivo de maíz es el menos estable en cuanto al rendimiento por unidad de superficie ante variaciones en las densidades de plantas debido a su baja capacidad de compensación a bajas densidades además, afecta significativamente la interceptación de radiación y causan una disminución en la producción de forraje sin incrementar significativamente el número de granos. Por el contrario, cuando la densidad de plantas está por encima de las recomendadas se puede reducir el número de granos por unidad de superficie (Vega y Andrade, 2000).

Si bien el grano no es el único factor que determina la calidad nutricional del ensilaje de maíz planta entera, es un componente que puede aportar entre el 50 al 70% del valor energético del alimento. Esta variación es debida al contenido de grano y a la calidad de la porción fibrosa del material a ensilar (Camarasa et al., 2019)

En los últimos años se ha investigado cómo el aumento de la densidad impacta en la calidad y el rendimiento. En el norte de la provincia de Buenos Aires y en otras localidades se han observado que aumentos hasta 100.000 pl ha⁻¹ se obtiene el máximo rendimiento sin perder calidad (Cusicanqui y Lauer, 1999; Scheneiter et al, 2012; Machinandiarena et al., 2013). Contrariamente, otros autores determinaron que esta variable disminuyó con altas densidades, aunque dependió del híbrido (Scheneiter y Carrete, 1999) (Díaz et al., 2014).

En función de lo explicado anteriormente y ante este contexto alentador para el silaje de maíz, cobra importancia el conocimiento de que sucede cuando incrementamos la densidad de siembra, con las fracciones de T+H y ESP del maíz, como asimismo observar la variación de la calidad forrajera de la planta completa y la partición de las fracciones T+H y ESP en el material a ensilar por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de la densidad de siembra en la producción forrajera y la calidad nutricional de la planta entera del maíz para silaje así como también de sus componentes.

Objetivos e Hipótesis.

Objetivo general

- 1- Determinar la respuesta sobre la producción de materia seca para silaje y su digestibilidad, de los componentes de la planta, tallo+hojas, espiga y planta completa de híbridos de maíz (*Zea mays* L) en distintas densidades de siembra.

Objetivos específicos

1. Determinar si existen interacción entre los híbridos y la densidad de siembra en la DIVMS de tallo+hojas, espiga y planta completa como así también en el RMS de estos componentes.
2. Determinar cuál es la densidad óptima de siembra que maximice el rendimiento y la calidad de forraje.
3. Determinar el efecto del híbrido sobre el rendimiento de los componentes de la planta y sobre la calidad.

Hipótesis

- 1- Mayores densidades de siembra generan un aumento en el rendimiento de materia seca, pero de menor calidad nutricional.
- 2- Existe una relación positiva entre el índice de espiga y la calidad del material a ensilar.
- 3- Materiales con alto grado de stay green tendrían la capacidad de generar silos de mayor calidad.

Materiales y Métodos

Para evaluar la DIVMS y el RMS de los componentes de la PC y de sus componentes (ESP y T+H) se sembraron cuatro densidades, 50.000 pl ha⁻¹, 70.000 pl ha⁻¹, 90.000 pl ha⁻¹ y 110.000 pl ha⁻¹ respectivamente en un ensayo a campo, siguiendo un diseño factorial de bloques completos al azar y tres repeticiones, en el Establecimiento “La Esperanza”, de la localidad de Cañuelas, Prov. de Bs. As. Donde el Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, (SAGyP – INTA) describe a la unidad cartográfica como un paisaje con pequeñas lomas alargadas adyacentes a grandes bajos y áreas aluviales. Las cartas de suelo mostraron que este pertenece a la serie de suelos Br, con un complejo formado por la serie Brandsen (70%) y la serie Los Mochos (30%), con un Índice de Productividad del 61% y una clasificación de capacidad de uso de III ws. El suelo es un argiudol típico con textura franco-arcillosa y el ensayo se ubicó en una loma dentro del paisaje.

Se utilizaron tres híbridos de la empresa Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA).

- ACA VG48 RR2 (H48).
- Exp. 18 MZ 223 VT3PRO (H18).
- ACA 470 VT3P (H470).

Los genotipos fueron selectos por presentar características contrastantes para la producción de silaje. El H470 es un híbrido simple de maíz con una clasificación de aptitud granífero, con densidades recomendadas para grano de 72.000 a 82.000 pl ha⁻¹ y una buena capacidad de compensación en siembras de baja densidad. Contrariamente, los híbridos simples H48 y H18 fueron seleccionados por su alto rendimiento y calidad de materia seca. Estos últimos cuentan con el sello de aptitud ganadera de

parte de la empresa obtentora por generar una biomasa con mayor digestibilidad de acuerdo con información proporcionada por ACA (Alfredo González, com. personal).

Tabla 1: Características de los híbridos utilizados. Información obtenida del portfolio de Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA). No se incluyó el híbrido experimental (H18) por no estar disponible en el mercado.

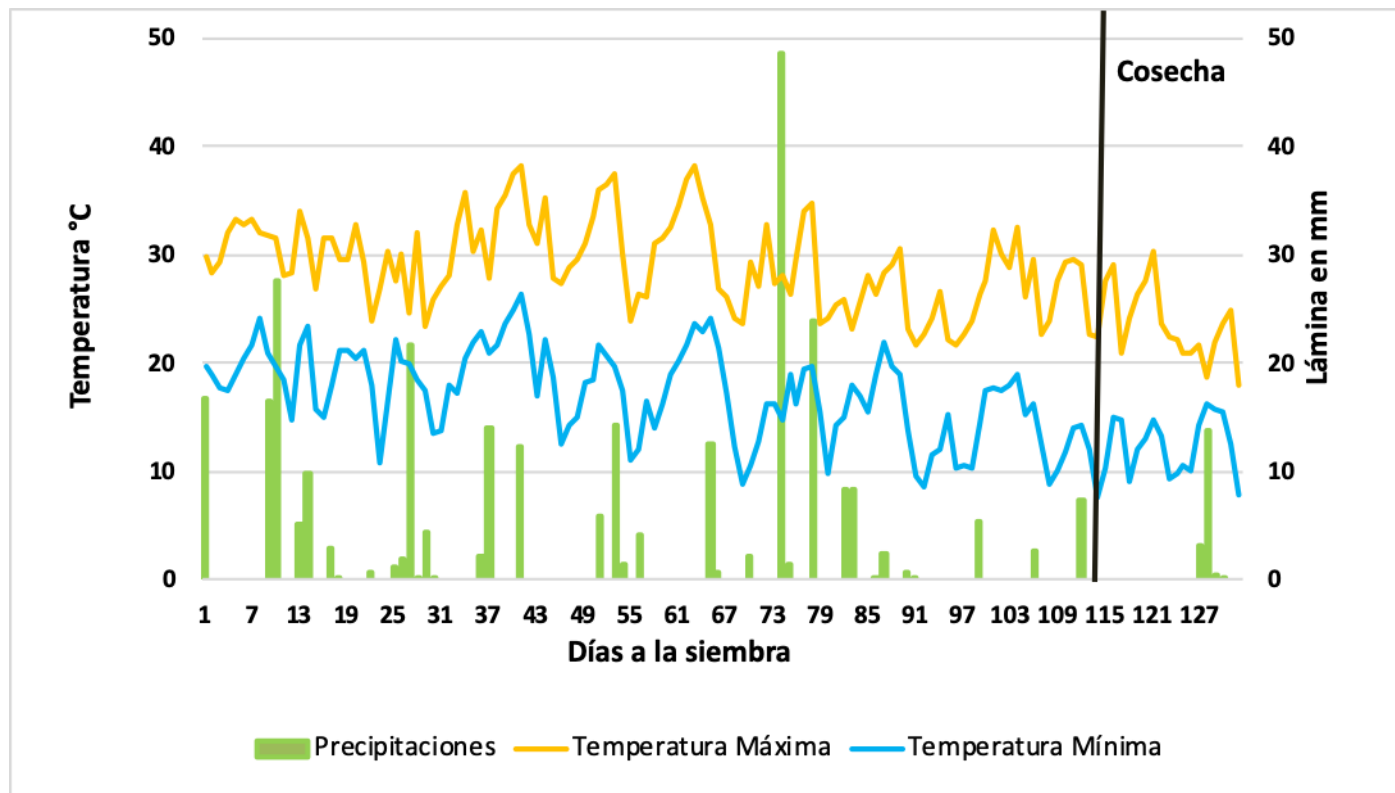
	ACA VG48 RR2	ACA 470 VT3P
Tipo de Cruzamiento	Simple	Simple
Capacidad Compensatoria	Media	Alta
Ciclo / Madurez Relativa	Intermedio/ 122	Intermedio a Corto/ 120
Prolificidad	Baja	Alta
Stay Green	Alto	Bajo
Velocidad de Secado	Media	Alta
Plantas a Cosecha	68.000 / 80.000	72.000 / 82.000
GDUº S-VT (Pergamino 2 años)	805	784

Los antecedentes del lote son cultivos de sorgo, maíz y hortícolas. La preparación del suelo se realizó mediante labranza convencional a través de rastra de casquetes esféricos y rolo desterronador.

Las temperaturas se mantuvieron dentro de los rangos normales con registros máximos en diciembre y enero, durante todo el desarrollo del cultivo y especialmente durante floración donde no hubo estrés térmico como puede verse en la Fig.1. Es decir que durante el período en el cual se llevó a cabo el ensayo, se dieron condiciones de buena humedad durante la siembra y en los primeros estadios de cultivo como se puede ver en la Fig.2. Las condiciones siguieron óptimas para el momento de floración presentando condiciones de buenas a muy buenas al igual que para llenado de grano (Fig. 2). En cuanto

a las precipitaciones, éstas estuvieron bien distribuidas y no se presentaron signos de estrés hídrico durante el ciclo del cultivo.

Figura 1: Temperaturas mínima y máxima en °C y precipitaciones desde siembra a cosecha, expresada en días desde la siembra. Fuente: Estación meteorológica UNLZ Agrarias.

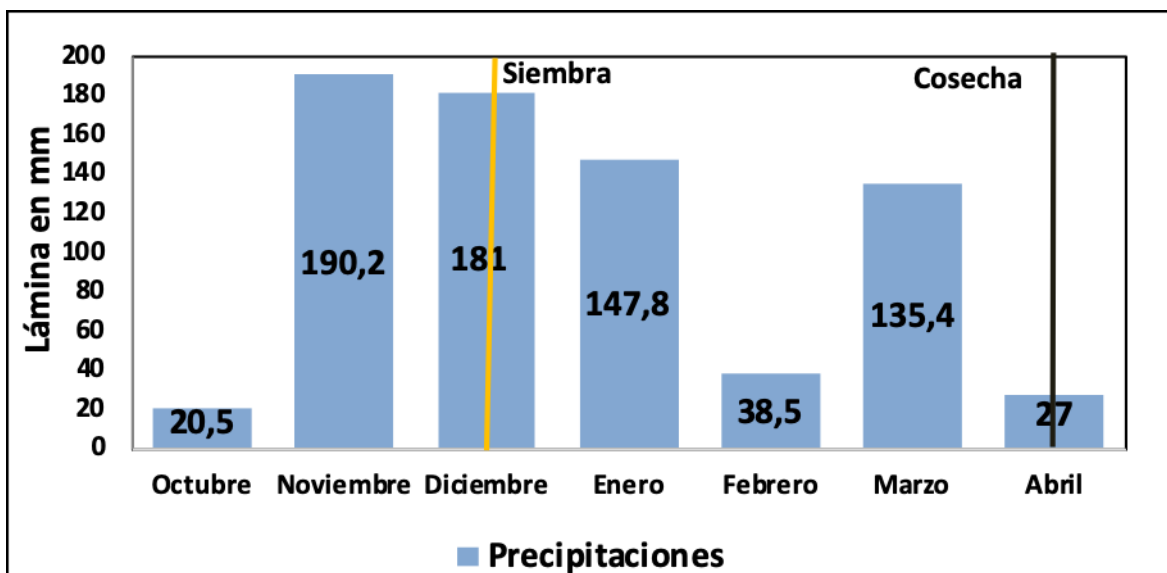


El ensayo fue sembrado manualmente utilizando un bastón sembrador con 2 semillas por golpe el 20 de diciembre de 2018, de dos surcos de 15 m de largo distanciados a 0.52 m.

El raleo se realizó cuando las plantas de cada parcela se encontraban en estado V₂-V₃. El control de malezas se efectuó con atrazina (3 l ha⁻¹) + acetoclor (2 l ha⁻¹) aplicado en preemergencia. Para proteger el cultivo de posibles ataques de insectos, sobre todo *Spodoptera* sp., se utilizó Tracer (Spinosad) en 3 aplicaciones consecutivas de 0,05 l ha⁻¹, separadas por siete días cada una. Inmediatamente después de la siembra se fertilizó con un equivalente de 100 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico y en el estado de V₅- V₆

(Escala fenológica de Ritchie y Hanway, 1982) con el equivalente de 150 kg ha⁻¹ de urea granulada, pese a que los análisis de suelo mostraron buena disponibilidad de estos nutrientes.

Figura 2. Distribución de precipitaciones caídas en Vicente Casares, partido de Cañuelas, Provincia de Bs. As., durante los meses de evaluación 2018-2019, se detalla momento de siembra y cosecha. Fuente: Estación meteorológica UNLZ - Agrarias.



La cosecha se realizó cuando el contenido de materia seca de la planta completa se encontraba dentro de la ventana óptima de picado (30-40%) (Lusk, 1978). Este momento fue definido mediante cortes semanales y secado del material en estufa con circulación forzada de aire a 60°C de dos plantas provenientes de surcos adyacentes. En el momento determinado como óptimo para la cosecha, se cortaron diez plantas elegidas al azar en estado de competencia perfecta a 20cm del suelo (cinco plantas de cada uno de los dos surcos) y se determinó el peso de PC. Luego, se separaron las ESP que fueron pesadas para calcular por diferencia el peso del T+H. Se tomaron muestras de las ESP cortando los dos extremos de estas, al igual que muestras del fitómero que presenta la hoja donde se inserta la espiga cortando en el nudo inferior y superior de la misma. Las muestras fueron secadas en estufa a 60 °C hasta peso contante para determinar el contenido de MS al momento del corte. Luego se procedió a moler las

muestras recolectadas y se utilizó espectroscopia de reflectancia de infrarrojo cercano (NIRS) para las determinaciones de la calidad del forraje utilizando un NIRS 6500 Foss (Foss NIRS Systems Inc., Silver Spring, MD, EE. UU.) Las ecuaciones de calibración NIRS se determinaron utilizando un subconjunto de muestras previamente analizadas por métodos de laboratorio. Para la calibración NIRS, todos los datos se analizaron utilizando un método de cuadrados mínimos parciales. Como sugirieron Shenk y Westerhaus (1996), los criterios utilizados para seleccionar las ecuaciones de predicción fueron la maximización del coeficiente de determinación (R^2) y la minimización del error estándar de calibración. Se utilizó una técnica enzimática (pepsina-celulasa) para determinar la DIVMS de la materia seca. Las muestras se incubaron en pepsina durante 24 horas y luego en preparaciones de celulasa de *Trichoderma viridae* durante 48 h. Se incluyó un tratamiento para la hidrólisis del almidón en digestión a alta temperatura (100 ° C) durante 45 min y se realizó en una incubadora Daisy II, Ankom Technology Corp., Fairport, NY, EE. UU.

Se realizó un análisis de regresión de cada uno de los componentes de la planta, respondiendo a las fórmulas generales, según el ajuste se haya hecho con una función cuadrática (1) o lineal (2):

$$(1) Y = \alpha X^2 + \beta X + \mu$$

$$(2) Y = \alpha X + \mu$$

Donde

Y: Respuesta del ensayo para la variable considerada.

α : Densidades utilizadas.

β : Híbridos utilizados.

μ : Media general del ensayo para la variable considerada.

También se realizó un análisis de ANOVA y una prueba de comparación de medias, utilizando las diferencias mínimas significativas (DMS) con una significancia del 5%, para clasificar los híbridos y las densidades según el resultado dado de los análisis mediante el programa infostat (Di Rienzo, 2011).

Resultados y Discusión

Variables relacionadas al rendimiento.

En la tabla 2 se observa que no se evidenció interacción entre los tratamientos para ninguna de las variables de rendimiento analizadas. Por lo que se procedió al análisis individual de las mismas.

Con respecto al RMSE la densidad de 90.000 pl ha⁻¹ fue la que más producción obtuvo, superando en un 7% a la densidad de 110.000 pl ha⁻¹ (Figura 3), coincidiendo con Vega y Andrade (2000) en que cuando la densidad está por encima de las recomendadas se puede reducir el número de granos por unidad de superficie. Los menores RMSE se alcanzaron con las densidades más bajas.

Tabla 2: ANOVA y DMS de las variables relacionadas al rendimiento evaluadas a través cuatro densidades (D), con tres Híbridos (H) y su interacción (D x H) en un ensayo a campo en la localidad de Cañuelas, Bs As.

Variables relacionadas al rendimiento				
		RMSE (Kg Ms ha ⁻¹)	RMSTH (Kg Ms ha ⁻¹)	RMSPC (Kg Ms ha ⁻¹)
Densidades	50 mil pl ha ⁻¹	8252 d	7188 b	15441 c
	70 mil pl ha ⁻¹	10890 c	9253 a	20143 a
	90 mil pl ha ⁻¹	13355 a	10113 a	23468 a
	110 mil pl ha ⁻¹	12444 b	10109 a	22554 a
Híbridos	H 18	11824 a	10012 a	21836 a
	H 48	10789 b	9198 a	19987 b
	H 470	11094 ab	8288 b	19381 b
D	p-valor	0.0001*	0.0001*	0.0001*
H	p-valor	0.0351*	0.0014*	0.0023*
D x H	p-valor	0.5284 Ns	0.7726 Ns	0.6382 Ns

Ns = no hay significancia y * marcan significancia.

Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas para un nivel de significancia del 5%.

En cuanto a los híbridos, el H18 fue el que más RMSE acumuló y que no difirió con el H470 que fue seleccionado netamente por su buen rendimiento granífero. El H48, material doble propósito, rindió un 9% menos que el H18.

En el RMSTH hubo diferencias entre materiales y densidades. Los híbridos H18 y H48 se diferenciaron del H470, un material netamente granífero, con rendimientos superiores del 20% y 10% respectivamente. El incremento de la densidad de siembra generó un aumento de 28% del RMSTH cuando se paso de 50.000 pl ha⁻¹ a 90.000 pl ha⁻¹ que fue la que más acumuló mientras que no se detectaron diferencias de medias entre esta ultima densidad y la de 110.000 pl ha⁻¹ con valores entre 9.000 y 10.100 kg MS/ha (Figura 3).

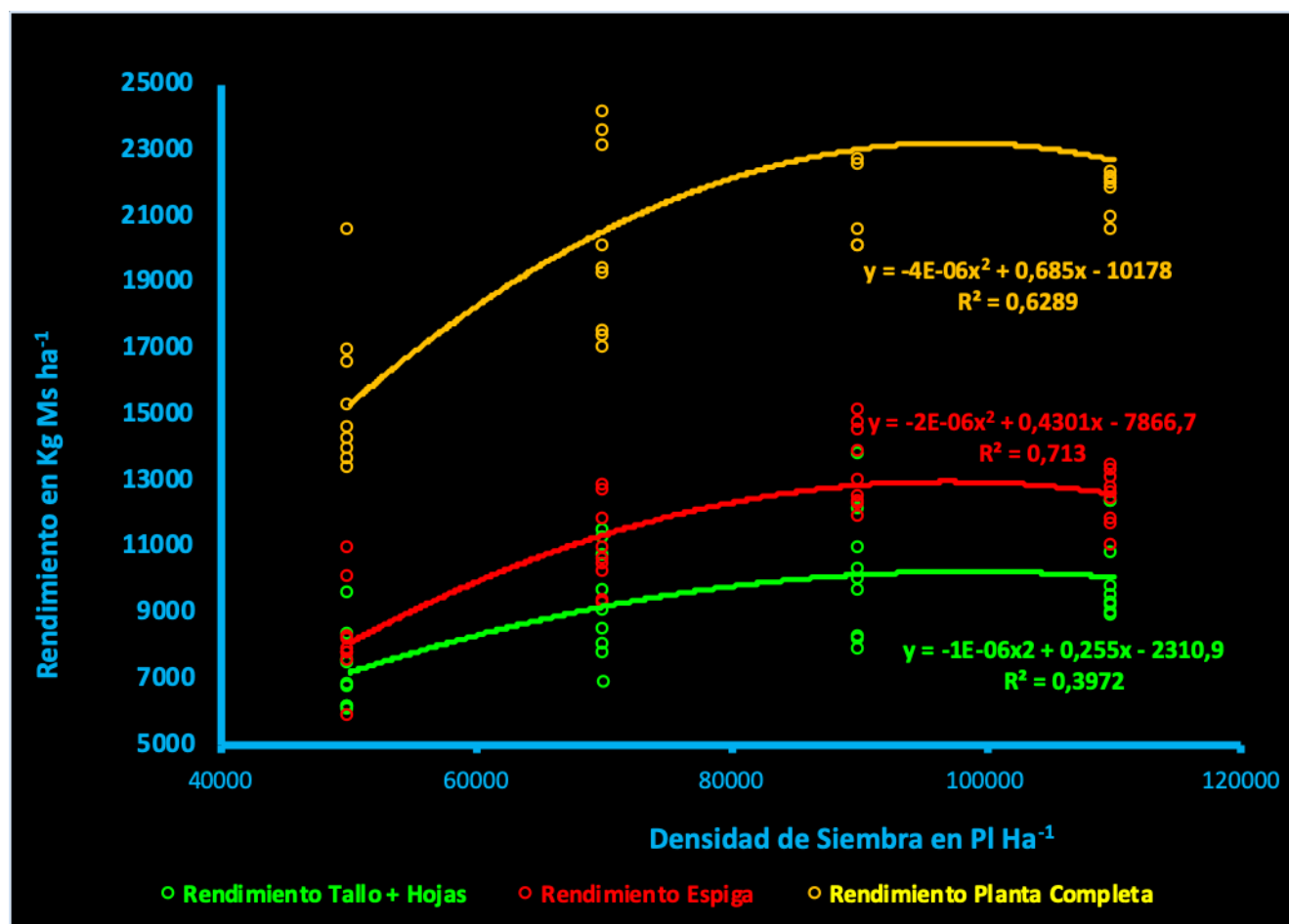
Para el RMSPC, el material experimental doble propósito H18 tuvo el mejor comportamiento que también fue el que mejor diferencia logró en RMSE y RMSTH. Los híbridos H48 y H470 tuvieron un rendimiento inferior, 8% y 9% menos respectivamente, aunque entre ellos no mostraron diferencias significativas. A medida que se aumentó el número de pl ha⁻¹, se incrementó la producción de materia seca de PC. Este resultado coincide con lo obtenido por Andrade et al., (1992). Los mayores rendimientos se obtuvieron con las densidades más altas: 90.000 pl ha⁻¹ y 110.000 pl ha⁻¹ respectivamente (Figura 3). Aumentos del orden de 20.000 pl ha⁻¹ a partir de la menor densidad resultaron en mejoras del rendimiento de 30%, 11% y 3% en kg MS ha⁻¹ respectivamente.

La respuesta del rendimiento de maíz a la densidad de siembra de un genotipo particular creciendo en condiciones controladas es típicamente parabólica (Williams et al., 1968; Giebrech, 1969; Westgate et al., 1997; Hashemi et al., 2005).

El análisis de regresión entre el rendimiento de ESP, T+H y PC del maíz, y la densidad de siembra, indicó que los resultados muestran una respuesta general positiva a la densidad de siembra, sugiriendo que estamos explorando la parte de respuesta positiva de esta curva. Esta respuesta positiva mermó antes de llegar a la densidad de 110.000 pl ha⁻¹ lo que significa una menor acumulación de materia seca de PC (Figura 3).

El aumento de la densidad por encima de valores óptimos disminuye el peso de la ESP y aumenta el de T+H, lo cual no es conveniente para silaje. Densidades supra-óptimas pueden no aumentar significativamente este componente, o reducirlo (Satorre et al., 2003). En busca de mejorar la eficiencia productiva y para alcanzar la máxima eficiencia fotosintética, el cultivo entre otras cosas debe generar un índice de área foliar que le permita capturar la mayor parte de la radiación incidente. Esto se consigue con: tipo de híbrido, arquitectura de planta, fecha de siembra, densidad de siembra, espaciamento entre hileras, etc. (Ventimiglia, 2020).

Figura 3: Respuesta de del rendimiento de Materia seca en Kg Ms ha⁻¹ de las porciones de T+H, ESP y PC en cuatro densidades a través de tres híbridos en un ensayo a campo en la localidad de Cañuelas, Bs As.



En altas densidades se maximiza la producción de materia seca ha⁻¹, esto no sucede así con los kg de espiga ha⁻¹. Esto podría explicarse por los resultados encontrados por Vega et al. (2001) quienes

describen una disminución en el crecimiento por planta producto de incrementos en la densidad, seguido de una caída en rendimiento de granos en la planta y llegando a producirse esterilidad completa de plantas con muy altas densidades. Ello responde al relegamiento en la asignación de asimilados dentro de la planta que sufre la espiga en su posición axilar, debido a mecanismos de dominancia apical a medida que la disponibilidad de recursos para el crecimiento se reduce (Andrade et al., 1993).

Aunque la localidad donde se realizó este ensayo pertenece a la medialuna lechera que rodea a Buenos Aires, se hallaron valores promedios de rendimiento de materia seca coincidentes con los citados en otros estudios realizados en la zona núcleo (Pergamino y Provincia de Santa Fe). Ferreira et al., 2014 no encontró interacción entre híbridos y densidades evaluando distintas densidades de siembras con una máxima acumulación de materia seca en 90.000 pl ha⁻¹.

Nuestro trabajo coincide con lo obtenido por Cusicanqui y Lauer (1999) donde observaron máximos RMSPC cuando se sembraron densidades de 97,300 a 102,200 pl ha⁻¹.

Considerando el rendimiento total de biomasa como la única prioridad, la siembra de maíz para ensilaje en densidades altas puede ser un enfoque atractivo para que los productores lecheros recuperen los inventarios de forrajes. Sin embargo, las altas densidades de siembra de maíz pueden exacerbar los efectos negativos de las condiciones de sequía, lo que resulta en una reducción de los rendimientos de forraje cuando son más necesarios (Ferreira et al., 2017).

Variables relacionadas a la digestibilidad

Tabla 3: Significancia del ANOVA y DMS de las variables relacionadas a la digestibilidad evaluadas a través de la Densidad (D), Híbrido (H) y su interacción (DxH) en un ensayo a campo en la localidad de Cañuelas, Bs As.

Variables relacionadas a la digestibilidad					
		DIVE (%)	DIVTH (%)	DIVPC (%)	IE (%)
Densidades	50 mil pl ha ⁻¹	81.11 b	55.00 a	69.66 a	52.88 b
	70 mil pl ha ⁻¹	82.55 ab	54.77 ab	70.00 a	53.88 ab
	90 mil pl ha ⁻¹	83.33 ab	53.44 bc	70.55 a	56.66 a
	110 mil pl ha ⁻¹	83.77 a	52.88 c	69.77 a	54.77 ab
Híbridos	H18	82.55 a	54.58 a	69.66 a	53.50 b
	H48	82.83 a	54.75 a	70.00 a	53.58 b
	H470	83.50 a	52.75 b	70.33 a	56.58 a
D	p-valor	0.1117 Ns	0.0178*	0.4189 Ns	0.1074 Ns
H	p-valor	0.2737 Ns	0.0060*	0.4091 Ns	0.0430*
D x H	p-valor	0.3153 Ns	0.0230 Ns	0.7888 Ns	0.9490 Ns

Ns = no hay significancia y * marcan significancia.

Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas para un nivel de significancia del 5%.

La DIVE no tuvo diferencias significativas por efecto del híbrido o la densidad ($p > 0,05$), tampoco su respectiva interacción (Tabla 3). Esto puede explicarse por el alto contenido de almidón en el grano, lo que no afectó el valor de calidad de la fracción de espiga de los híbridos y de las densidades. La DIVE presentó una media de 82,94 % y 82,5 % +/- 1 % respectivamente.

De acuerdo con el ANOVA (Tabla 3), se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, pero no así en la interacción en la fracción de T+H. Los H48 y H18 fueron los que mejor calidad obtuvieron con un promedio de 54,60%, diferencia esperable según las características aportadas por la empresa obtentora (Figura 4). En cuanto a las densidades, se observó que a medida que aumentó la cantidad de plantas ha⁻¹ logradas, los valores de digestibilidad fueron disminuyendo (Tabla 3), 50.000 pl ha⁻¹ obtuvo el mejor resultado con 55,00 % y la densidad de 110.000 pl ha⁻¹ fue la de menor valor, con 52,88 %. Bajo

condiciones de altas densidades, las plantas responden para evitar el sombreado, provocando así una mayor partición de asimilados para el crecimiento de estructuras vegetativas que reproductivas (Kebrom y Brutnell, 2007). De este modo, la altura de planta se incrementa mientras que el diámetro del tallo decrece (Sangoi et al., 2002; Lashkari et al., 2011).

Esta disminución genera que, el porcentaje de medula del tallo disminuirá, siendo ésta la que posee mayor digestibilidad, tal respuesta representaría que la fracción indigestible (Corteza) aumentaría, produciendo una mayor cantidad de lignina (Bertoia, com. personal 2020) que repercutirá directamente con la digestibilidad.

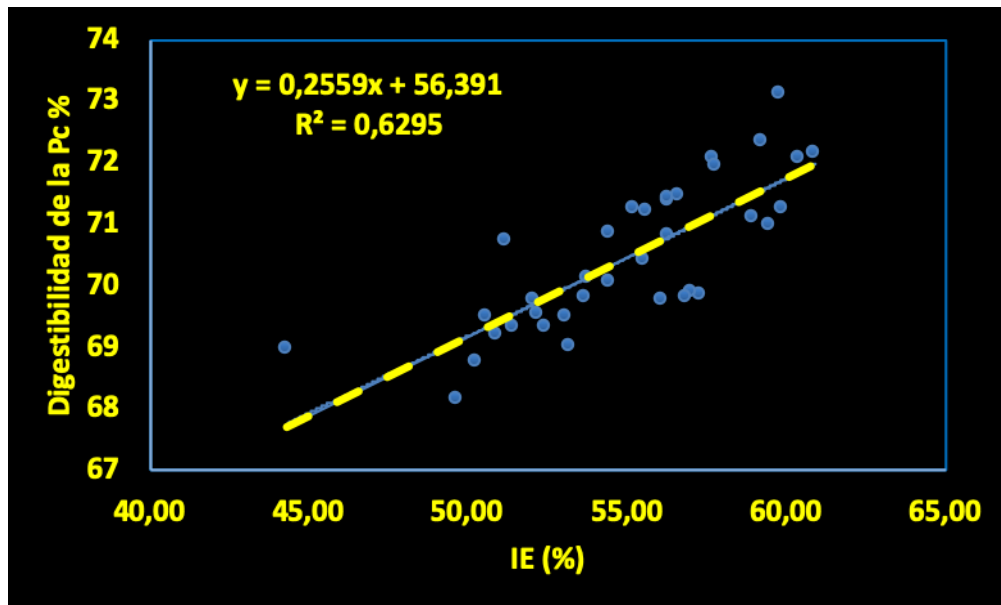
La DIVPC, en función del híbrido y de las densidades, no tuvo significancia como tampoco su interacción (Tabla 3). Según la mayoría de las evaluaciones realizadas en nuestro país, la DIVMS puede ser similar para distintas densidades de plantas. Sin embargo, algunos ensayos evidenciaron que esta variable disminuyó con altas densidades, aunque dependió del híbrido (Scheneiter y Carrete, 1999).

En Rafaela y Balcarce tampoco se observaron diferencias importantes en distintos parámetros químicos (DIVMS, FDN y FDA) entre densidades de siembra de 57.000, 85.000 y 114.000 pl ha⁻¹ (Romero y col., 1994) y 70.000, 90.000 y 110.000 pl ha⁻¹ (Dalla Valle y col., 1999), respectivamente. Valores que concuerdan con los obtenidos en este trabajo donde no se encontraron diferencias entre distintas densidades de siembra ni entre distintos híbridos con valores de digestibilidad de 70% $\pm$ 0,5% entre la densidad de 90.000 pl ha⁻¹ que obtuvo el mejor valor y la densidad de 50.000 pl ha⁻¹ que fue la de menor valor (Tabla 3)

En la figura 4 se observa una fuerte relación de la digestibilidad con la proporción de ESP en la PC. Este resultado, que se repite constantemente, es independiente del híbrido evaluado y sustenta el criterio de posicionar a los híbridos netamente graníferos como los mejores para silaje. Es evidente que cuanto

mayor sea el aporte de la ESP al rendimiento de la PC mayor será su calidad, medida a través de la digestibilidad.

Figura 4: Relación entre el % de espiga (IE) y la Digestibilidad de la Planta Completa (Dpc) en cuatro densidades en tres híbridos en un ensayo a campo en la localidad de Cañuelas, Bs As.



Si el análisis concluye con este resultado se comete un error importante, ya que es correcto que el grano es el que aporta la mayor digestibilidad, pero se debe destacar que el grano genera un aporte, en promedio, del 40 a 50 % del total de la materia seca de la PC (Bertoia, 2016 ; Romero,2004 ; Weaver et al., 1978) lo que resalta la importancia del 50% que aporta el resto de los componentes de la planta.

El H470 se diferencio significativamente de los H18 y H48 con un 3% más en su IE, diferencia que no se vio reflejada en una mayor DIVPC, evidentemente un híbrido para silaje no requiere una fuerte translocación desde la caña hacia el grano como en los híbridos graníferos, ya que parte de los azúcares pueden permanecer en la caña sin generar pérdidas de rendimiento ni calidad. De este modo, la caña debería transformarse en un segundo depósito de energía altamente digestible (Gravellier, 1986). Como así también sucedió con las distintas densidades, donde las diferencias en el IE de 4% entre la densidad

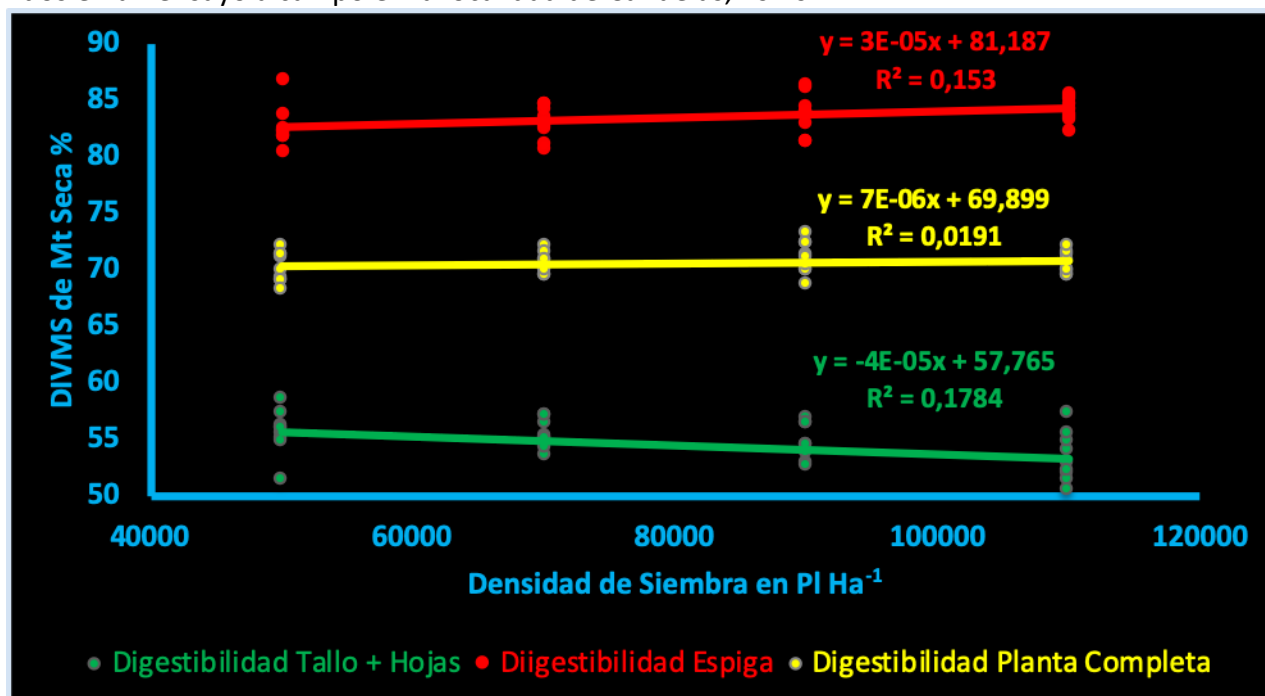
de 90.000 pl ha⁻¹ y 50.000 pl ha⁻¹ no se relacionaron con diferencias en la DIVPC. Un mayor porcentaje de grano no implica necesariamente una mejor calidad del material para ensilar, ya que una baja calidad de la planta, o una caída brusca de la digestibilidad (debido a una gran lignificación del tallo), pueden restar al efecto favorable que implica un mayor rendimiento de grano en la espiga (Wilkinson et al., 1978). Es por esta razón que el mayor contenido de grano es deseable siempre y cuando éste compense la caída de la calidad total de la planta. Si bien el énfasis debe ser puesto en el rendimiento de grano y de material verde, también debe tenerse en cuenta en el rendimiento de materia seca de la planta entera (Hunter, 1986).

Existen antecedentes que indican una reducción de la calidad en términos de DIVMS a altas densidades de plantas por incrementos en los contenidos de lignina (Cusicanqui y Lauer., 1999) mientras que otros no lo han evidenciado (Ferreira y Teets., 2017). Ferreira et al (2014) concluyen, en trabajos similares, que cuando las precipitaciones no fueron limitantes (mayores a 700 mm) no detectaron efecto de densidad sobre la calidad del cultivo de maíz, pero sí del híbrido. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en este trabajo. Mediante el análisis de regresión se observó que la evolución de la DIVMS de T+H y de ESP, que determinan la de la PC, responden a una ecuación lineal en las 4 densidades evaluadas, con valores de coeficiente de determinación R² inferiores a 0,18 (Figura 5). La DIVTH fue disminuyendo a medida que se aumentó la densidad, mientras que en la DIVE sucedió lo contrario. Diez et. al. (2014) proponen que el porcentaje de T+H se vio incrementado con aumentos en la densidad y que el porcentaje de ESP tuvo mayor incidencia en densidades bajas. Nuestros resultados podrían interpretarse como coincidentes, ya que la disminución de la DIVMS de la PC se produjo a medida que aumentó la densidad de siembra, aunque no fue estadísticamente significativo.

La siembra de maíz a altas densidades puede disminuir la concentración de energía del ensilaje resultante debido a la reducción de la polinización o el desarrollo del grano (Subedi et al., 2006;

Boomsma et al., 2009). Los datos de Boomsma et al. (2009) muestran que la proporción de grano disminuye cuando la densidad de siembra aumenta y no se fertiliza el cultivo de maíz. Además, Subedi et al. (2006) reportaron un mayor número de plantas estériles cuando se incrementó la densidad de siembra de maíz a valores por encima de las 100.000 pl ha⁻¹. De acuerdo con estas observaciones, Cusicanqui y Lauer (1999) informaron que el aumento de la densidad de siembra da como resultado ensilajes de maíz de toda la planta con mayores concentraciones de fibra y, probablemente, ensilajes de maíz que contienen menos energía y menor digestibilidad, contrariamente a lo obtenido en este ensayo. La relación negativa entre la densidad de siembra y la calidad del forraje dificulta recomendar una alta densidad de siembra basada en el rendimiento de biomasa (Cusicanqui y Lauer, 1999) siempre y cuando nos encontremos en ambientes con limitaciones.

Figura 5: Respuesta de la DIVMS de las porciones de T+H, ESP y PC en cuatro densidades a través de tres híbridos en un ensayo a campo en la localidad de Cañuelas, Bs As.



La información de campo sobre el efecto de la densidad de siembra en el rendimiento y la calidad de toda la planta de maíz debe agregar conocimientos para decidir mejor las prácticas de manejo del cultivo para obtener altos rendimientos de materia seca de forraje con la mayor digestibilidad posible. Por lo general, la cantidad de fibra vegetal aumenta con el aumento de la densidad de plantas, mientras que la digestibilidad disminuye, Diez et. al. (2014) informaron que la DIVMS de la planta completa disminuyó a medida que aumentaba la densidad, en coincidencia con lo mencionado en la introducción por Machinandiarena et al (2013) quienes estudiando un amplio rango de densidades de plantas de maíz encontraron que los valores de lignina se incrementaron con la densidad y la DIVPC fue mayor en la densidad más baja. El efecto adverso del aumento de la densidad en la calidad del forraje fue similar al reportado por Widdicombe y Thelen (2002), y Cusicanqui y Lauer (1999) y por nosotros donde no se detectó disminución de la calidad ante aumentos de la densidad. En cambio, Ferreira et al (2014) evaluaron un rango de densidad de 60.000, 70.000, 80.000 y 90.000 pl ha⁻¹ y concluyen que la densidad no afectó la calidad del cultivo de maíz, sino que hubo efecto del híbrido en el contenido de proteína bruta, lignina y almidón. Esto último, en coincidencia en parte con nuestros resultados donde la DIVPC no evidencio diferencias entre densidades ni entre híbridos de diferentes características. Tampoco se evidencio diferencias entre híbridos con diferentes grados de stay green donde incluso el H470, material granífero con bajo Stay green, obtuvo un valor levemente mayor de DIVPC con respecto al H48 aunque no fue estadísticamente significativa (Tabla 3).

En cuanto al maíz para silaje, la densidad óptima varió 81.500 y 100.000 plantas ha⁻¹ de acuerdo con lo citado por Carrete y Scheneiter, (2012) sobre la base de estudios realizados por varios autores, valores donde encuadran nuestros techos de rendimiento de 90.000 y 110.000 pl ha⁻¹. Además, de la producción de forraje, existen antecedentes que indican una reducción de la calidad (medida en términos de digestibilidad in vitro de la materia seca), a muy altas densidades de plantas cuando se

evaluó en un rango de 18.500 pl ha⁻¹ a 143.300 pl ha⁻¹ (Carrete y Scheneiter, 2012) contrariamente a los resultados obtenidos por nosotros en este ensayo.

Así, ante un escenario de bajos recursos disponibles para el cultivo debemos reducir la densidad de plantas para mantener el nivel de recursos por planta y evitar problemas de partición a espiga. 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 menos recursos ofrece el ambiente, menor es la densidad óptima del cultivo de maíz (Andrade et al., 1996). White (1976) estudió los efectos de la densidad sobre el rendimiento de maíces forrajeros y observó que la materia seca del T+H no se afectó por el incremento de la densidad, pero el contenido de materia seca de la espiga tendió a decrecer. Por su parte, Cozzolino y Fassio (1996) y Moll y Kamprath (1977) mencionan que al aumentar la densidad de plantas aumentó el porcentaje de T+H y disminuyó el porcentaje de grano, pudiéndose interpretar como negativa para lograr una buena calidad del forraje a altas densidades, datos que no concordaron con los obtenidos, donde la IE fue aumentando a medida que fue aumentando la densidad de siembra (Tabla 4) pero sin obtener diferencias significativas con DIVPC.

Conclusiones

En cuanto a la primera hipótesis, las distintas densidades de siembra afectaron positivamente a la acumulación total de materia seca a ensilar aunque contrariamente a nuestras expectativas no modificaron la calidad digestible de la materia seca a ensilar. Por lo que no se puede validar nuestra primera hipótesis.

Se concluye que aumentos en la densidad produjeron aumentos en la producción de materia seca del cultivo de maíz hasta un plateau entre 90.000 y 110.000 pl ha⁻¹ (Figura 3). El comportamiento de los híbridos fue similar, sin detectar diferencias estadísticas. Si bien no se comprobaron cambios en la proporción de T+H se observó una mayor calidad de esta fracción en la densidad más baja, sin embargo, la producción de materia seca digestible resultó inferior en esta densidad de 50.000 pl ha⁻¹.

La densidad de 110 mil pl ha⁻¹ resultó ser una densidad supraóptima para el ambiente evaluado. Utilizar esta densidad sólo sería justificable en ambientes sin limitaciones ni restricciones de agua y nutrientes. Se debe sumar el aumento de costos por incremento en la cantidad de semilla y fertilizantes requeridos para un óptimo desarrollo del cultivo. Comparándolo con la densidad óptima señalada por este trabajo (90.000 pl ha⁻¹) donde encontramos maximizar la DIVPC y el RMSPC, sería deseable realizar un cálculo del costo del incremento del forraje logrado y el posterior beneficio en transformarlo en carne o leche.

En cuanto a nuestra segunda hipótesis, cuando analizamos las densidades se evidenció una relación positiva del Índice de Espiga con la digestibilidad aunque no fue estadísticamente significativa. En cuanto a los materiales evaluados, el H470 fue el que obtuvo el máximo valor de IE pero no se diferenciaron significativamente los valores de DIVPC con los H18 y H48. Por lo que tampoco se acepta esta hipótesis. Por último, no se detectaron diferencias en cuanto a la calidad de la materia seca digestible generada por los distintos tipos de híbridos con distintas características anunciadas por la

empresa obtentora. Utilizar híbridos con denominación de aptitud forrajera y alto grado de Stay green no evidenció diferencias en términos de digestibilidad al compararlos con un material netamente granífero, lo que marca el largo camino que aún hay que transitar en el mejoramiento genético para la obtención de materiales para silaje. Por lo que tampoco se acepta la tercera hipótesis. Las diferencias de calidad detectadas en la fracción de T+H exponen un nicho poco explorado por las empresas para seguir mejorando los nuevos materiales a lanzar en el mercado.

Investigaciones Futuras

A partir de los resultados que se han obtenido en el presente trabajo, se podrían analizar las variables en diferentes condiciones, en las cuales no se presenten estas características ambientales particulares.

Como afectaría la disminución de las precipitaciones y/o distintos tratamientos de fertilizaciones.

No obstante, los resultados obtenidos reflejan conclusiones opuestas a las citadas en la bibliografía, esta información sumada a la generada en este trabajo final de grado podría ser de gran utilidad en programas de mejoramiento cuyos objetivos sean el desarrollo de genotipos con mayor aptitud forrajera. A su vez, se podrían desarrollar líneas de investigación que relacionadas con distintos criterios de selección de híbridos con rasgos BMR y distintos grados de Stay green evaluados a distintas densidades de siembra.

Diferentes prácticas culturales como, fechas de siembra, altura de corte, momentos de corte, fertilizaciones, riego y tamaño de picado, generan un gran abanico de posibilidades a la hora de valorar el silaje de maíz en distintas densidades de siembra. Sería de sumo interés avanzar con líneas de investigación que pudieran relacionar estas prácticas con la aptitud biológica del silaje (kg de carne y/o lt de leche) de una manera más concreta lo que conllevaría a una visión más integral e interdisciplinaria con nutricionistas y veterinarios y así poder generar una cadena agroalimentaria más eficiente.

Bibliografía

- Agnusdei M.G., Colabelli M.R., Fernández Grecco R.C. 2001. Crecimiento estacional de forraje de pasturas y pastizales naturales para el sudeste bonaerense. Boletín Técnico Nº 152 ISSN 0522-0548.
- Andrade F.H. 1992. Radiación y temperatura determinan los rendimientos máximos de maíz. Balcarce. Estación Experimental Agropecuaria. Informe Técnico Nº 106. 16 p.
- Andrade, F. H, Margiotta F., Martinez R., Heiland P., Uhart S.A, Cirilo A y Frugone M. 1992. Densidad de plantas en maíz. Boletín técnico Nro. 108. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (INTA). Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Andrade F.H., A.G. Cirilo, S.A. Uhart y M.E. Otegui. 1996. Ecofisiología del Cultivo de Maíz. Editorial La Barrosa-EEA Balcarce, CERBAS, INTA-FCA, UNMP (Eds.). Dekalb Press. Buenos Aires. 292 pp.
- Andrade F.H., S.A. Uhart y M. Frugone. 1993. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: shade versus plant density effects. Crop Sci. 33:482-485.
- Andrade F. H., P. Calviño, A. Cirilo y P. Barbieri. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. Agronomy Journal, 94:975-980.
- Argillier O., Barrière Y. 1996. Genotypic variation and composition traits of Forage maize and their changes during the growing season. Maydica 41:279-285.
- Argillier O., Barrière Y., Lila M., Jeanneteau F., Gelinet K., Menanteau V. 1996. Genotypic variation in phenolic components of cell-walls in relation to the digestibility of maize stalks. Agronomie 16:123-130.
- Ball, D. M., M. Collins, G. D. Lacefield, N. P. Martin, D. A. Mertens, K. E. Olson, D. H. Putnam, D. J. Undersander, and M. W. Wolf. 2001. Understanding forage quality. American Farm Bureau Federation Publication 1-01, Park Ridge, Il. 17 p.
- Barrière, Y., D. Alber, O. Dolstra, C. Lapierre, M. Motto, et al. 2005. Past and prospects of forage maize breeding in Europe. I. The grass cell wall as a basis of genetic variation and future improvements in feeding value. Maydica 50(3-4): 259-274.
- Barriere, Y. y Argillier, O. 1993. Brown mid-rib genes of maize: a review. Agronomie 13, 865-876.
- Bertoia, L.M. ; M.S. Borlandelli y R. Burak. 1994. Densidad de siembra de maíz (Zea mays. L.) 1. Efecto sobre la producción de materia seca. Rev. Arg. Prod. Anim. 14:62-63.

- Bertoia, L. M. 2000. Evaluación de la aptitud forrajera de probadores graníferos mediante compuestos de maíz (*Zea mays* L.) con distintos niveles de selección. Facultad de Ciencias Agrarias. UNLZ. Tesis de Magister Scientiae. Área Producción Vegetal. UBA.
- Bertoia, L.M. y A. Peper. 2001. Respuesta forrajera de híbridos de maíz a factores ambientales y de manejo. Actas del VII Congreso Nacional de Maíz. Pergamino, 7-9 de Noviembre de 2001.
- Bertoia L.M. 2012. Análisis de la interacción genotipo ambiente de la aptitud forrajera del maíz. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.
- Bertoia L.M. 2016. Guía Limagrain de silajes de maíz. Edición 2015-2016. 38 pp.
- Bertoia L.M. KWS Argentina. 6/11/202. Celebredding - Bloque Potencial - KWS Argentina.
Url: <https://www.youtube.com/watch?v=HavdosYIYHo&t=1346s>
- Boomsma, C. R., J. B. Santini, M. Tollenaar, and T. J. Vyn. 2009. Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: An analysis and review. *Agron. J.* 101:1426–1452.
- Bosch, L.; A., Ferret; F., Casañas; A.M., Verdú & F. Nuez. 1989. Comparison of stay green and non-stay green maize hybrids for forage use A: XII Eucarpia congress, 27 feb-4 march 1989. Germany. pp. 5-17.
- Bosch, L.; A.M., Verdú; A., Ferret; Casañas, F.; J. Plaixats; E. Albanell & F. Nuez. 1990. Delayed leaf senescence (stay green) and digestibility in maize. XVth Congress Maize and Sorghum. Baden, Austria. June 1990 pp.299-304.
- Bragachinini M., Sánchez F., Urrets Zavalía G., Giordano J., Peiretti J. 2015. Tecnología de picado para ensilado de cultivo de maíz. Modulo INTA Tecnoforrajes.
- Bruno O.; Romero L. Efecto del contenido de espiga sobre la calidad de silaje de maíz . 2003. EEA INTA Rafaela.
- CACF 2019. Cámara Argentina de Contratistas Forrajeros, www.ensiladores.com.ar.
- Camarasa J. N., Barletta P. F., Larrosa F. 2019. Rendimiento de forraje y calidad nutricional con densidades bajas en maíz para ensilaje. INTA EEA Pergamino.
- Carrete, j.r.; Scheneiter, j. o.; Rimieri, p. y Devito, c. 1997. Maíz para silaje: Efecto del momento de cosecha sobre la producción y el valor nutritivo del forraje. INTA EEA Pergamino, Revista de Tecnología Agropecuaria. II (6): 2- 5.
- Carrete J.R. y Scheneiter O. Maíz para silaje. Capítulo 10. En: Eyherabide G.H (compilador y editor) 2012. Bases para el Manejo del Cultivo de Maíz. 1a ed. Ediciones INTA. 987-679-1471-0.

- Cone J.W., Engels F.M., 1990. Influence of growth temperature on anatomy and in vitro digestibility of maize tissues. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 114, 207–212.
- Coors, J.G., K.A. Albrecht, and E.J. Bures. 1997. Ear-fill effects on yield and quality of silage corn. *Crop Sci.* 37:243–247.
- Coors, J.G., P.R. Carter, and R.B. Hunter. 1994. Silage corn. In A.R.
- Cox, W. J., Cherney, D. R., Hanchar, J., 1998. Row Spacing, Hybrid, and Plant Density Effects on Corn Silage Yield and Quality. *Journal of production agriculture.* 11(1): 128-134.
- Cozzolino, D. y A. Fassio. 1996. Silaje de maíz. *Forrajes Journal.* 1:52-55.
- Cusicanqui, J.A y Lauer, J.G. 1999. Plan density and hybrid influence on corn forage yield and quality. En: *Agronomy Journal.* 91: 911-915.
- Dalla Valle D.; Viviani Rossi E.; Van Olphen P.; Gutierrez L.; Ferrero J.; Andrade F. y Santini F. 1999. Maíz para silaje. *Agromercado, Cuadernillo Maíz:* 12-16.
- Deinum, B; Struik, P.C. 1986. Improving the nutritive value of forage maize. Breeding of silage maize. In *Congress of the maize and sorghum section of EUCARPIA (13.,1985, Wageningen)*
- Deinum, B; Bakker, J.J. 1981. Genetic differences in digestibility of forage maize hybrids. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 29: 93-98.
- De Leon, M. 2004. Utilización de silajes en producción de carne bovina. Informe Técnico No. 5 Proyecto Ganadero Regional – EEA Manfredi
- Díaz, M.G. y Di Nucci de Bedendo. 2001. Efecto de la densidad y del cultivar sobre el comportamiento productivo de maíz para silaje en siembras tardías. *Actas del VII Congreso Nacional de Maíz. Pergamino, 7-9 de Noviembre de 2001.*
- Diez, M; Sardiña, M.C; Miranda, W. 2014. Respuesta a la densidad y fertilización nitrogenada de un maíz tardío para silo en el noroeste de Buenos Aires. En: *X Congreso Nacional de Maíz. Rosario. En resumen: área suelo y fertilidad, pág 102.*
- Di Marco O.N., Aello M.S., Nomdedeu M., Van Houtte S. 2000. Effect of maize crop maturity on silage chemical composition and digestibility (in vivo, in situ and in vitro). *Animal Feed Science and Technology* 99:37–43.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

- Dunn, J.B., Mueller, S., Kwon, H.-y. *et al.*, 2013. Land-use change and greenhouse gas emissions from corn and cellulosic ethanol. *Biotechnology for Biofuels* 6, 51.
- Duvick, D.N., 2005a. The Contribution of Breeding to Yield Advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 83-145.
- Duvick, D.N. 2005. Genetic progress in yield of United States maize (*Zea mays* L.). *Maydica* 50(3-4): 193-202.
- Edgerton, M.D., 2009. Increasing Crop Productivity to Meet Global Needs for Feed, Food, and Fuel. *Plant Physiology*, 7-13.
- FAO. 2009. Global agriculture towards 2050. In: *FAO High-Level Expert Forum: How to Feed the World 2050*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO. 2019. Situación Alimentaria Mundial. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>.
- Fairey, N. A. 1980. Hybrid maturity and the relative importance of grain and stover for the assessment of the forage potential of maize genotypes grown in marginal and non- marginal environments. *Canadian Journal Plant Science*. 63:157-168.
- Ferreira, G; Alfonso, M; Depino, S; Alessandri, A. 2014. Effect of planting density on nutritional quality of green-chopped corn for silage. *J. Dairy Science*. 97: 1-4.
- Ferreira, G y Teets, C. 2017. Effect of planting density on yield, nutritional quality, and ruminal in vitro digestibility of corn for silage grown under on-farm conditions. En: *The professional Animal Scientist* 33: 420-425.
- Garcia Stepien, L. E. 2012. distribución vertical del rendimiento y la calidad forrajera en el componente vegetativo de la planta de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de magister scientiae en ciencias agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales UNLP.
- Giebrech, J., 1969. Effect of population and row spacing on the performance of four corn (*Zea mays* 1L.) hybrids. *Agronomy Journal* 61, 439-441.
- Gravellier, P. 1986. L' ensilage technique pour produire mieux. *Maiscope*. Decembre. No.19, pp.19-27.
- Hashemi, A.M., Helbert, S.J., Putnam, D.H., 2005. Yield response of corn to crowding stress. *Agronomy Journal* 97, 839–846.

- Herbert, S.; M. Hashemi; and S. Weis 2010. Planting Date and Hybrid Influence on Corn Silage Yield and Quality. Dept. of Plant, Soil and Insect Sciences, University of Massachusetts, Amherst, MA, 01003, USA.
- Hunter, R.B. 1986. Selecting hybrids for silage maize production: a Canadian experience. In Congress of the maize and sorghum section of EUCARPIA (13.,1985, Wageningen)
- Instituto de Promoción de la Carne Vacuna. 2009. Ensilado Cría Bovina. publicación N°13: Ganadería y Compromiso. IPCVA.
- Jorgensen, N.A.; Crowley, J.W. 1988. Ensilaje de maíz para el ganado: producción, cosecha, almacenamiento y utilización en raciones de establecimientos lecheros. Montevideo, Hemisferio Sur. 51 p.
- Kebrom, T.H., Brutnell, T.P., 2007. The molecular analysis of the shade avoidance syndrome in the grasses has begun. Journal of Experimental Botany 58, 3079- 3089.
- Lashkari, M., Madani, H., Ardakani, M.R. et al., 2011. Effect of Plant Density on Yield and Yield Components of Different Corn (*Zea mays* L.) Hybrids. American- Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 10, 450-457.
- Lus, J. 2014. Maiz BMR, silaje de alta calidad que no depende solo del grano. Año 10, N°24.
- Machinandiarena,L ; Camarasa,J ; Barletta,P ; Scheneiter, J. 2013. Effect of plant density on yield and forage quality of corn for silage. En: Proceedings of the 22nd International Grasslands Congress 2013.
- Moll, R.H. y E.J. Kamprath. 1977. Effects of population density upon agronomie traits associated with genetic increses in yield of *Zea mays* L. Agron. J. 69;81 - 84.
- Pinter, L. 1986. Ideal type of forage maize hybrid (*Zea mays* L.). In Congress of the maize and sorghum section of EUCARPIA (13.,1985, Wageningen) Proceedings. Ed. by. O. Dolstra ; P. Miedema. Wageningen, Pudoc. p. 123-130.
- Ramirez-Cabral, N.Y.Z., L. Kumar, y F. Shabani. 2017. Global alterations in areas of suitability for maize production from climate change and using a mechanistic species distribution model (CLIMEX). Sci. Rep. 7(1): 1-13. doi: 10.1038/s41598-017-05804-0.
- Romero L. A. 2004. Calidad en forrajes conservados, La Nación, INTA, CACF, CREA, Claas y otros, 31-33. E.E.A. INTA Rafaela.

- Romero L. A., Aronna S. 2004. Siembra de maíz para silaje. Proyecto Regional de Lechería. Campaña de Forrajes Conservados 2003-2004. INTA Rafaela
- Ritchie J.T. y Hanway J.J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Ames, Iowa. Special Report N°48.
- Sangoi, L., Gracietti, M.A., Rampazzo, C. et al., 2002. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. *Field Crops Research* 79, 39-51.
- Santini, F. 2003. "¿Sistema pastoril o Feedlot?" EEA INTA Balcarce
- Satorre E.M, Benech Arnold R.L, Slafer G.A, De La Fuente E., Miralles D.J, Otegui M.E y Savin R. 2003. Producción de Granos Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. ISBN 950-29-0713-2.
- Shenk, J.S., Westerhaus, M.O. 1996. Calibration the ISI way. In *Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves*. (P.C. Davies, A.M.C. and Williams, editor). Chichester, UK.
- Stanton, D., Grombacher, A., Pinnisch, R., Mason, H., Spaner, D., 2007. Hybrid and Population Density Affect Yield and Quality of Silage Maize in Central Alberta. *Canadian journal of plant science*. 87(4): 867-871
- Snyman, Leendert y Joubert, Henda. (1996). Effect of maturity stage and method of preservation on the yield and quality of forage sorghum. *Animal Feed Science and Technology*. 57. 63 - 73.
- Struik, P.C. 1983a. Physiology of forage maize (*Zea Mays* L.) in relation to its production and quality. Doctoral thesis. Wageningen, Agricultural University. 252 p.
- Struik, P.C.; Deinum, B.; Hoefsloot, J.M.P. 1985. Effects of temperature during different stages of development on growth and digestibility of forage maize (*Zea Mays* L.). *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 33: 405-420.
- Scheneiter, J.; J. Carrete; P. Rimieri y C. Devito. 1997. Maíz para silaje: efecto de la densidad de siembra sobre la producción y el valor nutritivo del forraje. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. Pergamino, pp.23-26.
- Scheneiter, O y Carrete, J.R. 2004. Aspectos agronómicos de maíz para silaje. *Revista IDIA XXI. Cereales*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, pp 134-140.
- Thomas, H. & C. Howarth. 2000. Five ways to Stay green. *Journal of Experimental Botany* 51: 329-337.
- Vega, C.R. y F.H. Andrade. 2000. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. Capítulo 4. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Andrade, F.H. y V.O. Sadrás. Ed. Médica Panamerica.

- Vega C.R.C., F.H. Andrade, y V.O. Sadras. 2001. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. *Field Crops Research* 72:163-175.
- Ventimiglia L. 2020. Maíz: Densidad por espaciamiento, campaña 2019/2020. Nueve de Julio. INTA AER 9 de Julio.
- Weaver, D.E., C.E. Coppock, G.B. Lake, and R.W. Everett. 1978. Effect of maturation on composition and in vitro dry matter digestibility of corn plant parts. *J. Dairy Sci.* 61:1782–1788.
- Westgate, M.E., Forcella, F., Reicosky, D.C., Somsen, J., 1997. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: Radiation use efficiency and grain yield. *Field Crops Research* 49, 249-258.
- Widdicombe, W. D., Thelen, K. D., 2002. Row Width and Plant Density Effect on Corn Forage Hybrids. *Agronomy Journal*. 94: 326-330.
- Williams, W.A., Loomis, R.S., Duncan, W.G., Dovrat, A., Nunez, A.F., 1968. Canopy architecture at various population densities and the growth and grain yield of corn. *Crop Science* 8, 303-308.
- Wilkinson, J.M.; Newman, G.; Allen, D.M. 1998. Maize. producing and feeding maize silage. Lincoln, Chalcombe Publications. 73 p.
- White, R.P. 1976. Effects of plant population on forage corn yield and maturity on Prince Edward Island. *Can. J.Plant Sei.* 56:71 - 77.
- Zimmer, E. & M., Wermke. 1986. Improving the nutritive value of maize. Breeding of silage maize: proceedings of the 13th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA, Wageningen, Netherlands, 9 - 12 September 1985. pp. 31-100.

Datos Anexos

Tabla 4: ANOVA para rendimiento de ESP.

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOQUE	2	1.736E+07	8678983		
DENSIDAD	3	1.348E+08	4.492E+07	51.81	0.0000
HIBRIDO	2	6791237	3395619	3.92	0.0351
DENSIDAD*Hi	6	4556277	759379	0.88	0.5284
Error	22	1.907E+07	867020		
Total	35	1.825E+08			
Grand Mean	11235	CV 8.29			

Tabla 5: Test de comparación de medias de rendimiento de ESP a través de las densidades evaluadas.

DENSIDAD	Mean	Homogeneous	Groups
3	13355	A	
4	12444	B	
2	10890	C	
1	8252	D	

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 438.94
Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 910.31
Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF
All 4 means are significantly different from one another.

Tabla 6: Test de comparación de medias de rendimiento de ESP a través de los híbridos evaluados.

HIBRIDO	Mean	Homogeneous	Groups
18	11824	A	
470	11094	AB	
48	10789	B	

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 380.14

Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 788.35
 Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF
 There are 2 groups (A and B) in which the means
 are not significantly different from one another.

Tabla 7: ANOVA para Rendimiento de T+H.

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOQUE	2	3.491E+07	1.746E+07		
DENSIDAD	3	5.135E+07	1.712E+07	17.25	0.0000
HIBRIDO	2	1.786E+07	8931110	9.00	0.0014
DENSIDAD*Hib	6	3211168	535195	0.54	0.7726
Error	22	2.183E+07	992406		
Total	35	1.291E+08			
Grand Mean	9165.9	CV 10.87			

Tabla 8: Test de comparación de medias de rendimiento de T+H a través de las densidades evaluadas.

DENSIDAD	Mean	Homogeneous	Groups
3	10113	A	
4	10109	A	
2	9253	A	
1	7188	B	

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 469.61
 Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 973.91
 Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF
 There are 2 groups (A and B) in which the means
 are not significantly different from one another.

Tabla 9: Test de comparación de medias de rendimiento de T+H a través de los híbridos evaluados.

HIBRIDO	Mean	Homogeneous	Groups
18	10012	A	
48	9198	A	
470	8288	B	

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 406.70
 Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 843.43

Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

Tabla 10: ANOVA para Rendimiento de PC.

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOQUE	2	9.678E+07	4.839E+07		
DENSIDAD	3	3.485E+08	1.161E+08	47.98	0.0000
HIBRIDO	2	3.925E+07	1.963E+07	8.11	0.0023
DENSIDAD*HIB	6	1.045E+07	1741700	0.72	0.6382
Error	22	5.326E+07	2420806		
Total	35	5.482E+08			
Grand Mean	20402	CV	7.63		

Tabla 11: Test de comparación de medias de rendimiento de PC a través de las densidades evaluadas.

DENSIDAD	Mean	Homogeneous	Groups
3	23468	A	
4	22554	A	
2	20143	B	
1	15441	C	

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 733.46
Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 1521.1
Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

Tabla 12: Test de comparación de medias de rendimiento de PC a través de los híbridos evaluados.

HIBRIDO	Mean	Homogeneous	Groups
18	21836	A	
48	19987	B	
470	19381	B	

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 635.19
Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 1317.3
Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

Tabla 13: ANOVA para DIVMS de ESP.

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOQUE	2	1.5556	0.77778		
DENSIDAD	3	15.2222	5.07407	2.24	0.1117
HIBRIDO	2	6.2222	3.11111	1.37	0.2737
DENSIDAD*HIB	6	17.1111	2.85185	1.26	0.3153
Error	22	49.7778	2.26263		
Total	35	89.8889			
Grand Mean	82.944	CV 1.81			

Tabla 14: Test de Comparación de medias de DIVMS de ESP a través de las densidades evaluadas.

DENSIDAD	Mean	Homogeneous Groups
4	83.778	A
3	83.333	AB
2	82.556	AB
1	82.111	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.7091
Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 1.4706
Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

Tabla 15: Test de Comparación de medias de DIVMS de ESP a través de los híbridos evaluados.

HIBRIDO	Mean	Homogeneous Groups
470	83.500	A
48	82.833	A
18	82.500	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.6141
Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 1.2735
Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

Tabla 16: ANOVA para DIVMS de T+H.

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOQUE	2	18.722	9.3611		
DENSIDAD	3	28.306	9.4352	4.16	0.0178
HIBRIDO	2	29.556	14.7778	6.51	0.0060
DENSIDAD*HIBRIDO	6	42.444	7.0741	3.12	0.0230
Error	22	49.944	2.2702		
Total	35	168.972			
Grand Mean	54.028	CV	2.79		

Tabla 17: Test de Comparación de medias de DIVMS de T+H a través de las densidades evaluadas.

DENSIDAD	Mean	Homogeneous Groups
1	55.000	A
2	54.778	AB
3	53.444	BC
4	52.889	C

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.7103
Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 1.4730
Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

Tabla 18: Test de Comparación de medias de DIVMS de T+Ha través de los híbridos evaluados.

HIBRIDO	Mean	Homogeneous Groups
48	54.750	A
18	54.583	A
470	52.750	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.6151
Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 1.2757
Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF

There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

Tabla 19: ANOVA para DIVMS de la PC.

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOQUE	2	15.1667	7.58333		
DENSIDAD	3	4.2222	1.40741	0.98	0.4189
HIBRIDO	2	2.6667	1.33333	0.93	0.4091
DENSIDAD*HIB	6	4.4444	0.74074	0.52	0.7888
Error	22	31.5000	1.43182		
Total	35	58.0000			
Grand Mean	70.000	CV	1.71		

Tabla 20: Test de Comparación de medias de DIVMS de PC a través de las densidades evaluadas.

DENSIDAD	Mean	Homogeneous Groups
3	70.556	A
2	70.000	A
4	69.778	A
1	69.667	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.5641
Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 1.1698
Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

Tabla 21: Test de comparación de medias de DIVMS de PC a través de los híbridos evaluados.

HIBRIDO	Mean	Homogeneous Groups
470	70.333	A
48	70.000	A
18	69.667	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.4885
Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 1.0131
Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

Tabla 22: ANOVA para el IE.

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOQUE	2	63.722	31.8611	3.13	0.0634
DENSIDAD	3	69.556	23.1852	2.28	0.1074
HIBRIDO	2	74.056	37.0278	3.64	0.0430
DENSIDAD*HIBR	6	15.944	2.6574	0.26	0.9490
Error	22	223.611	10.1641		
Total	35	446.889			
Grand Mean	54.556	CV	5.84		

Tabla 23: Test de Comparación de medias del IE a través de las densidades evaluadas.

DENSIDAD	Mean	Homogeneous Groups
90	56.667	A
110	54.778	AB
70	53.889	AB
50	52.889	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 1.5029
Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 3.1168
Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

Tabla 24: Test de Comparación de medias del IE a través de los híbridos evaluados.

HIBRIDO	Mean	Homogeneous Groups
470	56.583	A
48	53.583	B
18	53.500	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 1.3015
Critical T Value 2.074 Critical Value for Comparison 2.6992
Error term used: BLOQUE*DENSIDAD*HIBRIDO, 22 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means

are not significantly different from one another.