“PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE MAÍZ (ZEA MAYS L.) PARA ENSILAJE BAJO DIFERENTES MANEJOS DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN NITRO-AZUFRADA EN LA ZONA DE PERGAMINO”

Trabajo Final de Grado
del alumno

FRANCO CARLOS BECCACECE

Este trabajo ha sido presentado como requisito
para la obtención del título de

Ingeniero Agrónomo

Carrera

Ingeniería Agronómica

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

Pergamino,……

“PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE MAÍZ (ZEA MAYS L.) PARA ENSILAJE BAJO DIFERENTES MANEJOS DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN NITRO-AZUFRADA EN LA ZONA DE PERGAMINO”

Trabajo Final de Grado

del alumno

FRANCO CARLOS BECCACECE

Aprobada por el Tribunal Evaluador

(Nombre y Apellido) **Evaluador**	(Nombre y Apellido) **Evaluador**	(Nombre y Apellido) **Evaluador**

Jonatan N. Camarasa	Jorge Omar Scheneiter
(Nombre y Apellido) **Director**	(Nombre y Apellido) **Co-Director**

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires

Pergamino,…….

Agradecimientos

A mis padres Rosana y Carlos, y a mi hermana Valentina por demostrarme día a día el camino correcto a seguir, y enseñarme que con el amor de la familia se puede superar todo tipo de obstáculo por más sinuoso e irremediable que parezca.

A mi compañera de vida Gisela, con quien dibujamos nuestros días logrando que éstos sean compartidos de la manera más dulce que se pueda imaginar, y fruto de ello, nuestra hija Emilia, que nos demuestra lo hermosa y sorprendente que es la vida.

A Lidia y Horacio, quienes con mucho amor me acunaban de niño, logrando que al crecer, una parte de mi corazón se haya quedado con ellos. Es allí donde encontré la importancia del estudio, la buena música y la buena comida.

A mi abuelo Luis, por enseñarme el placer de ensuciarme las manos con tierra al sembrar una semilla y luego ver crecer la planta día a día, uno de los acontecimientos fundamentales que forjaron mi destino hacia la agronomía. Donde estés abu, GRACIAS!.

A todos mis compañeros y amigos de la universidad que hicieron llevadero y agradable cada día de estudio.

A todos los profesores de cada una de las cátedras que dedicaron su tiempo para transmitir su conocimiento.

A mi profesor y director Jonatan, quien estuvo a la par en cada paso de este trabajo, haciendo que sea posible la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

A la participación de todo el equipo de INTA Pergamino, especialmente a Pablo, Ezequiel, Mariano, Omar B., Omar S., quienes en conjunto hicieron posible llevar adelante la investigación.

A todos los directivos de la UNNOBA, que permitieron mi ingreso a la universidad, y con ello la posibilidad de llegar a formar una hermosa profesión.

A TODOS USTEDES, MUCHAS GRACIAS!

Índice de general

1. Resumen……..1
1.1.Palabras Claves…..……2
2. Introducción……...……...3
2.1. Importancia del ensilaje de maíz en Argentina...……..……3
2.2. Cultivo de maíz……..……3
2.3. Agua y nutrientes en el cultivo de maíz para ensilaje.……..……...5
2.3.1.Efecto del riego en el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz para ensilaje……6
2.3.2.Nutrición en el cultivo de maíz para ensilaje….……....7
2.3.2.1.El nitrógeno en el cultivo de maíz para ensilaje.……..……8
2.3.2.2.El azufre en el cultivo de maíz..……...……10
2.4. Eficiencia del uso de la radiación en el cultivo de maíz...……..…10
2.5. Eficiencia del uso del agua en el cultivo de maíz...……..……..11
2.6. Hipótesis……..…..12
2.7.Objetivo general...……12
2.8.Objetivos específicos...……...12
3. Materiales y métodos...……..……13
Variables analizadas…….. 19
3.1. Variables de producción…..……..19
3.1.1. Altura de plantas...……..……...19
3.1.2. Densidad de plantas a cosecha..……19
3.1.3. Producción de materia verde por hectárea..……..19
3.1.4. Contenido de materia seca (% MS)….……..19
3.1.5. Producción de materia seca por hectárea.……20
3.1.6. Peso y contenido de hoja, espiga y tallo, respecto de la planta entera……...20
3.1.7. Producción de granos por hectárea……20
3.2. Variables de calidad...……...……...20
3.2.1. Fibra Detergente Neutro (FDN)...……20

3.2.2. Digestibilidad aparente *in vitro* de la materia seca (%DIVMS) y digestibilidad de la fibra detergente neutro (%DFDN) 20
3.2.3. Producción de materia seca digestible por hectárea.....21
3.2.4. Almidón...……..……....21
3.3. Variables de eficiencia de uso de los recursos..……..……..21
3.3.1. Eficiencia del uso del agua (EUA)……..21
3.3.2. Eficiencia del uso de la radiación (EUR)...……..…...21
Diseño y Análisis estadístico..…….....22
4. Resultados…….23
4.1. Variables de producción.……..…….23
4.2. Variables de calidad forrajera..……... 26
4.3. Eficiencia en el uso del agua...…….…… 28
4.4. Eficiencia en el uso de la radiación.…….…….31
5. Discusión..…….33
5.1. Efecto de la fertilización..……. 33
5.1.2. Efecto de la fertilización sobre las variables de producción……. 33
5.1.3. Efecto de la fertilización sobre las variables de calidad…… 33
5.1.4. La fertilización y la eficiencia en el uso del agua.…… 34
5.1.5. La fertilización y la eficiencia en el uso de la radiación..…….34
5.2. Efecto del riego..…….....35
5.2.1. Efecto del riego sobre las variables de producción.……35
5.2.2. Efecto del riego sobre las variables de calidad..……...36
5.2.3. El riego y la eficiencia en el uso del agua.……37
5.2.4. El riego y la eficiencia en el uso de la radiación..……38
6. Conclusiones...……...…….……39
7. Bibliografía...……..40
8. Anexo..……48

Índice de cuadros

Cuadro 1. Resultados de análisis de suelo tomados antes de la siembra (0-20 cm) ……...13
Cuadro 2. Registros de lluvias (mm) y riego (mm) aplicados a lo largo del ciclo del cultivo de maíz ……14
Cuadro 3. Precipitaciones (mm) durante el período experimental, media histórica y diferencia entre ellos ...……..15
Cuadro 4. Características del híbrido Forratec DUO 575 PW utilizado para el ensayo.....……...16
Cuadro 5. Altura (cm) y densidad de plantas (Pl/ha) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico.……..…….23
Cuadro 6. Producción de materia verde (kg MV/ha), contenido de MS (%), producción de materia seca (kg MS/ha) y producción de granos (kg/ha) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico..…..…….24
Cuadro 7. Peso seco (g) por planta de planta entera, del tallo, de hojas y de espiga de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico..……25
Cuadro 8. Porcentaje de hoja, tallo y espiga por planta de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico...……..……..26
Cuadro 9. Contenido de FDN y digestibilidad de la FDN (DFDN, % FDN) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico...…….....27
Cuadro 10. Producción de materia seca digestible (MSD, kg/ha) y digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS, %) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico..……...27
Cuadro 11. Contenido de almidón (%) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico……..28
Cuadro 12. Eficiencia del uso del agua (EUA, kg MS/ha/mm) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico..……..28
Cuadro 13. Eficiencia en el uso de la radiación (EUR, g/m2/MJ) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico…….....32

Índice de gráficos

Gráfico 1. Salida gráfica del modelo BAHICU. Balance de agua en el suelo con y sin riego…….18
Gráfico 2. Eficiencia en el uso del agua y producción de materia seca en los tratamientos de fertilización T0, T1 y T2……..29
Gráfico 3. Eficiencia en el uso del agua y producción de materia seca de los tratamientos en secano y con riego.…….29
Gráfico 4. Evolución de la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (f RFA) por canopeos de maíz en los 3 tratamientos de fertilización T0, T1 y T2……...30
Gráfico 5. Evolución de la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (f RFA) por canopeos de maíz en las parcelas C/R y S/R……..31

1. Resumen

En Argentina, el maíz es el cultivo más utilizado para confección de ensilaje por su elevado potencial de producción de forraje y de adecuada calidad, en un lapso de tiempo relativamente breve. En la campaña 2016/17 se planteó el objetivo de medir los efectos que tienen el riego complementario y distintos niveles de fertilización sobre la respuesta productiva y la calidad nutricional de maíz para ensilaje. Para ello se sembró un híbrido de aptitud silera, donde el ensayo se dividió en 2 parcelas principales, una para el tratamiento con riego y otra para el tratamiento en secano, y a su vez, a cada una de estas se las dividió en cuatro bloques dentro de los cuales, se aplicaron tres niveles de fertilización: un testigo T0: sin aplicación de nitrógeno (N0), T1: 50 kg/ha de nitrógeno y T2: 330 kg/ha de nitrógeno + 60 kg/ha de azufre. Se analizaron variables: 1- Producción: contenido de materia seca, producción de materia verde y seca (PMV y PMS), contenido de espiga, tallo y hoja; y rendimiento en grano. 2- Eficiencia: del uso del agua (EUA) y la radiación (EUR). 3- Calidad del forraje de maíz picado: fibra detergente neutro (FDN), digestibilidad aparente in vitro de la MS, digestibilidad de la FDN, almidón y producción de MS digestible (PMSD). Se realizó un experimento factorial con arreglo en parcelas divididas, que tuvo como parcela principal el Nivel Hídrico (riego y secano), y como parcela secundaria los tratamientos de Fertilización (T0, T1 y T2). No se encontró interacción entre el Nivel Hídrico*Fertilización en ninguna de las variables analizadas. La PMS con el uso del riego fue un 18% superior al secano. Además, tuvo un mayor peso del tallo y una tendencia a mayor peso de las hojas, en cambio, la producción en granos no fue afectada. En términos de calidad, el riego produjo aumentos en el porcentaje de FDN. A pesar de ello, se incrementó la PMSD en un 20% respecto del tratamiento en secano. El riego no afectó la EUA, pero sí tuvo una mayor EUR a diferencia del tratamiento en secano. El T2 aumentó la PMS en un 66% por encima de los T0 y T1, los cuales no se diferenciaron entre sí. Además, incrementó la participación de la espiga y el rendimiento en grano un 106% mayor. En la calidad forrajera el T2 no modificó la FDN, DFDN y la DIVMS, pero sí produjo un 63% y 19% más de PMSD y almidón, respectivamente, por encima de los tratamientos T0 y T1. La EUA y la EUR, también fue significativamente mayor en un

66% y 72% en T2 en comparación con T0 y T1. Se concluye que el uso y manejo de la fertilización nitro-azufrada y del riego complementario en la zona de Pergamino, aumento la producción de forraje y la calidad del ensilaje de maíz, a la vez que se optimizó el uso de los recursos, agua y radiación.

1.1. Palabras Claves: Digestibilidad de la materia seca, fibra detergente neutro, producción de materia seca, eficiencia del uso de la radiación, eficiencia del uso del agua.

2. Introducción

2.1 Importancia del ensilaje de maíz en Argentina.

En los últimos años, los sistemas ganaderos de carne y leche en Argentina han evolucionado con diferentes tecnologías para lograr rentabilidades competitivas con otras actividades agropecuarias y, a la par, ser sustentables en la producción. En este sentido, el ensilaje de maíz es una de las tecnologías que impacta positivamente en la producción de carne y leche debido a sus altos valores de producción y calidad, incrementando su participación en la planificación forrajera de los establecimientos ganaderos. Conforme a ello, se produjo una evolución positiva de la superficie destinada a este forraje conservado, incrementando su participación en las dietas de los animales de un 15 a un 40 %, a la vez que extendió su tiempo de uso de 6 meses a todo el año (Cattani *et al.,* 2016).

Durante la campaña 15/16 en Argentina, se sembraron 3.850.000 de ha con cultivo de maíz a nivel nacional (BCR, 2020), de las cuales, se registraron 1.009.692 ha de maíz destinadas a ensilaje (CACF, 2020), que demuestra una significativa participación del 26% de la superficie sembrada para dicho destino.

2.2 Cultivo de maíz.

El cultivo de maíz, a diferencia de otros cultivos, posee una alta capacidad de producción de biomasa (Andrade, 1995). Esto se debe, entre otros factores, a una elevada tasa fotosintética, un bajo valor energético de la materia seca producida, adecuada estructura de cultivo y a su sistema fotosintético (C4) que es más eficiente que el de los cereales de invierno (C3) para convertir radiación en biomasa (Andrade *et al.,* 1993). Además, la producción de forraje resulta en un plazo relativamente breve (entre 118 y 138 días desde siembra hasta cosecha), con una adecuada calidad por unidad de superficie como se ha demostrado en ensayos de rendimiento de materia seca de maíz realizados en INTA Pergamino, que obtuvieron 17,2 ± 2,7 t MS/ha en secano (Scheneiter, 2010), a diferencia de una pastura polifítica que en el término de un año produce 15,9 ± 1,2 t MS/ha (Bertín y Scheneiter, 1998).

La calidad del ensilaje de maíz se puede definir en términos de cuánto sustrato degradable en el rumen aportan sus componentes (espigas, hojas, tallos y chala). La espiga contiene el grano y aporta almidón, el cual se aprovecha casi en su totalidad en el rumen de los animales, mientras que el del resto de la planta puede asimilarse a un forraje de mediana a baja calidad (Di Marco y Aello, 2007). Ambos componentes son antagónicos con la madurez de la planta, debido que a medida que se acumula almidón en el grano, disminuye la digestibilidad de la fibra. Según la cantidad y la calidad de estos componentes quedara determinada la calidad del forraje a través de la digestibilidad (Di Marco y Aello, 2002).

Se considera que un forraje tiene alta calidad cuando tiene aproximadamente 70% de digestibilidad aparente in vitro de la materia seca (DIVMS) y menos de 50% de fibra detergente neutra (FDN). Aunque existe acuerdo en la bibliografía que el principal parámetro que define la calidad del forraje es la digestibilidad de la materia seca (Di Marco, 2011).

La DIVMS se relaciona con la cantidad y la digestibilidad de los hidratos de carbono estructurales del tallo y con la cantidad de grano que presentan las plantas (Moran *et al*. 1990). Si bien la DIVMS del ensilaje de maíz, en un híbrido en particular, está influenciada por el contenido de grano, hay que tener en cuenta que el tamaño de picado, entre otros factores, afecta la digestibilidad del ensilaje de maíz. Cuando el picado es fino tiene una alta tasa de pasaje que ocasiona dos efectos. En primer lugar una gran pérdida de partículas de ensilaje de baja degradabilidad en heces que hace que su digestibilidad disminuya, y en segundo lugar el rumen se desocupa con mayor rapidez permitiendo consumir más ensilaje, lo que en otras palabras significa que las partículas de ensilaje perdidas en heces son reemplazadas por un nuevo material con el doble o triple de calidad en términos de degradabilidad, debido al almidón, carbohidratos solubles y a cierta proporción de fibra degradable. En definitiva, el mayor consumo compensa el aporte de energía total diaria, y en algunos casos, supera la perdida que ocasiona la menor digestibilidad (Di Marco y Aello, 2002). La DIVMS del ensilaje de maíz promedio de una serie de 10 años evaluados en la EEA (Estación Experimental Agropecuaria) Pergamino tuvo un valor de 59,6 ± 3,5% (Scheneiter, 2010).

El aporte de energía del ensilaje de maíz se considera de valor medio, especialmente cuando contiene un 40-50% de la materia seca en forma de grano (Romero y Aronna, 2004). Es importante considerar que el rendimiento en grano determina la concentración energética del ensilaje cuando supera el 40% de la planta entera (Pedersen, 1996), en cambio en situaciones donde el porcentaje de grano es menor al 30%, la calidad de la fracción vegetativa toma importancia desde el punto de vista nutricional (Elizalde *et al*. 1993).

A pesar de las ventajas, el cultivo de maíz tiene un alto costo de inversión por hectárea para su producción, por lo tanto, resulta económicamente favorable maximizar la producción forrajera por unidad de superficie cuando éste se destina a ensilaje, lo que permite reducir el costo por unidad ($/kg de materia seca) y de esta forma disminuir los costos de alimentación (Camarasa *et al.,* 2016). En cuanto a las formas de lograr dicha maximización, resultan de fundamental importancia el uso del riego y la fertilización, acompañados con otras prácticas que lo complementen como la elección del híbrido, momento de picado, entre otras (Cattani *et al.,* 2008).

2.3 Agua y nutrientes en el cultivo de maíz para ensilaje.

Conjuntamente el agua y los nutrientes son complementarios, a tal punto, que el aporte de fertilizantes junto con el riego le confiere al cultivo de maíz una alta respuesta biológica ante un evento de deficiencia hídrica y nutricional, particularmente durante el período crítico (PC, 15 días antes y 20 días después de la floración; Andrade *et al*., 1997).

El maíz tiene un elevado requerimiento de agua para su crecimiento y desarrollo (aproximadamente de 600 mm; Echeverría y Sainz Rozas, 2006). Normalmente, en la zona de Pergamino, dicha demanda puede ser compensada por la oferta de lluvias promedio durante el ciclo del cultivo, pero la variabilidad climática interanual generada por la influencia del fenómeno de “El Niño-Oscilación del Sur” (ENOS) puede generar un efecto positivo o negativo sobre el cultivo (Fernández Long *et al.,* 2011). Existen estudios zonales donde se demuestra que para los meses de Diciembre y Enero (período con mayor demanda hídrica) es de

esperar deficiencias climáticas superiores a 50 mm en uno de cada dos años (Totis de Zeljkovich, 2015), lo que reduce la estabilidad productiva en los planteos ganaderos de la zona, más aún, cuando en ellos se maximiza la producción de carne o leche y a la vez se incrementa la participación del ensilaje de maíz en las dietas.

Bajo el escenario de intensificación de los cultivos agrícolas en los últimos años, sin una adecuada reposición de nutrientes al suelo, se han reducido los contenidos de materia orgánica y nutrientes en la región pampeana. Esto se magnifica cuando el maíz se destina a ensilaje, ya que se extrae casi la totalidad de la biomasa aérea sin dejar ningún residuo, salvo las raíces, para el retorno de los mismos al suelo, lo que atenta contra la sustentabilidad productiva y ambiental (Echeverría y Sainz Rozas, 2006). Dicha problemática puede contrarrestarse con prácticas de fertilización, donde la respuesta al agregado de fertilizantes al cultivo de maíz ha sido suficientemente demostrada desde la década del ’70 (Berardo *et al.,* 1976).

2.3.1. Efecto del riego en el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz para ensilaje.

Existe una relación positiva entre la disponibilidad de agua en el suelo y la absorción de nutrientes de un cultivo (Maddonni *et. al.,* 2003). En maíz, una sequía durante el período vegetativo puede afectar el rendimiento al disminuir el índice de área foliar (IAF) si el cultivo no se recupera. En cambio, una caída de 60% en el consumo de agua durante el PC puede reducir el rendimiento de granos en un 60% como resultado de una disminución en la componente número de granos durante la floración, mientras que, si el déficit ocurre durante la etapa de llenado de granos, sólo se ve afectado el peso de los mismos (Farré Codina, 1996; Andrade y Sandras, 2002).

Una merma del rendimiento en grano en maíz destinado a ensilaje ya sea por déficit de fuente o destino, disminuye el índice de cosecha (IC) a causa del aumento en la proporción hoja+tallo, lo que modifica la composición química de los tallos y altera la distribución de los carbohidratos no estructurales solubles (CNES) y la

relación CNES/almidón por efecto de la re-movilización de sustancias de reservas. Como resultado final, hay un aumento en la biomasa del tallo y un significativo detrimento en la calidad del ensilaje y en el rendimiento total de biomasa (Dalla Valle *et. al.,* 1998).

Se han realizado experiencias en la zona centro de Santa Fé, donde se utilizó el riego complementario en maíz para ensilaje (junto con un adecuado manejo de la fertilización y distintas fechas de siembra), arrojando resultados con aumentos de la productividad del recurso de, entre un 130% y 285% para grano, y de 52% y 155% para biomasa, con respecto a los rendimientos obtenidos en secano (Giaveno *et. al.,* 2002).

En otras experiencias realizadas por privados en la cuenca del abasto, revelaron resultados similares a los encontrados en Santa Fé, donde en secano registraron 8 t MS/ha en año seco, 12 t MS/ha en año húmedo y 19 t MS/ha con el uso de riego complementario, es decir un incremento de rendimiento en biomasa entre el 58% y 137% (Marcenaro, 2018).

Los resultados observados anteriormente avalan a las experiencias obtenidas por otros investigadores que explicaron el aumento de la estabilidad interanual de la producción y minimización de riesgos climáticos cuando aplicaron riego complementario en momentos de estrés hídrico en maíz (Torres Duggan *et al.,* 2016).

2.3.2. Nutrición en el cultivo de maíz para ensilaje.

Las exigencias nutricionales por unidad de producto del cultivo de maíz son relativamente bajas en comparación con otros cereales y oleaginosas, pero la alta productividad del mismo hace que éstas se vuelvan elevadas y, por lo tanto, se incrementen las cantidades de fertilizantes a emplear (Echeverría y Sainz Rozas, 2006).

Estudios del estado nutricional de los suelos en Argentina realizados en las últimas décadas, revelan que las dosis de nutrientes empleadas (nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y calcio) en forma de fertilizantes, son bajas con respecto a los requerimientos del cultivo y lo extraído por el mismo (Echeverría y Sainz Rozas,

2006; Cruzate y Casas, 2017). De los elementos requeridos por el cultivo de maíz para su normal desarrollo, los déficits de nitrógeno (N) y fósforo (P) son los que con mayor frecuencia se encuentran como limitantes en la producción en la región pampeana (Díaz-Zorita y García, 2008). Sin embargo, en la última década, el azufre (S) comenzó a ganar importancia, principalmente en el cultivo de maíz en suelos con prolongada historia agrícola y bajo siembra directa (Berardo y Reussi Calvo, 2010).

Si bien hubo un incremento en el uso de los fertilizantes en la zona norte de la provincia de Buenos Aires, las extracciones de nutrientes por los cultivos son las más altas a nivel nacional, por lo tanto, el empleo de la fertilización orientada a balancear los nutrientes en función de los requerimientos de los cultivos de la rotación (y no sobre un cultivo en particular) y teniendo en cuenta la composición particular del suelo, permite generar aumentos de rendimiento (Cruzate y Casas, 2017), y producciones más sustentables.

Una herramienta clave es el diagnóstico de la fertilización que implica comprender las necesidades nutricionales del cultivo para alcanzar el rendimiento objetivo y la capacidad del suelo de proveer esos nutrientes en cantidad y momento adecuado, y a partir de ello, optar por el criterio y las pautas de manejo de fertilización como dosis, fuentes, momentos y métodos de aplicación (García, 1999).

2.3.2.1. El nitrógeno en el cultivo de maíz para ensilaje.

El nitrógeno (N) es el nutriente que limita en mayor medida el logro de cultivos de maíz de altos rendimientos, debido a que la necesidad y la extracción del nutriente es muy variable según el ambiente y el manejo del cultivo, estimándose para la región pampeana y para la producción de grano por tonelada, un requerimiento de 22 kg de N siendo la extracción de 14,5 kg de N (García, 2000). Estudios en relevamiento de tecnología agrícola aplicada en maíz en Argentina demostraron que durante la campaña 2012/2013, la dosis media de fertilización con N promedio fue de 54 kg/ha (BCR, 2014), en campañas posteriores, el rendimiento en grano del cultivo de maíz fue incrementando mientras que la fertilización con N promedio aumentó solo en 5 kg/ha para la campaña 2016/2017 (BCR, 2017), resultando en

una disminución de los niveles de reposición de nutrientes en los últimos años (BCR, 2016). Durante el año 2015 y principios del 2016, en la zona agrícola del norte de la provincia de Buenos Aires, se entrevistaron productores (un promedio de 14.000 ha), donde se demostró que solamente en el 69 % de los que siembran maíz con destino a ensilaje utilizan fertilización (Testi *et al.,* 2019)**,** y la dosis promedio de fertilizante nitrogenado es de 50 kg/ha (Testi, 2019. Comunicación personal). Se concluyó que existe una brecha tecnológica entre el manejo y el uso de los recursos forrajeros por parte de los productores con respecto al potencial que presenta esta región (Testi *et al.,* 2019).

Existen antecedentes en Rafaela que evidencian la respuesta del maíz para ensilaje a la fertilización con N, donde la producción se estabilizó en dosis moderadas de 50 kg/ha de N (Romero y Mattera, 2009). Sin embargo, estudios más recientes revelaron un aumento en el rendimiento del ensilaje de maíz por efecto de la fertilización con 100 kg N/ha de 6 t MS/ha (16,6 t MS/ha sin N y 22,4 t MS/ha con N) y además, se mejoró la calidad de la FDN y la DIVMS (Camarasa *et al.,* 2014).

Sumado a ello, en otras regiones del mundo se obtuvieron respuestas sumamente significativas en el rendimiento y proteína bruta (PB) del maíz para ensilaje cuando éste, acompañado con el ajuste de otras prácticas agronómicas (densidad de siembra, riego, elección de híbridos), se fertilizó con dosis de N de 150, 180, 200, 240, 300, y hasta 450 kg de N/ha (Karlen *et al.,*1985; Cox *et al.,* 1993; Soto *et al.,* 2002; Sheaffer *et al.,* 2006; Peña Ramos *et al.,* 2010) evidenciando respuestas de 1,3 t MS/ha de grano y 3,8 t MS/ha de biomasa lo que representa un incremento de 10,8% y 17,2% respectivamente, respecto a éste último, se han obtenido picos del 90% de incremento del rendimiento en biomasa cuando se aumentó la dosis de N en conjunto con el riego.

2.3.2.2 El azufre en el cultivo de maíz para ensilaje.

Respecto al azufre (S), las respuestas a su utilización se observan cuando se han cubierto las deficiencias de los otros nutrientes, principalmente N y P. En la zona norte de Buenos Aires, los resultados se advierten en suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente con soja), y en cultivos de alta producción con fertilizaciones en las que han intervenido solamente con N y P (González Montaner y Di Napoli, 1997). El nivel crítico de S-sulfatos en suelo en los 20 cm superficiales es de 10 mg/kg, esto permite separar sitios con y sin respuesta al S (García *et al.,* 2006).

Debido a la falta de ajuste mostrada por el análisis de suelo, se clasificaron los ambientes destinados a cultivos extensivos según su rendimiento relativo respecto a la respuesta de fertilización azufrada en: ambientes con “deficiencia crónica y ambientes con “deficiencia inducida” (Cordone y Martínez, 2000). Por otro lado, se identificaron algunas de las propiedades edáficas relacionadas con las prácticas de manejo que condicionan la respuesta de azufre, entre las que destacaron el contenido de materia orgánica, la estabilidad estructural y el grado de erosión (Vilche *et al*., 2002). Bajo un criterio de suficiencia, en los sitios con respuesta, los máximos beneficios se alcanzan con dosis cercanas a 10 kg S/ha (Carta e*t al*. 2001, Ferraris *et al.* 2005).

2.4. Eficiencia del uso de la radiación en el cultivo de maíz

La radiación solar interceptada por los cultivos es transformada en biomasa. La pendiente entre ambas variables (biomasa y radiación), indica la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) y se expresa en gramos (g) de biomasa por megajoule (MJ) de radiación interceptada. La EUR es afectada por limitaciones hídricas (en la medida que afecte la fotosíntesis), por la temperatura (por ejemplo, en maíz con temperaturas medias inferiores a 20ºC) y el nitrógeno foliar específico, que mantiene una relación curvilínea, positiva y directa con la EUR (Cárcova *et. al.,* 2010). Además, hay estudios sobre la variación de la EUR en el cultivo de maíz, los cuales afirman que depende del tipo de híbrido, de la disponibilidad de N y del ambiente de producción (Birch *et al.,* 1999).

2.5. Eficiencia del uso del agua en el cultivo de maíz

La eficiencia con la que un cultivo fija el carbono con relación al agua utilizada se define como eficiencia del uso del agua (EUA). Comprende la acumulación de biomasa, la evapotranspiración y la unidad de tiempo (ciclo del cultivo) (Dardanelli *et al.,* 2010). Entre los factores que modifican la EUA, la aplicación de riego asociado a la fertilización nitrogenada favorecen el incremento de la tasa de transpiración juntamente con el aumento de la tasa de fotosíntesis (Dardanelli *et al.,* 2010). Estudios en maíz demuestran que el uso del riego no modifica la EUA, las variaciones obtenidas son atribuidas a las diferencias entre agua evaporada del suelo respecto a la evapotranspirada por el cultivo (Dardanelli *et al.,* 2010).

2.6. Hipótesis

El riego complementario y la fertilización incrementan la producción forrajera y la calidad nutricional maíz para ensilaje. Además, mejora la eficiencia del uso de los recursos.

2.7. Objetivo general

Medir los efectos del riego complementario y de distintos niveles de fertilización sobre la respuesta productiva y la calidad nutricional de maíz para ensilaje.

2.8. Objetivos específicos

- Medir el efecto de la fertilización y riego sobre la producción de maíz para ensilaje.
- Medir el efecto de la fertilización y riego en la calidad nutricional del maíz para ensilaje.
- Estimar el efecto que tiene la fertilización y el riego en la EUA y la EUR en un cultivo de maíz para ensilaje.

3. Materiales y métodos

El ensayo se realizó durante la campaña 2016/2017 en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino (33º 56’ 55’’ S, 60º 33’ 53’’ O y 68 msnm), sobre un suelo Argiudol típico perteneciente a la serie Pergamino y capacidad de uso IIIe. El 05 de octubre de 2016 se tomó muestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm y luego se realizaron los análisis de suelo correspondientes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resultados de análisis de suelo tomados antes de la siembra (Profundidad: 0-20 cm).

	Parcela con Riego	Parcela Secano	Método
Ph	6,6	6,7	Potenciométrico, Agua 1:2,5- SSSI
Carbono orgánico, gr/kg	13,8	13,8	Combustión húmeda- Walkley y Black
Fósforo extractable, mg/kg	37,1	28	Norma IRAM-SAGyP 29570-1 (Bray y Kurtz Nº1)
Nitrógeno de nitratos, mg/kg	5,3	5,7	Colorimétrico-Mulvaney
Azufre de sulfatos, mg/kg	6,3	3,3	Turbidimétrico

Laboratorio de Calidad de Alimentos, Suelo y Agua (INTA Pergamino).

La precipitación media anual, con un régimen de tipo monzónico, es de 1043 mm (1970-2016, Estación meteorológica INTA Pergamino). La precipitación en el ciclo del cultivo del ensayo fue 748 mm y el riego fue de 151 mm (Cuadro 2). La precipitación media estuvo 209 mm por encima de la media (Cuadro 3). Dicha diferencia se debió a que en el mes de diciembre entre los días 25 y 26 la precipitación registrada fue 183 mm. La lluvia de diciembre durante el año 2016 fue de 277 mm, mientras que promedio histórico es de 109 mm.

Cuadro 2. Registros de lluvias (mm) y riego (mm) aplicados a lo largo del ciclo del cultivo de maíz.

Fecha	Lluvias (mm)	Riego (mm)	Fecha	Lluvias (mm)	Riego (mm)
5/10/2016	13,5		19/12/2016	35,6	
11/10/2016	5		22/12/2016	27	
13/10/2016	0,5		23/12/2016	24,4	
16/10/2016	24		25/12/2016	47	
17/10/2016	8,5		26/12/2016	136	
19/10/2016	35		28/12/2016	3	
20/10/2016	5,5		1/1/2017	21	
21/10/2016	0,8		4/1/2017	3	
26/10/2016	28		8/1/2017	2	
1/11/2016	4		9/1/2017	15	
10/11/2016	7,5		15/1/2017	32	
13/11/2016	27		16/1/2017	75	
14/11/2016	14		17/1/2017	1	
16/11/2016	2,5		24/1/2017		15
27/11/2016	24		27/1/2017		15
2/12/2016		32	31/1/2017		20
5/12/2016	4		1/2/2017	10	
7/12/2016		20	5/2/2017	21	
10/12/2016		20	6/2/2017	3	
14/12/2016		10	13/2/2017	2	
16/12/2016		19	14/2/2017	6	
Total lluvias (mm)					748
Total Riego(mm)					151

Las precipitaciones totales, desde octubre hasta febrero, resultaron un 39% superior al promedio histórico (748 vs. 539 mm). Siendo las lluvias de octubre, diciembre y enero las que estuvieron por encima de las históricas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Precipitaciones mensuales (mm) durante el período experimental, media histórica y diferencia entre ellos.

Lluvias (mm)	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Total
Campaña 2016/17	125	79	277	148	119	748
Media histórica	106	103	109	112	109	539
Diferencia	19	-24	168	36	10	209

Fuente: Sistema de información y gestión agro meteorológica (SIGA).

El 03/10/2016 se sembró el ensayo en siembra directa, utilizando el híbrido Forratec DUO 575 PW de buena aptitud silera, que ha sido probado en varias campañas, además posee tecnología Power Core (quíntuple apilado de genes) lo que permite el uso de glifosato y glufosinato para el control de malezas; además, esta tecnología le provee resistencia al ataque de lepidópteros (Cuadro 4). En el barbecho pre-siembra, se aplicó 2 l/ha de Atrazina junto con 1 l/ha de S-Metolaclor y 4 l/ha de Glifosato.

Cuadro 4. Características del híbrido Forratec DUO 575 PW utilizado para el ensayo.

Tipo de híbrido	Simple
Ciclo a picado	Tardío
Días a madurez	120 - 125
Rendimiento a 35% MS	Muy alto
Digestibilidad de la fibra	Alta
Rendimiento energético	Muy alto
Ventana de picado	Amplia
Tolerancia a Mal de Río Cuarto	Media
Tolerancia a Roya común (*Puccinia sorghi*)	Muy alta
Tolerancia a enfermedades de la espiga (*Fusarium* sp., *Ustilago* sp., etc)	Alta
Tolerancia a tizón de hoja (*Exserohilum turcicum*)	Intermedia
Tolerancia a mancha gris (*Cercospora zae-maydis*)	Alta
Altura de planta	Alta
Inserción de espiga	Intermedia
Arquitectura foliar	Semi-erectófila
Foliosidad	Alta
Tolerancia a vuelco de raíz	Excelente
Tolerancia a quebrado de tallo	Excelente

Fuente: https://www.forratec.com.ar/arg/esp/productos/maiz

El experimento se realizó en la EEA INTA Pergamino donde se estableció el cultivo de maíz para ensilaje. En cada parcela se sembraron 4 surcos distanciados 70 cm entre sí y un largo de 5 m (14 m^2). La densidad de siembra fue de 90.000 plantas por ha y la misma se realizó en forma manual.

Los tratamientos principales fueron con riego (**C/R**) y sin riego (**S/R**) y a cada uno de ellos se los dividió en cuatro bloques dentro de los cuales, se aplicaron tres niveles de fertilización:

T0: sin N y sin S.

T1: 50 kg/ha N y 0 kg/ha de S.

T2: 330 kg/ha de N y 60 kg/ha de S.

Las dosis de fertilización se definieron bajo los criterios de: T0; testigo sin fertilizar; T1, dosis de fertilización promedio para ensilaje en la zona norte de la provincia de Buenos Aires (Testi, 2019. Comunicación personal); T2, dosis de fertilización para no limitar la productividad del maíz.

Los niveles de P-bray en suelo de las parcelas C/R y S/R (Cuadro 1), superaron ampliamente las 13 ppm umbral propuestas por Ferrari *et. al*. (2000), por lo que solo se consideró agregar P como arrancador.

Como fuente nutritiva se empleó urea (46-0-0) y sulfato de calcio (0-0-0-17s-22ca). Al momento de la siembra, se utilizó un fertilizante como arrancador y se aplicó a razón de 100 kg/ha (7-40-0-5). A partir de V6 (seis hojas expandidas) se aplicaron los tres tratamientos. La dosis del T1 se aplicó en una única vez en V6 y la del T2 se repartió semanalmente en cuatro partes iguales hasta aplicar la dosis total.

Se aplicaron dos Niveles hídricos, con o sin riego (**C/R** y **S/R**, respectivamente). Para llevar a cabo el riego, se determinaron los requerimientos hídricos del cultivo en base a un balance hídrico que surgió entre la oferta de lluvias y la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante el transcurso del ciclo del mismo. Este balance se realizó con el programa BAHICU (Andriani, 2012). El software permitió obtener la evolución diaria del contenido de agua disponible entre la capacidad de campo y el límite de estrés. La medición de humedad del suelo a partir de muestras a una profundidad de 1,2 m el día anterior a la siembra, fue requerida por el programa para iniciar el balance hídrico. Además, el mismo requirió la carga de la evapotranspiración potencial (ETP) diaria, la lluvia y la lámina de agua regada.

Para el cálculo de la ETP se empleó la Ecuación de FAO Penman-Monteith (Allen *et al.,* 2006), y los datos meteorológicos provinieron de la estación meteorológica del INTA Pergamino. La ETc de los tratamientos se obtuvieron a través del modelo establecido por el programa BAHICU.

El riego complementario se aplicó mediante un sistema de aspersores y la lámina de riego se midió a través del promedio de seis pluviómetros que fueron distribuidos al azar en las parcelas bajo riego (Cuadro 4).

La floración femenina se produjo el 29/12/2016 y el PC estuvo entre el 15/12/2016 y el 18/01/2017 (considerando 15 días antes y 20 días después de la floración femenina). En este momento llovieron en total 314 mm (un promedio de 10,5 mm/día-1) y de la lámina de riego total aplicada (151 mm), solamente una aplicación de 19 mm el 16/12/16 fue necesaria dentro del PC. El déficit de agua que presentó el cultivo en secano comienza antes del PC; luego, debido a la abundante precipitación ocurrida, el agua disponible en el suelo aumentó notoriamente, a tal punto de alcanzar la capacidad de campo (Gráfico 1). La ETc acumulada hasta cosecha del maíz bajo riego y en secano fue 589 mm y 566 mm, respectivamente.

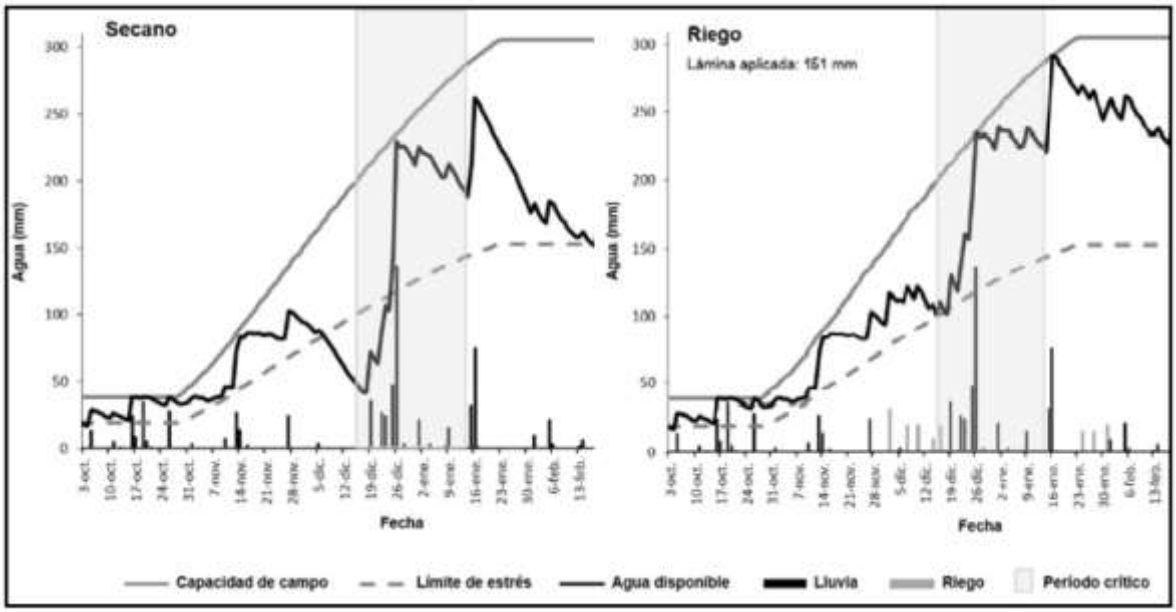


Gráfico 1. Salida gráfica del modelo BAHICU. Balance de agua en el suelo con y sin riego.

El picado se realizó el 15/02/2017, cuando el 50% del endosperma se encontró solidificado (en el grano se visualizó como ½ línea de leche). En esta instancia, que coincide con el estado fenológico de maíz R4 (Ritchie y Hanway, 1982), se alcanzaría un alto grado de concentración de almidón en el grano (el mismo es fácilmente partido por efecto mecánico de la picadora) y alta producción de materia seca (Cattani *et al.,* 2008).

Para la cosecha se utilizó una máquina pica-cosechadora de forrajes marca Wintersteiger (mod: Cibus) y cabezal Kemper (mod: C1200), y se registró el peso

de la parcela que indicó la balanza que cuenta la misma máquina. Se tomó una muestra del material picado en distintos lugares del recipiente contenedor y luego se homogenizó. Además, se tomaron 2 plantas enteras de cada tratamiento y en cada uno de los bloques, para determinar las proporciones de espiga, hoja y tallo, respecto de la planta entera.

Variables analizadas

3.1. Variables de producción

Al momento de la cosecha se evaluaron las siguientes variables:

3.1.1. Altura de plantas

Previo al picado se midió la altura (hasta la panoja) de 10 plantas tomadas al azar en los 2 surcos centrales de cada parcela y se calculó el promedio de ellas.

3.1.2. Densidad de plantas a cosecha

Previo al picado se realizó el conteo del número de plantas en los 2 surcos centrales de cada parcela, en una superficie de 7 m^2 y este dato se llevó a hectárea.

3.1.3 Producción de materia verde por hectárea

Este valor se obtuvo a través de los kilogramos de materia verde medidos en la cosecha de los dos surcos de cada parcela. Los kilogramos de materia verde cosechados se obtuvieron de una superficie de 7 m^2 (0,7m entresurcos x 2 surcos x 5m de largo) y este dato se llevó a hectárea.

3.1.4. Contenido de materia seca (% MS)

Se calculó a partir de una de las muestras obtenida del material picado. Se tomaron 500 g del material tal cual, y se colocó en estufa con circulación de aire forzado a 60°C, hasta peso constante.

3.1.5. Producción de materia seca por hectárea

A partir del resultado obtenido de producción de materia verde por hectárea y del % MS del material picado, se calculó la producción de MS/ha.

3.1.6. Peso y contenido de hoja, espiga y tallo, respecto de la planta entera.

Se obtuvo a partir del peso seco de la espiga, hoja (hoja + chala), tallo y el peso seco del total de la planta. Para ello se utilizaron las 2 plantas separadas por parcela al momento de la cosecha. Se secaron en estufa con circulación de aire forzado a 60°C hasta peso constante.

3.1.7. Producción de granos por hectárea.

Las espigas, luego de secarse y pesarse, se desgranaron y se pesaron. El promedio del peso de los granos obtenido entre ambas espigas se multiplicó por el número de plantas por hectárea y se obtuvo el rendimiento en kg/ha.

3.2. Variables de calidad:

Con una de las muestras del material picado se analizó:

3.2.1. Fibra Detergente Neutro (FDN)

Con equipo ANKOM extractor de fibra 200 (ANKOM tecnology, corp.; Macedon, NY), de acuerdo al método de Goering y Van Soest (1970).

3.2.2. Digestibilidad aparente *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y digestibilidad de la fibra detergente neutro (DFDN)

Se midieron a 30 horas de incubación y mediante incubador Daisy II (ANKOM corp; Macedon, NY). La DFDN se determinó sobre el residuo de la bolsa filtrante y se la relacionó al contenido de FDN de la muestra. Se informó como porcentaje de FDN digestible sobre la FDN total (Goering y Van Soest, 1970).

3.2.3. Producción de materia seca digestible por hectárea

Al valor de Producción de materia seca por hectárea, se lo multiplicó por los valores que se obtuvieron de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

3.2.4. Almidón

El contenido de almidón fue calculado indirectamente a través de la ecuación desarrollada por Di Marco y Aello (2006). Donde el 83% de la espiga es grano y el 70% del grano es almidón. Formula: peso de espiga*83*70= Contenido de almidón.

3.3. Variables de eficiencia de uso de los recursos

3.3.1 Eficiencia del uso del agua (EUA)

Se calculó como la relación entre la producción de MS y el uso consuntivo del agua (UCA), es decir, el agua útil del suelo que se evapotranspiró por el cultivo por unidad de superficie. UCA: se calculó a través del programa BAHICU, como la suma de la ETc en el transcurso de cada día del ciclo del cultivo, que a diferencia del método gravimétrico (agua disponible al momento de la siembra a una profundidad de 1,2 m más las precipitaciones ocurridas durante todo el período, y el agua disponible cuando finalizó el cultivo) ajusta los requerimientos de agua de la planta conforme a la profundidad de las raíces en la medida que éstas crecen.

3.3.2 Eficiencia del uso de la radiación (EUR)

Se midió la radiación interceptada por el canopeo (RFA) con un ceptómetro de 0,5 m que se ubicó en forma diagonal a las hileras de maíz y centrado con respecto a la misma por debajo del último estrato de hojas verdes en 5 posiciones por parcela. La misma se midió a lo largo del cultivo a partir de V6 hasta cosecha. Por último, se estimó la EUR para cada uno de los tratamientos y períodos de acumulación de biomasa como el cociente entre la biomasa acumulada por período y la RFA para todo el período.

Diseño y Análisis estadístico

Se estableció un experimento factorial con arreglo en parcelas divididas, que tuvo como parcela mayor el Nivel hídrico (riego y secano), y como subparcela los tratamientos de Fertilización. Los tratamientos se distribuyeron mediante un diseño en bloques completos al azar (n = 4).

$$Y_{ijK} = \mu + \tau_I + \gamma_j + (\tau\gamma)_{ij} + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

- Y_{ijK} es la variable aleatoria que representa la observación k-ésima del bloque que contiene el i-ésimo nivel del factor principal (Riego) y el j-ésimo nivel del factor secundario (Nivel de fertilización).
- μ es la media general
- τ_i es el efecto del i-esimo nivel del factor principal (i= 1 a 2)
- γ_j es el efecto del j-ésimo del factor secundario (j= 1 a 3)
- $(\tau\gamma)_{ij}$ es la interacción del i-ésimo nivel del factor principal y j-ésimo nivel del factor secundario.
- β_k es el efecto del k-esimo bloque (k= 1 a 4).
- ε_{ijk} es el error aleatorio experimental.

Los resultados fueron analizados mediante un análisis de la varianza (ANOVA). Se evaluaron el efecto de la interacción entre el Nivel hídrico y la Fertilización, y la comparación de medias con la prueba de Tukey. La significancia estadística se analizó al 5% y la tendencia al 10%, se utilizó el software InfoStat (Di Rienzo *et al.,* 2018).

4. Resultados

4.1. Variables de producción

No se encontró efecto de la interacción entre las variables Nivel hídrico*Fertilización.

La altura fue superior a medida que aumentó la dosis de fertilizantes (Cuadro 5). Los T1 y T2 superaron a T0 en 5,6 y 10,5% respectivamente. Siendo, además T2 mayor en un 4,6% en altura a T1. El uso del riego incrementó la altura un 8% con respecto al secano.

No se encontraron diferencias en la densidad de plantas para ninguno de los tratamientos. Se logró un promedio de 64.524 ± 4.048 Pl/ha., representando un coeficiente de logro del 71,7% (con respecto a las 90.000 semillas por hectárea sembradas).

Cuadro 5. Altura (cm) y densidad de plantas (Pl/ha) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico.

		Altura		Densidad	
Fertilización	T0	214,7	a	62.143	a
	T1	226,7	b	62.857	a
	T2	237,2	c	68.571	a
	Sig.	***p < 0,05***		***p > 0,10***	
Riego	S/R	217,7	a	63.333	a
	C/R	235,4	b	65.714	a
	Sig.	***p < 0,05***		***p > 0,10***	

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p≤0,05).

No se encontró diferencia en el rendimiento de MV entre los tratamientos de fertilización T0 y T1. El rendimiento promedio fue de 34.419 ± 2.291 kg/ha. El T2 superó en 22.205 kg/ha (64,5%), con una producción de 56.625 kg/ha. Hubo diferencia significativa en la producción de MV con la incorporación del riego

(Cuadro 6), el cual produjo un 38,7% de incremento en biomasa verde respecto al tratamiento en secano (48.595 vs 35.047 kg/ha).

El contenido de MS se mantuvo constante en los 3 tratamientos de fertilización (32,6 ± 0,4%). Aunque el tratamiento en secano tuvo un 35,2% de MS, siendo un 5,1% superior que con riego (30,1%).

No hubo diferencia en la producción de materia seca entre los tratamientos T0 y T1 (11.076 ± 541 kg MS/ha), y T2 los superó en un 66,3% con un rendimiento de 18.421 kg MS/ha. El uso de riego significó un aporte adicional en el rendimiento de MS del 18% respecto al secano (14.618 vs 12.431 kg/ha, respectivamente).

La producción de granos no tuvo diferencias entre T0 y T1, con un rendimiento promedio de 4.896 Kg/ha. El T2 presentó el mayor rendimiento con un valor de 10.084 kg/ha, equivalente a un 106% superior al promedio obtenido (T0 y T1). Entre las parcelas con o sin riego no se encontraron diferencias estadísticas en rendimiento de grano (6.625 ± 20 Kg/ha).

Cuadro 6. Producción de materia verde (kg MV/ha), contenido de MS (%), producción de materia seca (kg MS/ha) y producción de granos (kg/ha) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico.

		Prod. Materia verde		Contenido de Materia seca		Prod. Materia seca		Prod. de granos	
Fertilización	T0	32.128	a	32,0	a	10.535	a	4.894	a
	T1	36.710	a	32,9	a	11.617	a	4.898	a
	T2	56.625	b	33,0	a	18.421	b	10.084	b
	Sig.	***p < 0,05***		***p > 0,10***		***p < 0,05***		***p < 0,05***	
Riego	S/R	35.047	a	35,2	a	12.431	a	6.605	a
	C/R	48.595	b	30,1	b	14.618	b	6.646	a
	Sig.	***p < 0,05***		***p < 0,05***		***p < 0,05***		***p > 0,10***	

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p≤0,05).

El peso seco de la planta entera fue superior en T2, respecto T0 y T1 (Cuadro 7). Estos últimos no se diferenciaron entre sí (196,3 ± 64,4 g). El T2 significó un 53% de aumento en el peso de la planta. No hubo diferencias con o sin riego.

El peso seco del tallo no varió con los distintos niveles de fertilización, en cambio, cuando se aplicó riego se produjo un incremento significativo del 62,3 % con respecto al secano (57,8 g vs. 35,6 g).

El peso seco de las hojas por plantas solamente aumentó en T2 (72,7 g), que supero en un 20% al T1 y T0 (56,4 ± 1,3 g), los cuales no se diferenciaron entre sí. En tanto el riego tuvo una tendencia en el aumento del peso seco de las hojas (65,4 ± 2,7 g) respecto al secano (58,3 ± 2,7 g).

Cuando se evaluó el peso seco de la espiga, el T2 fue superior en un 84% a T0 y T1. No hubo diferencias de resultados entre estos dos últimos y tampoco efecto del riego.

Cuadro 7. Peso seco (g) por planta de planta entera, del tallo, de hojas y de espiga de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico.

		Planta, g		Tallo, g		Hojas, g		Espiga, g	
Fertilización	T0	193,3	a	43,0	a	55,1	a	95,4	a
	T1	199,2	a	45,6	a	57,7	a	96,1	a
	T2	300,4	b	51,5	a	72,7	b	176,4	b
	Sig.	***p < 0,05***		***p > 0,10***		***p < 0,05***		***p < 0,05***	
Riego	S/R	217,8	a	35,6	a	58,3	a	124,2	a
	C/R	244,1	a	57,8	b	65,4	b	121,1	a
	Sig.	***p > 0,10***		***p < 0,05***		***p < 0,10***		***p > 0,10***	

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p≤0,05). p < 0,10; medias con tendencia a diferenciarse.

El porcentaje de hojas fue menor en T2 en comparación con T0 y T1, sin diferencias entre ambos tratamientos (Cuadro 8). No hubo diferencias con o sin riego en el % de hoja.

El tratamiento T2 tuvo un 27% menos porcentaje de tallo que el T0, siendo el T1 no diferente de los dos tratamientos anteriormente mencionados. El tratamiento con riego presentó un mayor porcentaje de tallo con respecto al sin riego.

No hubo diferencias en el porcentaje de espiga de la planta entre los T0 y T1, aunque fueron inferiores en un 19% al T2. Los tratamientos con riego fueron 15% superiores a los sin riego.

Cuadro 8. Porcentaje de hoja, tallo y espiga por planta de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico.

		Hoja, %		Tallo, %		Espiga, %	
Fertilización	T0	28,7	a	22,6	a	48,6	a
	T1	29,4	a	23,5	ab	47,1	a
	T2	24,1	b	16,7	b	59,1	b
	Sig.	***p < 0,05***		***p < 0,05***		***p < 0,05***	
Riego	S/R	27,4	a	17,4	a	55,1	a
	C/R	27,5	a	24,5	b	48,1	b
	Sig.	***p > 0,10***		***p < 0,05***		***p < 0,05***	

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p≤0,05).

4.2. Variables de calidad forrajera

No existió interacción entre las variables Nivel hídrico*Fertilización. No hubo efecto de la fertilización en el contenido de FDN (Cuadro 9), sin embargo, hubo una tendencia a ser mayor con riego que en secano.

En el caso de la digestibilidad de la FDN no fue diferente entre los tratamientos de fertilización, pero se observó una disminución en el tratamiento con riego que en secano.

Cuadro 9. Contenido de FDN y digestibilidad de la FDN (DFDN, % FDN) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico.

		FDN, %		DFDN, %	
Fertilización	T0	45,8	a	49,4	a
	T1	44,8	a	49,0	a
	T2	45,8	a	48,8	a
	Sig.	***p > 0,10***		***p > 0,10***	
Riego	S/R	44,0	a	51,8	a
	C/R	47,1	b	44,8	b
	Sig.	***p < 0,10***		***p < 0,05***	

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p≤0,05). p < 0,10; medias con tendencia a diferenciarse.

El tratamiento T2 presentó un 63% más de PMSD con respecto a T1 y T0 (Cuadro 10), los cuales, presentaron valores estadísticamente iguales entre sí. El tratamiento con riego supero en un 20% la PMSD con respecto al secano, siendo esta diferencia significativa estadísticamente.

La DIVMS no se vio afectada por los tratamientos de fertilización. En cambio, el uso del riego produjo un efecto negativo en DIVMS, siendo un 7% menor que en secano.

Cuadro 10. Producción de materia seca digestible (PMSD, kg/ha) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS, %) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico.

		PMSD		DIVMS	
Fertilización	T0	6.500	a	65,2	a
	T1	7.871	a	64,6	a
	T2	11.711	b	65,1	a
	Sig.	***p < 0,05***		***p > 0,10***	
Riego	S/R	8.467	a	66,8	a
	C/R	10.132	b	62,0	b
	Sig.	***p < 0,10***		***p < 0,05***	

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p≤0,05).

El tratamiento T2 superó significativamente en el contenido de almidón a T1 y T0 en un 19% (Cuadro 11), sin encontrar diferencias estadísticas entre estos dos últimos. El uso de riego impactó negativamente en este parámetro, siendo significativamente menor que lo obtenido en la parcela en secano.

Cuadro 11. Contenido de almidón (%) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico.

		Almidón	
Fertilización	T0	28,3	a
	T1	27,6	a
	T2	34,4	b
	Sig.	***p < 0,05***	
Riego	S/R	32,0	a
	C/R	28,1	b
	Sig.	***p < 0,05***	

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p≤0,05).

4.3. Eficiencia en el uso del agua

El tratamiento T2 tuvo un efecto positivo en la EUA y difirió significativamente de T0 y T1 (Cuadro 12), siendo un 66% más eficiente. Entre T0 y T1 no hubo diferencias estadísticas. Se observó una tendencia en el tratamiento con riego a tener una mayor EUA, con respecto a secano.

Cuadro 12. Eficiencia del uso del agua (EUA, kg MS/ha/mm) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico.

		EUA, kg MS/ha/mm	
Fertilización	T0	20,0	a
	T1	22,1	a
	T2	35,0	b
	Sig.	***p < 0,05***	
Riego	S/R	24,2	a
	C/R	27,2	b
	Sig.	***p < 0,10***	

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p≤0,05). p < 0,10; medias con tendencia a diferenciarse.

En la medida que se incorporaron más nutrientes (Gráfico 2), aumentó la EUA (barras) y la producción de materia seca (línea).

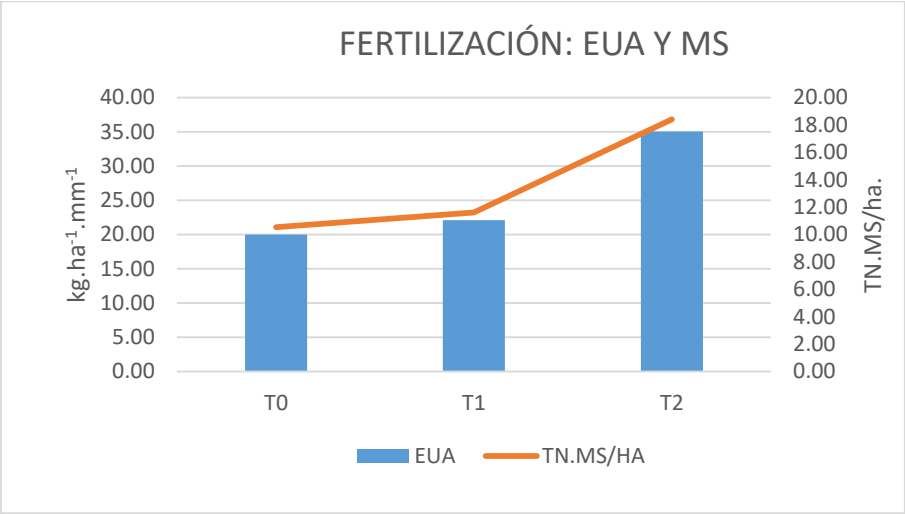


Gráfico 2. Eficiencia en el uso del agua y producción de materia seca en los tratamientos de fertilización T0, T1 y T2.

El riego, al igual que en el caso anterior, en la medida que se incrementó la PMS (línea), la EUA (barras) aumento a la par (Gráfico 3).

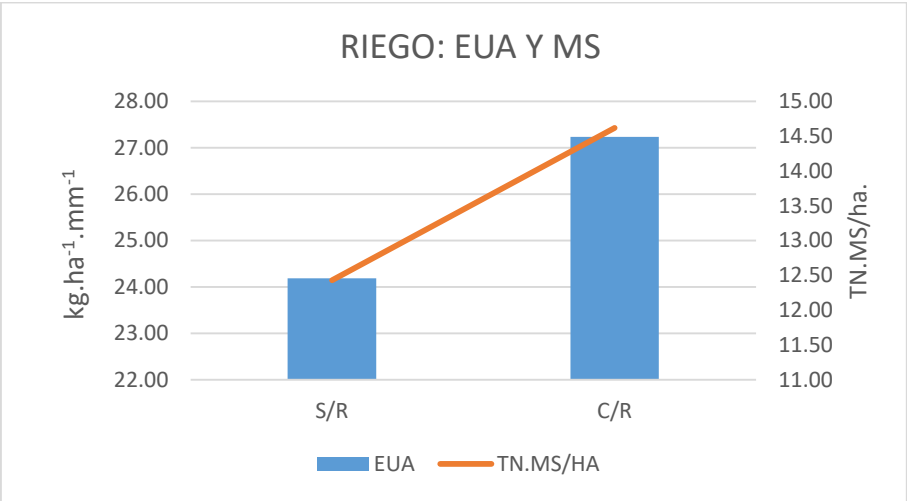
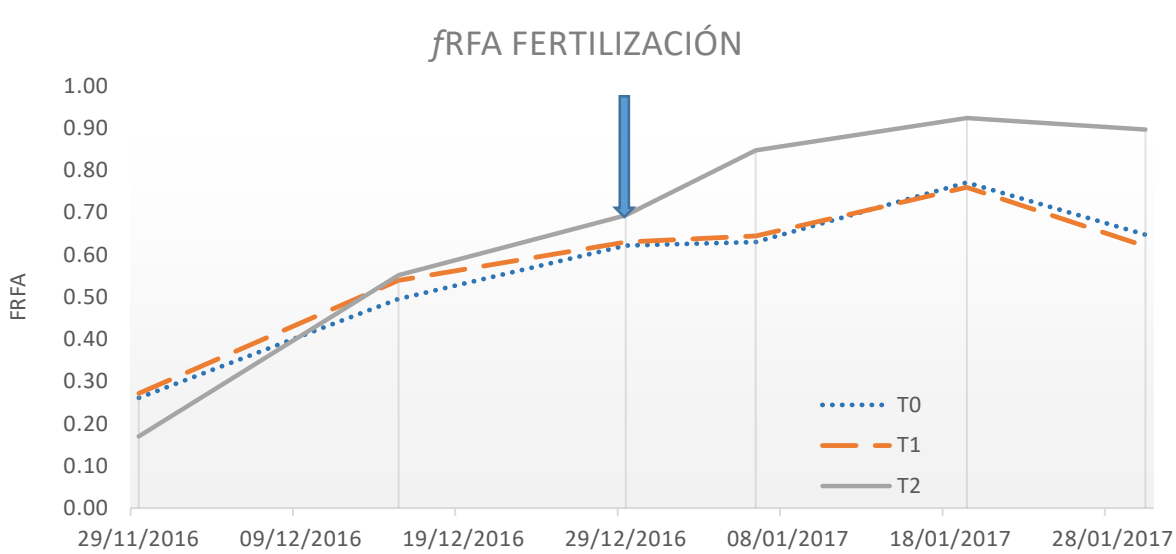


Gráfico 3. Eficiencia en el uso del agua y producción de materia seca de los tratamientos en secano y con riego.

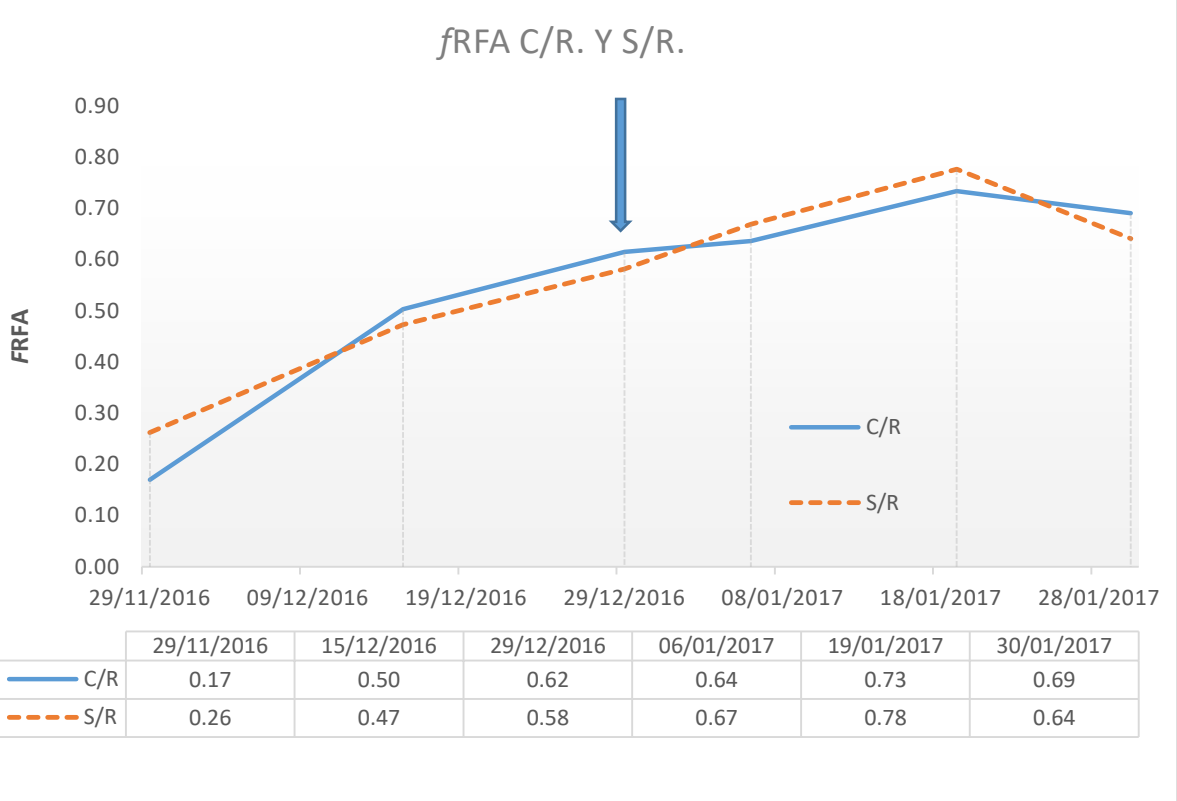
Durante el ciclo del cultivo y previo a la floración, en la parcela T2 se registró un aumento en la captura de radiación respecto a T0 y T1. Posteriormente, dicho aumento incrementó hasta registrar un pico del 92% de intercepción de la radiación superando, en el mismo momento, a los tratamientos con baja fertilización los cuales resultaron en valores del 76 y 77% de intercepción de la radiación (Gráfico 4).



	29/11/2016	15/12/2016	29/12/2016	06/01/2017	19/01/2017	30/01/2017
T0	0.26	0.49	0.62	0.63	0.77	0.65
T1	0.27	0.54	0.63	0.64	0.76	0.62
T2	0.17	0.55	0.69	0.85	0.92	0.90

Gráfico 4. Evolución de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (*f* RFA) por canopeos de maíz en los tratamientos de fertilización. La flecha indica el momento de floración (R1).

Durante el período inicial del cultivo, el tratamiento con riego capturó menos radiación con respecto al tratamiento en secano. Luego, la tasa de intercepción fue mayor, superando a este último en los días previos a la floración. Posteriormente se lograron picos del 73 y 78 % de intercepción para los tratamientos C/R y S/R, respectivamente y durante la última etapa de la medición, el declive fue más acentuado en el tratamiento en secano (Gráfico 5).



	29/11/2016	15/12/2016	29/12/2016	06/01/2017	19/01/2017	30/01/2017
C/R	0.17	0.50	0.62	0.64	0.73	0.69
S/R	0.26	0.47	0.58	0.67	0.78	0.64

Gráfico 5. Evolución de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (f RFA) por canopeos de maíz en las parcelas con riego y en secano. La flecha indica el momento de floración (R1).

4.4. Eficiencia en el uso de la radiación.

La EUR fue superior un 72% en el tratamiento T2 con respecto a T1 y T0, los cuales no difirieron entre sí (Cuadro 13). El tratamiento con riego fue superior en un 25% en la EUR con respecto al secano.

Cuadro 13. Eficiencia en el uso de la radiación (EUR, g/m^2/MJ) de los distintos tratamientos de fertilización y nivel hídrico.

		EUR	
Fertilización	T0	1,7	a
	T1	1,9	a
	T2	3,1	b
	Sig.	***p < 0,05***	
Riego	S/R	2,0	a
	C/R	2,5	b
	Sig.	***p < 0,05***	

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p≤0,05).

5. Discusión

5.1. Efecto de la fertilización

5.1.2. Efecto de la fertilización sobre las variables de producción

La producción de forraje se incrementó considerablemente con el aporte de S y N en el tratamiento con dosis máxima establecida. Esto coincide con los resultados arrojados por la red de ensayos realizados en 4 localidades del Sur de Santa Fé (Ciampitti *et al*., 2010; García *et al*., 2006).

En otras experiencias realizadas en Pergamino, Camarasa *et.al.* (2014), obtuvieron un incremento en la producción del forraje del 39% con la aplicación de 100 kg/ha de N con respecto a un testigo sin fertilizar. Si bien este valor porcentual es superado por el T2, el rendimiento obtenido por unidad de superficie resultó inferior (18421 vs. 23000 Kg MS/ha). Esto podría haber sido afectado por limitaciones de carácter edafológico (compactación, variable no medida) en el sector donde se realizó el experimento, que pudo afectar el normal desarrollo del mismo. A pesar de ello, se evidenció la alta respuesta en producción de biomasa cuando se fertiliza con N y S en un plan de nutrición equilibrado de suelo a la vez que se contemplan los requerimientos nutritivos del cultivo de maíz cuando éste es destinado a ensilaje.

5.1.3. Efecto de la fertilización sobre las variables de calidad.

La fertilización resultó en una mejora significativa en el % de almidón al pasar de 28,0 ± 0,4 % para los tratamientos T0 y T1, a 34,4% para el tratamiento T2. Tal aumento fue acompañado por un mayor porcentaje de espiga, rendimiento en grano y producción de biomasa. A diferencia de lo encontrado en el tratamiento con riego, el % FDN y el % DFDN revelaron valores constantes para los tratamientos de fertilización (45,5 ± 0,3 % y 49,1 ± 0,3 %, respectivamente). A pesar de ello, y teniendo en cuenta la mayor proporción de espiga, no se encontraron diferencias en la DIVMS, contrastando con la respuesta obtenida por Camarasa *et.al*. (2014), cuando evaluaron dicho efecto con la aplicación de dosis crecientes de N, y observaron que la DIVMS aumentó con el agregado de N, pero no hubo diferencias entre N0 - N100 y N100 - N200. Desde el punto de vista del valor promedio obtenido

para los tres tratamientos (65 ± 0,1 %) en este trabajo, resultó ser comparable al 65,2 ± 0,8 % DIVMS obtenido en el rango de dosis N100 y N200 por Camarasa et.al. (2014).

El aumento del contenido de almidón debido a la fertilización nitro-azufrada posiblemente se relacione con un mayor aporte de energía en el ensilaje y esto impactaría en una mayor producción de carne o leche.

5.1.4. La fertilización y la eficiencia en el uso del agua

Existe una relación positiva entre la disponibilidad de N y la EUA (Lamm *et al.,* 2001; Halvorson *et al.,* 2004; Hatfield y Prueger, 2004; Brueck, 2008), tal efecto pudo haberse producido en T2, debido a la mayor eficiencia en la EUA respecto a T0 y T1, los cuales no se diferenciaron. La EUA en T2 fue de 35 t MS/ha/mm lo que representa una eficiencia 66% superior a lo encontrado en los tratamientos con baja fertilización (21 ± 1 t MS/ha/mm). Un efecto similar fue encontrado en Argentina por Albarenque *et. al.* (2014) y en México, Díaz Valdés *et. al*. (2014), cuando evaluaron dosis crecientes de N y lo relacionaron con la EUA respecto a la producción de granos. Los autores no evaluaron la EUA en términos de biomasa, pese a ello, los incrementos porcentuales obtenidos en producción de granos son ampliamente significativos, lo que incentiva a seguir ensayando en próximas campañas con el fin de relevar datos que permitan el correcto ajuste de insumos (fertilizantes y agua) para cada ambiente, y de este modo maximizar la producción según el maíz se destine a grano o forraje.

5.1.5. La fertilización y la eficiencia en el uso de la radiación

La fertilización nitro-azufrada (T2) favoreció el desarrollo de las hojas logrando una mayor intercepción de la radiación. La EUR fue mayor en T2 (3,1 gr/m^2/MJ) respecto a los tratamientos T0 y T1 (1,8 ± 0,8 gr/m^2/MJ), la EUR es una pendiente (a una misma IRFa T2 tuvo > EUR (> pendiente) que T0-T1) y como consecuencia, se logró una mayor acumulación de MS y un aumento en el % de espiga en la planta logrando, un mayor rendimiento en grano (10.084 kg/ha).

Los valores del T2 coinciden con los hallados por Mattera *et. al.* (2016), que sugieren que la fertilización nitrogenada no modificó la EUR cuando el nivel de N disponible se encontró por encima del valor umbral debajo del cual se afecta este parámetro, además, no se afectó la partición a la espiga y el incremento en la producción de forraje se vio aumentado por una mayor intercepción de la radiación. Los valores inferiores hallados en T0 y T1 podrían demostrar que el contenido de N en el suelo se encontraba por debajo de dicho umbral, el cual no pudo ser superado con la dosis de N empleada en el tratamiento T1. Las variables morfológicas fueron afectadas en T2, siendo superior el % de espiga respecto a T0 y T1 lo que difiere con lo encontrado por Mattera *et. al.* (2016). Además, el incremento en la producción de forraje resultó de una mayor intercepción de la radiación y mayor EUR en T2, lo que coincide parcialmente con lo revelado por los autores, ya que no encontraron efecto de la fertilización con N en la EUR y si en la intercepción de la radiación.

5.2. Efecto del riego

5.2.1. Efecto del riego sobre las variables de producción

Las condiciones climáticas durante el ensayo fueron mejores que las históricas, con un registro en el nivel de precipitaciones de un 39% superior, respecto al promedio histórico.

Los tratamientos con riego tuvieron una mayor altura de la planta, a la vez que se observó un aumento en el peso del tallo y una tendencia en el aumento del peso seco de las hojas, todo esto debido posiblemente a una condición hídrica que mejoraría el crecimiento celular y de la planta. Durante el mes de noviembre, las precipitaciones fueron inferiores al promedio (79 vs. 103 mm), que en secano significaría una limitante en el pleno desarrollo vegetativo, ya que afectó el rendimiento de materia seca; lo contrario sucedió en el tratamiento con riego, donde se logró una mayor producción de la misma. Luego, las precipitaciones fueron muy superiores, por lo que no se afectó el peso de la espiga en los dos tratamientos, indicando que este órgano alcanzó su potencial en peso (limitado por destino) y como consecuencia no se obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento de granos logrando un promedio de 6.625 ± 20 Kg/ha.

En el tratamiento con riego, el peso seco del tallo y de hoja fue superior al tratamiento sin riego, ya que no fue afectado por el marcado déficit hídrico de noviembre, tal incremento afectó negativamente el % de espiga por planta.

Aún con las excelentes condiciones hídricas durante el ensayo el efecto del riego sobre la producción de forraje aportó diferencias significativas en términos de materia seca y verde por superficie del 18% y 39%, unas 2,2 y 13,5 t/ha, por encima del tratamiento en secano, respectivamente. Sin embargo, no se observó un incremento en la producción de granos. Los resultados obtenidos son inferiores a los encontrados por Giaveno *et. al*. (2002) y Marcenaro, (2018) en términos de incremento porcentual de la producción de granos. Esto puede ser explicado por las abundantes precipitaciones durante la campaña, desde diciembre y favorables para el crecimiento y desarrollo del cultivo, lo que provocó un leve incremento del rendimiento cuando se aplicó riego complementario. Sin embargo, cabe realizar un análisis económico del planteo productivo para definir la rentabilidad de la inclusión del riego en maíz destinado a ensilaje para cada campaña en particular.

En el tratamiento con riego se obtuvo una producción superior de materia verde con menor contenido de materia seca, con respecto al tratamiento en secano. Si bien el momento óptimo de picado se encuentra entre el 30 y 40 % MS (Cattani *et. al*., 2008), los tratamientos con riego mostraron valores que promediaron los 30 % MS al momento del picado. Esta característica, cuando el ensilaje es almacenado en silo bolsa o torta, podría generar problemas al momento de la confección. Ya que ese caso afecta la capacidad de almacenamiento, aumenta el deterioro de la bolsa y, además, puede verse afectada la calidad del picado, a causa del lixiviado de efluentes y con ello la pérdida de nutrientes (Clemente y Monge, 2008).

5.2.2. Efecto del riego sobre las variables de calidad.

Se encontró una tendencia en el incremento en el contenido de la FDN en el tratamiento con riego versus secano (47,1 vs. 44,0%, respectivamente), lo que pudo ser causado por la mayor proporción del tallo, en la composición del forraje, debido al mayor contenido de pared celular que presenta esta porción en comparación con el resto de la planta, o sea, plantas más grandes necesitan más tejidos de sostén.

La DFDN disminuyó significativamente en un 5% en los tratamientos con riego respecto a secano (44,8 vs 51,8%, respectivamente). Los cambios en la digestibilidad y en la composición química de la planta entera están asociados, no sólo a cambios a nivel celular y de los tejidos, sino también a variaciones que se producen en la proporción de los distintos componentes morfológicos, los cuales presentan calidades intrínsecas diferentes (Carrete y Ceconi, 2001), lo que en este caso, hizo que, el incremento en la proporción del tallo perjudicara la DFDN y el aporte de la calidad del grano actuó amortiguando la caída, para que esta no disminuya más del 5%.

Por otro lado, cuando se aplicó riego, el contenido de almidón disminuyó significativamente (32,0% vs 28,1%, respectivamente), esto se encuentra estrechamente relacionado con el aumento en la proporción de tallo y el límite productivo de la espiga (limitación por destino); además, cuando se analizó la producción de grano, no se encontraron respuestas en el rendimiento (6.625 ± 20 kg/ha), por lo que se afectó directamente el % de almidón, debido a que el grano es el sitio de almacenaje del mismo.

Uno de los parámetros más importantes en cuanto a la calidad de un silaje, es la cantidad de material que efectivamente es aprovechado por el rumen al ser consumido por el rumiante. En este ensayo, se avaluó la DIVMS y se obtuvieron diferencias significativas en los tratamientos con riego y en secano (62,0 vs. 66,8% DIVMS, respectivamente) siendo afectada en la medida que se aplicó riego. A pesar de ello, cuando se calculó la producción de MSD por unidad de superficie, se detectó que el uso del riego favoreció la producción de esta, a través del incremento en el rendimiento, pasando de 8.467 kg MSD/ha en secano a 10.131 kg MSD/ha., es decir, un 20% adicional. Esto implica la posibilidad de poder incrementar la producción animal por hectárea.

5.2.3. El riego y la eficiencia en el uso del agua.

Se registró una tendencia en el aumento de la EUA con la aplicación del riego en comparación en secano (27,2 vs. 24,2 kg MS/ha/mm, respectivamente). Amortiguado por las adecuadas condiciones hídricas durante la campaña,

posiblemente dicha práctica permitió elevar la transpiración por parte del cultivo (T) a causa del aumento de agua disponible, además de reducir la evaporación del agua desde la superficie del suelo (Es) (Dardanelli *et al*., 2010). La EUA se obtuvo a partir de los valores de ETc proporcionados por el programa BAHICU, donde T y Es son las componentes (ETc = T + Es), estas últimas no fueron ensayadas por lo que quedan sujetas a futuras investigaciones y ampliación de la temática. Hay otros factores ambientales que puedan modificar la EUA y son más complejos de medir.

5.2.4. El riego y la eficiencia en el uso de la radiación.

Los valores de la EUR se encuentran dentro del rango establecido en diversos estudios para el cultivo de maíz que varía de 2,0 a 3,4 gr/m^2/MJ (Birch *et. al*., 1999). En el tratamiento con riego la EUR fue mayor que en secano, posiblemente, el cultivo con riego logró capturar mayor radiación durante el período vegetativo, previo a la floración, lo que explica el aumento en la asimilación de carbono expresado como mayor peso del tallo, hoja y mayor producción de forraje.

6. Conclusiones

La fertilización nitro-azufrada y el uso del riego en maíces con destino a ensilaje, a pesar de que no hubo interacción entre estos, posibilitaron mejorar la producción y la calidad del forraje, a la vez que se optimizó el uso de la radiación y el agua.

El nivel de fertilización más alto generó la mayor producción de materia seca y de grano. Sin embargo, no hubo cambios en la DIVMS, aunque presentó los mayores niveles de almidón. De esta manera y por la mayor producción mejoró la materia seca digestible cosechada. También presentó mejor EUA y EUR, en comparación con niveles bajos o nulos de fertilización.

El uso del riego complementario aumentó la producción de materia seca y no afectó a la producción de grano. Con respecto a la calidad fue menor a secano debido al mayor contenido de FDN, menor DFDN, DIVMS y almidón. Siendo la producción de materia seca digestible cosechada mayor a la de secano, debido a que la producción de materia seca fue proporcionalmente mayor a la caída en calidad. Además, el uso de riego complementario causó una mejor EUA y EUR.

A futuro quedaría evaluar en otro ambiente, híbrido, densidad de plantas, fecha de siembra y/o también, analizar las limitaciones físicas del suelo, para conocer y explicar la respuesta productiva, la calidad nutricional y las eficiencias de uso de la radiación y agua. Además, seria conveniente hacer un análisis del balance de carbono y económico con distintos tratamientos de fertilización y condiciones hídricas.

7. Bibliografía

Albarenque, S.M. ; Caviglia, O.P. ; Melchiori, R.J.M. ; Maddonni, G.A. 2014. Eficiencia de uso de agua y nitrógeno en maíz por zonas de manejo. INTA. Consultado 29 de abril 2019. Disponible en https://inta.gob.ar/documentos/eficiencia-de-uso-de-agua-y-nitrogeno-en-maiz-por-zonas-de-manejo.

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 56:1-79.

Andrade, F.H.; Uhart, S.A.; Frugone, M.I. 1993. Intercepted radiation al flowering and kernel number in maize: shade versus plant density effects. Crop Sci. 33:482-485.

Andrade, F.H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. Field Crops Research, 41:1-12.

Andrade, F.H; Cirilo, A.G; Uhart, S.A.; Otegui, M.E. 1997. Ecofisiología del cultivo de maíz. La Barrosa (Ed.). Dekalbpress. INTA, FCA-UNMP. Balcarce. Argentina. 292 p.

Andrade, F.H.; Sandras V.O. 2002. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En: Andrade, F.H. y Sandras V.O. (eds.). Bases para el manejo del maíz, girasol y la soja. EEA INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina. 175-210 p.

Andriani J.M., 2012. Desarrollo y validación del software de balance hídrico de cultivos extensivos “BAHÍCU”. En: XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Argentina.

BCR. Bolsa de comercio de Rosario. 2014. Relevamiento de tecnología agrícola aplicada. (En línea). Consultado el 1 de octubre de 2020. Disponible en https://www.bolsadecereales.com/repositorio.

BCR. Bolsa de comercio de Rosario. 2016. El maíz como motor, ¿la tecnología como combustible?. (En línea). Consultado el 1 de octubre de 2020. Disponible en https://www.bolsadecereales.com/repositorio.

BCR. Bolsa de comercio de Rosario. 2017. Un sector que sigue avanzando: la tecnología marca el rumbo. (En línea). Consultado el 1 de octubre de 2020. Disponible en https://www.bolsadecereales.com/repositorio.

BCR. Bolsa de comercio de Rosario. 2020. Informe especial mensual sobre cultivos en Argentina. (En línea). Consultado el 28 de junio 2020. Disponible en https://www.bcr.com.ar/es/mercados/gea/estimaciones-nacionales-de-produccion/estimaciones.

Berardo, A.; Reussi Calvo, N. 2010. Pautas para el manejo de la fertilización en maíz y girasol (en línea). Fertilab. Consultado 8 mayo 2018. Disponible en http://www.laboratoriofertilab.com.ar/publicaciones.php

Berardo, A.; Culot P.; Duarte J.; Darwich, N. 1976. Evaluación de algunos factores de producción de cultivo de maíz en el sudeste bonaerense y su respuesta a la fertilización. Revista IDIA 32: 195-208 p.

Bertín, O.D.; Scheneiter, O. 1998. Producción de forraje de pasturas y cultivos forrajeros en el norte de la Provincia de Buenos Aires. Rev. Tecnol. Agropecuaria. 7:45.

Birch, C.J.; Hammer, G.L.; Rickert, K.G. 1999. Dry matter accumulation and distribution in five cultivars of maize (Zea mays): relationships and procedures for use in crop modeling. Aus. J. Agric. Res. 50:513-27.

Brueck, H. 2008. Effects of nitrogen supply on water use efficiency of higher plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science.171:210-219.

CACF. Cámara Argentina de Contratistas Forrajeros. 2020. Sección estadística de silaje en la Argentina (en línea). Consultado el 28 de junio 2020. Disponible en http://www.ensiladores.com.ar.

Camarasa, J.N.; Carta, H.; Barletta, P.; Richmond, P. 2014. Fertilización nitrogenada en maíz para ensilaje en dos localidades del centro norte de la provincia de Buenos Aires. En: XXVII Congreso de la Asociación Argentina de Producción Animal- RAPA. Vol. xy. Supl. 1.

Camarasa, J.; Pacente, E.; Mattera, J.; Bertin, O. 2016. Costos de implantación y mantenimiento de pasturas, verdeos de invierno y de cultivos para silaje.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino “Ing. Agr. Walter Kugler”.

Cárcova, J.; Abeledo, G.; López Pereira, M. 2010. Análisis de la generación de rendimiento: crecimiento, partición y componentes. En: Satorre, E.H.; Benech Arnold, R.L.; Slafer G.A.; de la Fuente, E.B; Miralles, D.J.; Otegui, M.E.; Savin, R. Producción de granos: bases funcionales para su manejo. 4 ed. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 75-95 p.

Cordone, G. y Martínez, F. 2000. El azufre en el sistema productivo agrícola del centro-sur de Santa Fé. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, 5: 12-14.

Carrete, J.R. y Ceconi, I. 2001. Maíces Bt: Producción y calidad de la planta entera y del silaje. Revista Argentina Producción Animal. 21 (Supl. 1):160-161.

Carta, H.G.; Ventimiglia, L.A.; Rillo, S.N. 2001. Respuesta del maíz al azufre. Resultados de 3 años de experiencia a campo. En: Experimentación en Campo de Productores. Resultados de Experiencias Campaña 2000/01, pp. 128-132. UEEA 9 de Julio, INTA.

Cattani, P. ; Bragachini, M. ; Peiretti, J. 2008. Forrajes conservados de alta calidad y aspectos relacionados al manejo nutricional: Silaje. INTA Precop Manual Técnico Nº 6. Manfredi, Córdoba. 148-150 p.

Cattani, P.; Sanchez, F.; Urrets Zavalía, G.; Gaggiotti, M. 2016. Silaje de maíz más energético: Cómo aumentar la rentabilidad mediante la disminución de los costos (en línea). Engormix. Consultado 5 mayo 2018. Disponible en www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/silaje-maiz-mas-energetico-t39066.htm

Ciampitti, I.A.; Boxler, M.; García, F. 2010. Nutrición de Maíz: Requerimientos y Absorción de Nutrientes. Informaciones agronómicas del Cono Sur N° 48. pp. 14-18.

Clemente, G. y Monge, J.L. 2008. Efecto de inoculantes bacterianos en las características de los silajes. Universidad Nacional de Villa María. Córdoba, Argentina.

Cox, W. J.; Kalongo, S.; Cherney, D. J. R.; Reid, W. S. 1993. Growth, yield, and quality of forage maize under different nitrogen management practices. Agron. J. 85: 341-347.

Cruzate, G.A. y Casas, R.R. 2017. Balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina en la campaña 2015/2016. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. 28 ed. Diciembre 2017. 14-23 pp.

Dalla Valle, D.E. ; Viviani Rossi, E. ; Andrade, F.H. ; Wade, M.H.1998. Contenido de grano y calidad de maíz para silaje. Revista Argentina Producción Animal. 18 (Supl. 1): 137-138.

Dardanelli, J.; Collino, D.; Otegui, M.E.; Sandras, V.O. 2010. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En Satorre, E.H.; Benech Arnold, R.L.; Slafer G.A.; de la Fuente, E.B; Miralles, D.J.; Otegui, M.E.; Savin, R. Producción de granos: bases funcionales para su manejo. 4 ed. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 377-440 p.

Díaz Valdés, T.; Partidas Ruvalcaba, L.; Suárez Fernández, Y.E.; Lizárraga Jiménez, R.; López López, Á. 2014. Uso eficiente del agua y producción óptima en maíz, con el uso de cuatro dosis de nitrógeno. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 23(1), 32-36. Recuperado en 29 de abril de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000100005&lng=es&tlng=es

Díaz-Zorita, M.; García, F.O. 2008. Fertilización de cultivos y pasturas: Fertilización del maíz. 2 ed. Buenos Aires, hemisferio sur. 211-225 p.

Di Marco, O. Aello, M. (2002). ¿Qué es y que se puede esperar del silaje de maíz en el engorde de vacunos? Unidad Integrada: Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) INTA, EEA. Balcarce. Consultado el 28 de junio de 2020. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar

Di Marco, O y Aello, M. 2006. Calidad nutritiva de la planta de maíz para silaje. (En línea). Consultado el 28 de junio 2020. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar

Di Marco, O. Aello, M. (2007). Calidad nutritiva de la planta de maíz para silaje Unidad Integrada Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) - E.E.A. Balcarce. Producir XXI, Bs. As., 15(185):36-43.

Di Marco, O. (2011). Estimación de calidad de los forrajes. Facultad de Ciencias Agrarias. Unidad Integrada Balcarce INTA Balcarce. Producir XXI, Bs. As., 20(240):24-30.

Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

Echeverría, H.E.; Sainz Rozas, H. 2006. En: H.E Echeverría y F.O. García (eds.). Fertilidad de los suelos y fertilización de los cultivos. INTA. Buenos Aires, Argentina. Maíz. 255-282 p.

Elizalde, J.C.; Rearte, D.H.; Santini, F.J. 1993. Utilización de silaje de maíz en vacas lecheras en pastoreo. Boletín técnico N° 117. INTA EEA Balcarce. 33 p.

Farré Codina, I. 1996. Maize (Zea mays L.) and sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) response to deficit irrigation: agronomy and modelling. Tesis. Doc. Lléida, ES, UdL. 63p.

Fernández Long, M.E.; Spescha, L.; Hurtado, R.; Murphy, G.M. 2011. Impact of the ENSO on corn yields in the Argentinean pampas region. Agriscientia XXVIII: 31-38

Ferrari, M.; Ostojic, J.; Ventimiglia, L.; Carta, H.; Ferraris, G.; Rillo, S.; Galetto, M. y Rimatori, F. 2000. Fertilización de maíz: Buscando una mayor eficiencia en el manejo de nitrógeno y fósforo. Actas Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales “Fertilidad 2000”. Rosario, 28 de Abril de 2000. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires.

Ferraris, G.; Gutierrez Boem, F.; Prystupa, P.; Salvagiotti, F.; Couretot, L. y Dignani, D. 2005. Fertilización azufrada en maíz en la pampa ondulada. En:

Actas VIII Congreso Nacional de Maíz, pp. 162-165. Rosario, Santa Fé, Noviembre 2005. AIANBA, Pergamino.

García, F.O. 1999. Fósforo y azufre en el cultivo de maíz. INPOFOS Cono Sur. Paper. 1999. 5 págs.

García, F.O. 2000. Criterios para el manejo y la fertilización del cultivo de maíz. Actas Jornadas de Actualización Técnica “Fertilidad 2000”, Rosario, Abril 2000. 21 p.

García, F.; Boxler, M.; Minteguiaga, J.; Pozzi, R.; Firpo, L.; Deza Marin, G.; Berardo, A. 2006. La red de nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fé. Resultados y conclusiones de los primeros seis años (2000-2005). AACREA, Buenos Aires. 32 p.

Giaveno, C.D.; Pilatti, M.A.; Marano, R.P. 2002. Riego suplementario en el centro de Santa Fé: maíz para silaje. I- Respuesta productiva en diferentes épocas de siembra. Revista FAVE - Ciencias Agrarias. 1(2): 15-23.

Goering, H.K.; Van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Agric. Handbook N. 379. ARS-USDA, Washington, DC.

González Montaner, J.; Di Napoli, M. 1997. Respuesta a P, cal, S, K y Zn del cultivo de maíz en el sur de la provincia de Santa Fé. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

Halvorson, A.D.; Nielsen, D.C.; Reule, C.A. 2004. Nitrogen fertilization and rotation effects on no-tillage dryland wheat production. Agronomy Journal.96:1196–1201.

Hatfield, J.L. y Prueger, J.H. 2004 Nitrogen Over-use, Under-use, and Efficiency. 4th International Crop Science Congress. Brisbane, Queensland, Australia. http://www.regional.org.au/au/asa/2004/plenary/2/140_hatfield.htm. (Marzo 2014).

Karlen, D.L.; Camp, C.R.; Zublena, J.P. 1985. Plant density, distribution, and fertilizer effects on yield and quality of irrigated corn silage. Common Soil Sci. Plant Anal. 16(1):55-70.

Lamm, F.R., Trooien T.P., Manges H.L. y H.D. Sunderman. 2001. Nitrogen fertilization for subsurface drip-irrigated corn. Trans. ASAE 44:533–542.

Maddonni, G.A.; Ruiz, R.A.; Vilariño, P.; García de Salamone, I. 2003. Fertilización en los cultivos para grano. En: Satorre EH; Benech Arnold RL; Slafer GA, et al. (Eds.), Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo. FAUBA. 499-557 p.

Marcenaro, L. 2018. Algo hay que hacer para tener mucho silaje, de calidad y seguro. Producir XXI. 26(318):1-2.

Mattera, J.; Camarassa, J.N.; Barletta, P.F.; Bertín, O.D.; Pacente, E. 2016. Fertilización nitrogenada en maíz para ensilaje. Rev. Tecnol Agropecuaria. 10 (31): 35-37.

Moran, J. Kaiser, A. Stockdale, C. (1990).The role of maize silage in milk production from grazing cattle in Australia. Outlook on agriculture. 19: 171-177.

Pedersen, J. 1996. Annual Forages: New Approaches for C-4 Forages. Progress in new crops. p. 246-251.

Peña Ramos, A.; González Castañeda, F.; Robles Escobedo, F. 2010. Agronomic Management to Increase Grain and Forage yield in Full Season Maize Hybrids. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, (1), p. 27-35.

Ritchie, S. W. y Hanway, Y. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Iowa Special Report Nº 48.

Romero, L. Aronna, S. (2004). Siembra de maíz para silaje. Proyecto regional de lechería. EEA INTA Rafaela. http://www.produccion-animal.com.ar

Romero, L.A. y Mattera, J. 2009. Silaje de maíz: efectos de la fertilización nitrogenada y el distanciamiento. [Resumen]. En: 32° Congreso Argentino de Producción Animal. 14 al 16 de octubre, Mendoza (AR). Asociación Argentina de Producción Animal (AAPA). Revista Argentina de Producción Animal 29 (1): 568-569.

Scheneiter, O. 2010. Análisis de la producción y calidad de maíz para silaje en el norte de la Provincia de Buenos Aires. www.ensiladores.com.ar/inta/Maizsilaje2010.pdf

Sheaffer, C.; Halgerson, J.; Jung, H. 2006. Hybrid and N Fertilization Affect Corn Silage Yield and Quality. Journal Of Agronomy And Crop Science, 192(4), 278-283.

Soto, P.; Arredondo, S.; John, E. 2002. Población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilaje en el valle central. Agric. Téc. Méx. 62:255-265.

Testi, M.V.; Percara, M.; Camarasa, J.; Acuña, M.; Cabrini, S.; Rossi, R. 2019. Relevamiento de prácicas de manejo de pasturas en la zona agrícola del norte de la provincia de Buenos Aires. Revista de tecnología agropecuaria. 10(40):42-46.

Torres Duggan M.; Álvarez C.R.; Rimski Korsakov H. 2016. Evaluación y monitoreo de suelos bajo riego complementario en la Región Pampeana. En: 5º Reunión Internacional de Riego: Uso eficiente del agua para riego, INTA Manfredi (Ed.). 13-39 p.

Totis de Zeljkovich, L.E. 2015. Requerimientos agroclimáticos del cultivo de maíz. En: Bases para el manejo del cultivo de maíz, INTA Pergamino (Ed.). 7-24 p.

Vilche, M.S.; Cardone, G.; Martínez, F.; Galarza, C.; Gudelj, V. y Bisaro, V. 2002. Parámetros que condicionan la respuesta de soja (Glycine max (L) Merr.) a la fertilización azufrada. En: Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 6 p. Puerto Madryn, Chubut, Abril 2002.vAACS, Buenos Aires (en CD).

8. Anexo

Anexo 1: Plano de la distribución de los tratamientos

N 50 s/r	Control N0 s/r	N 330 S 60 s/r	N 50 s/r	Control N0 s/r	N 330 S 60 s/r
12	11	10	9	8	7
	B IV			B III	

Control N0 s/r	N 330 S 60 s/r	N 50 s/r	N 330 S 60 s/r	Control N0 s/r	N 50 s/r
1	2	3	4	5	6
	B I			B II	

camino para riego

N 50 c/r	Control N0 c/r	N 330 S 60 c/r	N 50 c/r	Control N0 c/r	N 330 S 60 c/r
12	11	10	9	8	7
	B IV			B III	

Control N0 c/r	N 330 S 60 c/r	N 50 c/r	N 330 S 60 c/r	Control N0 c/r	N 50 c/r
1	2	3	4	5	6
	B I			B II	