

Trabajo final de carrera para optar el grado: Ingeniería Agronómica

“RESPUESTA AL NITRÓGENO Y MICRONUTRIENTES EN BASE A ZINC DEL CULTIVO DE MAÍZ BAJO RIEGO”

Alumno: Felix Pedro Uriarte

Director: Reinoso Lucio

Co-Director: Martínez Roberto Melchor

Fecha: 7/12/2018

UNRN Sede Atlántica



RESUMEN:

El maíz es el cultivo de mayor área sembrada y cosechada del mundo, el avance tecnológico sobre su genética fue el principal factor que condujo a este aumento en los últimos 30 años. El aumento de la oferta y variedad de insumos utilizados en su producción provocaron cambios profundos para alcanzar mayores beneficios.

El deterioro de los recursos naturales a causa de las actividades agrícolas y la demanda creciente de alimentos a nivel mundial, han motivado la búsqueda de nuevas alternativas que permitan un mayor rendimiento del grano con la ayuda de macro y micro nutrientes.

En la zona del Valle Inferior del Río Negro el maíz es el principal cultivo extensivo anual de verano. Por lo que resulta de gran importancia la investigación sobre este cultivo para identificar las mejores alternativas de manejo.

En este trabajo final de carrera se planteó que la aplicación de nitrógeno en combinación con micronutrientes en base a Zn mejorará diversos parámetros morfológicos y los componentes del rendimiento de Maíz, impactando positivamente en la producción final. Se evaluó el manejo integral de micronutrientes en base a Zinc, con el agregado de Nitrógeno en diversas dosis

Se realizó un ensayo de fertilización con distintas dosis de N en superficie a razón de 0, 100, 200 y 300 kg ha⁻¹. Paralelamente, mediante el diseño estadístico de parcelas divididas, a la mitad de los tratamientos con nitrógeno se los combinó con una aplicación foliar de micronutrientes en base a Zinc. El tratamiento con nitrógeno 0 y sin micronutrientes funcionó como testigo. De esta forma se obtuvieron 8 tratamientos con 3 repeticiones cada uno.

El conjunto de resultados alcanzados para los distintos parámetros estudiados indican que no existen diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento con agregado de micronutrientes, tanto para materia seca (MS) como en los componentes del rendimiento, este efecto se repite para las distintas dosis de nitrógeno al igual que en las interacciones micronutrientes/dosis de N.

Sí, en cambio, se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados con nitrógeno y el testigo. Las mayores diferencias se dieron en materia seca y en los componentes del rendimiento.

En el primer caso los resultados arrojaron un claro aumento de MS en R6, donde la planta ya finalizó su ciclo y expresó su mayor potencial. Aproximándose así a los 35.000 kg/ha en combinación con N300. Mientras que el testigo, apenas alcanzó los 16.000 kg/ha.

Analizando los componentes del rendimiento, el valor promedio del número de granos/m² fue de 2671. El máximo se alcanzó con la dosis más alta de fertilizante (N300) alcanzando los 3227 granos/m², mientras que el testigo (N0) alcanzó los 2133 granos/m².

En el caso del peso de los granos el promedio individual fue de 0.313 g. Cuando se estudió el peso de 1000 granos para cada tratamiento, se encontró que los más pesados contenían la máxima fertilización (N300), alcanzando 353 gramos, mientras los más livianos estaban en el testigo (N0) llegando a los 271 gramos.

Una vez analizados los componentes del rendimiento se pudo deducir que los tratamientos con N300 alcanzaron las máximas diferencias en comparación al testigo (N0), siendo el máximo rendimiento del ensayo 10.769 kg/ha. Superando en un 47% al testigo.

Con la información generada se podría facilitar la adecuada fertilización del cultivo para obtener valores más altos en los componentes del rendimiento, fundamentalmente el número de granos fijados por unidad de superficie y, en menor medida, del peso individual de los granos.

Palabras claves: maíz, Nitrógeno, urea, Micronutrientes, Zinc, Rendimientos, Número de granos.

Summary:

Maize is the crop with the largest area planted and harvested in the world; the technological advance over its genetics led to this increase in the last 30 years.

The supply and variety of inputs used in their production caused profound changes to achieve more significant benefits.

The deterioration of natural resources in agricultural activities and the growing demand worldwide have motivated the search for new alternatives that allow a higher yield of the grain with the help of macro and micronutrients.

In different areas of our country, in the search for more stable productive options, we applied to corn. In the Rio Negro, the Lower Valley area opted for corn as the main annual summer extensive crop. Therefore, independent research is of great importance to identify the best alternatives.

In this final work, the integral management of micronutrients based on Zinc was evaluated, with the addition of Nitrogen in different doses. It was proposed that the application of nitrogen in combination with micronutrients based on Zn will improve various morphological parameters and corn yield components, positively impacting the final production.

A fertilization test was carried out with different doses of N on the surface at a rate of 0, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹. In parallel, half of the treatments with nitrogen were combined with a foliar application of micronutrients based on zinc. Treatment with Nitrogen 0 and without micronutrients worked as a control. In this way, 8 treatments were obtained with 3 repetitions each.

The set of results achieved indicates that there are no significant differences between the control and the micronutrient treatment for any of the doses and no micronutrient / nitrogen dose interactions were found.

Where significant differences were found was between the treatments fertilized with nitrogen and the control. Those containing N300 reached the maximum differences compared to the control (N0), giving an increase of 47%. This same variable of N300 was also the one that recorded the maximum yields in the experiment, reaching 10,769 kg / ha.

The information generated could facilitate the adequate fertilization of the crop for a higher yield, determined mainly by the number of grains achieved per unit area sustained over time.

Keywords corn: nitrogen, urea, micronutrients, zinc, yields, number of grains

Dedicatoria:

A mis padres Irene y Osvaldo.

AGRADECIMIENTOS

Llegado a este momento, quiero agradecer a todas las personas e instituciones que hicieron posible el desarrollo y finalización de esta Tesis.

A mi director de Tesis, Lucio Reinoso, por sus consejos, el tiempo, paciencia, y compromiso dedicados a este trabajo.

Agradecerle al director de la carrera Mario Villegas por todo el esfuerzo que hace para que los alumnos de Agronomía puedan avanzar día a día en los estudios.

A la Universidad Nacional de Rio Negro y al INTA por proporcionar los medios y las condiciones necesarias para la realización de esta Tesis.

A mis compañeros y amigos de la universidad, y a las personas que trabajan en el Laboratorio de INTA por colaborar en las mediciones y en las determinaciones químicas.

El mayor agradecimiento para mi familia por su apoyo incondicional y por el ánimo que me dio y da a lo largo de la realización de este trabajo; a Natali por su paciencia y amor, y a mis padres y hermana por estar y seguir acompañándome en lo que elija.

Sin su desinteresado aporte y su valiosa colaboración no hubiese sido posible la realización del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| Introducción..... | 10 |
| Objetivo General..... | 17 |
| Objetivos específicos..... | 17 |
| Hipótesis..... | 17 |
| Materiales y métodos..... | 18 |
| Localización del sitio experimental..... | 18 |
| Caracterización ambiental..... | 19 |
| Diseño experimental..... | 22 |
| Preparación de la cama de siembra..... | 24 |
| Siembra..... | 24 |
| Riegos, Precipitaciones..... | 25 |
| Cultivo de Maíz..... | 26 |
| Utilización de herbicidas..... | 27 |
| Fertilización:..... | 28 |
| Solución de micronutrientes en base a zinc características:..... | 28 |
| Parámetros determinados en el cultivo..... | 29 |
| Fenología..... | 30 |
| Riegos y evapotranspiración..... | 31 |
| Materia seca aérea..... | 31 |
| Intercepción de radiación..... | 32 |
| Producción de grano y componentes del rendimiento (Peso de 1000 granos, Numero de granos por m ²)..... | 33 |
| Contenido de nitrógeno en grano..... | 34 |
| Contenido de zinc en planta..... | 35 |

| | |
|--|----|
| Análisis estadístico..... | 36 |
| Resultados y discusión..... | 37 |
| Fenología..... | 37 |
| Riegos, precipitaciones y evapotranspiración..... | 39 |
| Materia seca aérea..... | 41 |
| Intercepción de la radiación..... | 43 |
| Producción de grano y componentes del rendimiento..... | 47 |
| Contenido de Nitrógeno en grano..... | 51 |
| Contenido de zinc en planta..... | 54 |
| Conclusiones..... | 58 |
| Bibliografía..... | 60 |
| Y | |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura N° 1. Vista aérea de la localización del ensayo..... | 20 |
| Figura N°2. Temperaturas medias mensuales de la serie 1965-2008. EEA Valle Inferior (Reinoso, 2014)..... | 21 |
| Figura N°3. Temperaturas medias mensuales 2016-2017. Estación agrometeorológica de la EEAVI..... | 22 |
| Figura N°4. Precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo. Datos de la estación meteorológica EEAVI 2016-2017..... | 23 |

| | |
|---|----|
| Figura N°5. Conformación de bloques experimentales..... | 24 |
| Figura N°6. Sembradora del INTA Valle Inferior | 25 |
| Figura N°7. Riego superficial por surco..... | 27 |
| Figura N°8. Híbrido utilizado para el experimento..... | 28 |
| Figura N°9. Síntomas de deficiencia de zinc..... | 30 |
| Figura N°10. : Ceptómetro para la medición de la radiación fotosintéticamente activa..... | 33 |
| Figura N°11. Muestras del ensayo en R1 | 40 |
| Figura N°12. Curva de evapotranspiración durante el ciclo del cultivo..... | 42 |
| Figura N°13. Rendimientos de MS por hectárea del experimento con sus distintas variables. Expresados en Kg/Ha..... | 43 |
| Figura N°14. Porcentaje de radiación interceptado de acuerdo a distintas dosis de Nitrógeno..... | 45 |
| Figura N°15. Porcentaje de radiación interceptado tratamientos con y sin micronutrientes..... | 45 |
| Figura N°16. Porcentaje de radiación interceptado por los distintos tratamientos..... | 46 |
| Figura N°17. Producción de materia seca en función de la radiación | |

| | |
|--|----|
| interceptad..... | 47 |
| Figura N°18. Rendimiento en grano..... | 51 |
| Figura N°19. Relación entre el rendimiento y sus componentes..... | 52 |
| Figura N°20. Extracción de N en función de la dosis aplicada..... | 54 |
| Figura N°21. Concentración foliar de zinc..... | 55 |
| Figura N°22 Síntomas de deficiencia de Zinc, en V2..... | 56 |
| Figura N°23 Sin síntomas de deficiencia de zinc, en V3..... | 56 |
| Figura N°24. Interacción entre las variables..... | 58 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla N° 1. Números y fechas de riego..... | 26 |
| Tabla N° 2. Duración y tiempo térmico medios para todos los tratamientos durante el ciclo 2016/2017..... | 39 |
| Tabla N° 3. Riegos, precipitación registradas, y evapotranspiración de cultivo en milímetros (mm), para el ciclo del cultivo..... | 41 |
| Tabla N° 4. Componentes del rendimiento, numero de granos y peso de los granos..... | 49 |
| Tabla N° 5. Nitrógeno en grano..... | 53 |

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se produjo en Argentina un fuerte proceso de intensificación de la agricultura basada con la meta de un ciclo permanente. Creció el monocultivo de especies exigentes en nutrientes y los planteos mixtos, por la prolongación de los periodos agrícolas.

Este proceso fue acompañado por el aumento del uso de germoplasma de alto potencial de rendimiento, permitiendo la expansión de un paquete tecnológico acorde al uso intensivo de los suelos, caracterizado por el incremento del consumo de agroquímicos, uso de maquinarias de precisión, difusión del riego, entre otros, generando en su conjunto mayores niveles de rendimiento.

El aumento sustancial de la tasa de extracción, conjuntamente con un origen de escasa reposición de nutrientes generados por balances negativos del pasado contribuyen un proceso de degradación que pone en peligro la sustentabilidad de los suelos de amplias regiones del país (Vázquez, 2011).

A nivel mundial el maíz es el commodity agrícola que más se produce. Debido a sus cualidades alimenticias para la producción de proteína animal, el consumo humano y el uso industrial. Su relevancia económica y social es muy alta, generando fuente de empleo y alimento para un número importante de personas en el mundo (Panorama Agroalimentario, 2016). Todas estas características lo convierten en un punto importante en las negociaciones entre países y bloques del mundo, no solo como materia prima sino también la tecnología para la producción del cereal (Maizar, 2011).

La producción mundial anual es de 850 millones de toneladas en grano que se cultivan en una superficie de 162 millones de hectáreas, con una producción promedio de 5.2 t/ha. Los mayores productores son Estados Unidos y China que producen entre 37 y 21% de la totalidad mundial respectivamente. Los tres exportadores principales son Estados Unidos, Argentina y Brasil. (Yara, Producción Vegetal, 2011).

Se estima que la población mundial podría llegar a los 9.100 millones de habitantes para el año 2050 (ONU, 2005). Este crecimiento poblacional tendrá

como consecuencia un claro aumento en la demanda de alimentos, asociado a una necesaria mejora en la dieta, y biocombustibles por lo que es de esperar un significativo aumento en la demanda de cereales a nivel mundial (FAO, 2002). Para poder cubrir esa futura demanda será necesario ser más eficiente en la utilización los recursos limitados que brinda el ambiente (FAO, 2002). El agua es un recurso cada vez más escaso, por lo que se requiere de sistemas de cultivos con alta eficiencia (Reinoso, 2014). En Argentina la superficie bajo riego es actualmente de alrededor de 2.200.000 ha, la mitad en regiones áridas y semiáridas (Zappi, 2012). Como por ejemplo los valles andinos de Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja, Santiago del Estero, San Juan, Mendoza, Neuquén, Rio Negro, Chubut y sur de las provincias de La Pampa y Buenos Aires. Otro recurso indispensable, el suelo, que al aumentar la producción agrícola se debe acceder a tierras que ya están en uso, por lo que se deberá aumentar la eficiencia en la utilización de los recursos necesarios para obtener altos rendimientos.

El avance tecnológico sobre la genética del maíz, condujo a que sea el cultivo con mayor aumento de rendimiento en los últimos 30 años (Todo Agro, 2017). La oferta y variedad de los insumos utilizados en su producción, como agroquímicos, fertilizantes y maquinaria ayudaron en su expansión. En muchos sistemas de producción el agua y el nitrógeno son limitantes para el cultivo por lo que optimizar ambos aportara a la sostenibilidad de los mismos.

La provincia de Río Negro presenta en gran parte de su superficie condiciones agroecológicas aptas para el desarrollo de las actividades agropecuarias en general, dentro de las cuales se destacan la ganadería intensiva, la horticultura, los cereales y los cultivos forrajeros. La implementación de sistemas de riego artificiales, permitieron la sistematización de grandes superficies que se denominaron valles. Bajo esta descripción se definen el Alto Valle del río Negro que incluye ciudades como Cipolletti y General Roca, el Valle Medio con Choele Choel como cabecera y el Valle Inferior, que como ciudad de referencia tiene a

Viedma, capital de la provincia, y otras localidades menos pobladas como San Javier y Guardia Mitre, que pertenecen al mismo ejido (Miñon, 2003).

El Valle Inferior es un espacio que por sus características constituye una unidad económica productiva, compuesta por diferentes elementos de orden físico y natural, producto de la acción humana. Un territorio apropiado y construido por la sociedad en el cruce de lógicas políticas ambientales, económicas y culturales, remontado a una estrategia de comienzos de la década del sesenta. (Fabregat, 2010).

El Programa de Desarrollo Integral del Valle Inferior del río Negro planificó su base económica en la producción agroganadera intensiva bajo riego. Así fue que se comenzaron a producir unas 20 mil hectáreas de tierras. Tanto la definición de la estructura fundiaria como las tecnologías de producción aplicadas permiten encuadrar al programa en lo que se denomina genéricamente como “economías regionales” (Miñon, 2003).

El cultivo de maíz bajo riego es una de las producciones estivales de mayor importancia en los valles de la Norpatagonia. El principal destino es la producción de grano y otra gran parte como insumo para la alimentación animal directa como silo o para la elaboración de alimentos balanceados.

Actualmente la superficie implantada de maíz en la colonia llegó a las 1.900 hectáreas, un crecimiento importante que está relacionado a su destino de engorde para el ganado, dada la consolidación de esta actividad en la región (Castro, 2019).

El maíz en esta zona se ve beneficiado por las condiciones favorables para la producción bajo riego, pudiéndose obtener altos rendimientos productivos mediante el manejo adecuado de aspectos básicos del cultivo. Diversos factores, hacen que no se observe en grandes extensiones de altos rendimientos (Martinez *et al.*, 2012). Se ha observado un marcado incremento en el interés por integrarlo a las secuencias agrícolas, frente a esto, las particularidades edafo-climáticas de la región, sugieren analizar toda la tecnología disponible en este cultivo. (Reinoso *et al.*, 2018).

Desde el punto de vista térmico, si bien los días cálidos no se extienden mucho más allá de principios del otoño, el verano presenta temperaturas máximas no excesivas acordes para un adecuado crecimiento que se prolongan en forma moderada más allá de la iniciación del otoño (FAO, 1969). Esto ayuda a que los procesos de crecimiento se prolonguen, posibilitando al cultivo disponer de más días de fotosíntesis durante el ciclo. Esto sumado a la preparación del terreno, identificación de la fecha de siembra, la fertilización, el control de plagas, de malezas y de enfermedades, el riego y la cosecha; son claves para para obtener altos rendimientos

La elección de la fecha de siembra es una de las prácticas agronómicas de mayor importancia en la determinación del rendimiento de los cultivos, sobre todo en latitudes altas como las de la norpatagonia.

Las consecuencias de la modificación del momento de implantación del cultivo sobre su crecimiento resultan de la incidencia de la temperatura, la radiación y el fotoperíodo sobre su fenología, el desarrollo del área foliar y la acumulación de materia seca.

En condiciones no limitantes de crecimiento, la estrategia de producción que maximiza el rendimiento en grano consiste en seleccionar la fecha de siembra que permita maximizar la acumulación de radiación incidente durante el período crítico (alrededor de floración), lo que generalmente se logra en siembras tempranas.

La fecha de siembra resulta un factor de suma importancia, ya que su elección puede definir importantes diferencias en el rendimiento final y, a diferencia de muchas otras (híbrido, fertilización, control de malezas, etc.), no implica un cambio en los costos de producción.

Según experiencias realizadas en la década pasada en la región, desde el punto de vista de alcanzar un rendimiento potencial, la fecha de siembra óptima para un híbrido de ciclo largo resulta ser la a partir de mediados de octubre (Margiotta 2008). Implantando el maíz en ese momento, las temperaturas del suelo ya son suficientes para la emergencia de la semilla y en cuanto la planta emerge, tiene muchas posibilidades de escapar a las heladas tardías que a fines de octubre todavía la pueden afectar. Al encontrarse el punto de crecimiento por debajo de la

superficie del suelo, una helada o granizo pueden destruir la superficie foliar expuesta, pero probablemente no matar a la planta y rebrotar con un número final de hojas menor.

Posteriormente, el cultivo cumple las etapas en un período donde las temperaturas aumentan lentamente (noviembre-diciembre) favoreciendo la definición de un mayor número de futuros granos, en la etapa previa a floración.

Cuando la siembra se retrasa, las mayores temperaturas que experimenta el cultivo durante sus etapas iniciales de crecimiento provocan la aceleración de su desarrollo fenológico, acortándose el período entre la siembra y la floración. El retraso de la siembra de maíz también expone a la planta a fotoperíodos más largos durante su etapa fotosensible (de cuatro a ocho días previos a la inducción de su ápice). Si bien los días largos demoran la inducción del ápice, la iniciación de la panoja se anticipa en siembras tardías debido al efecto térmico prevaleciente que acelera el desarrollo (Cirilo 2001). Las siembras tardías generan altas tasas de crecimiento del cultivo durante la etapa vegetativa, pero bajas en el período reproductivo posterior a la floración. Por lo tanto, las siembras tardías favorecen el crecimiento vegetativo mientras que las siembras tempranas favorecen el crecimiento reproductivo. Cuando se demora la siembra los niveles de radiación solar incidente durante la etapa posterior a la floración decaen progresivamente al avanzar la estación, la cual se acentúa en latitudes altas como las de la norptagonia, reduciendo la producción de biomasa y el índice de cosecha. Así mismo existe la posibilidad de que las heladas tempranas corten el ciclo de llenado de granos y problemas de secado a campo (Reinoso, 2018).

La disponibilidad de agua es muy importante, cuando la incidencia de lluvias durante su período de desarrollo es muy baja, queda sujeto al suministro mediante el riego. El período más crítico dentro del cual un déficit afecta en forma muy marcada el rendimiento es alrededor de la floración (15 días antes a 20 días después), que de acuerdo con fecha de siembra y ciclo se encuentra frecuentemente en enero, justamente cuando hay una mayor demanda atmosférica (Reinoso, 2014). En INTA Valle Inferior se realizaron una serie de ensayos comparativos, cultivados sin limitaciones hídrico nutricionales y alta

densidad los cuales se acercaron a los potenciales del cultivo para la zona, se destacan datos puntuales de rendimiento en el orden de magnitud de los 20000 kg.ha⁻¹ (Margiotta. *et al.*, 2008 y 2009, Reinoso *et al.*, 2009).

Otro punto importante para la producción del grano es la disponibilidad de micronutrientes, factor limitante (Maddonni, *et al.*, 2001). Son esenciales para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas (BR Global, 2015). Los considerados esenciales son el Zn, Cu, Fe, Mn, B y Mo. Algunos incluyen al Ni, Co aunque no esté demostrada su universalidad. Aquellos como el Cr, Va, Si, F, I, que son de importancia para algunos cultivos solamente, no pueden recibir el adjetivo de esenciales hasta que no se demuestre que lo son para todos los cultivos (Ratto, 2014).

Dentro de esta investigación se utilizaron micronutrientes a base de Zinc (Zn) el cual es considerado uno de los elementos esenciales. Su función principal es la de activador enzimático, catalizando innumerables reacciones en procesos metabólicos como la respiración, la síntesis de clorofila y proteínas. Además es precursor del triptófano y el ácido indol acético (Fancelli, 2006). La deficiencia se asocia con la presencia de suelos arenosos de baja CIC, primaveras frías, suelos con pH levemente alcalino y dosis elevadas de fertilizante fosforado en la línea de siembra, al presentar un antagonismo a nivel de superficie radicular con este elemento (Scheid López, 2006). Su sintomatología se caracteriza por la aparición de bandas longitudinales blanquecinas. En casos severos, pueden aparecer plantas pequeñas, entrenudos cortos y agrupamiento de hojas formando una roseta en la porción terminal (Fancelli, 2006). El cultivo de maíz presenta requerimientos totales de Zn que casi duplican al de los restantes cultivos, siendo la especie que ha mostrado respuestas positivas a su agregado con mayor frecuencia. De este modo, el Zn en el área de estudio se ubica como el quinto elemento en importancia para la nutrición del maíz, luego del N, P, K y S. El suministro inadecuado del mismo puede afectar funciones fisiológicas alterando el crecimiento severamente considerando al maíz como una especie altamente afectada por su deficiencia (Selva, 2011).

El Nitrógeno (N) es el nutriente de mayor demanda y el más limitante para este cultivo participando principalmente en la síntesis de proteínas a través de la conformación de los aminoácidos, vital para toda la actividad metabólica de la planta. Su deficiencia provoca reducciones severas en el crecimiento del cultivo, generando una reducción en la tasa de crecimiento y expansión foliar, disminuyendo la captación de radiación fotosintéticamente activa (Torres Duggan, 2002). Las deficiencias de nitrógeno se evidencian por clorosis (amarillamiento) de las hojas más viejas.

El maíz requiere alrededor de 20-25 kg/ha de N por cada tonelada de grano producida.

La principal fuente de N es la materia orgánica del suelo, generada de la descomposición de materiales orgánicos complejos tales como proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos y nucleótidos. Son degradados a compuestos simples por organismos que habitan el suelo, principalmente bacterias y hongos. Estos microorganismos metabolizan compuestos y liberan el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco o ión amonio, que por oxidación es transformado en nitrito y luego en nitrato. Tanto el amonio como los nitratos pueden ser absorbidos o asimilados por las plantas (Andrade *et al.*, 1996, tomado de Andrade y Anderson, 1986). La acumulación de nitrógeno por la planta de maíz, alcanza tasas elevadas sostenidas de alrededor de 3,7 Kg/ha/día a partir de los 25 días desde la emergencia (Andrade, 2000). Una buena disponibilidad nutricional, especialmente desde momentos en que los nutrientes son requeridos en elevadas cantidades, asegura alcanzar rápidamente y mantener la cobertura total del suelo y una alta tasa de fotosíntesis. Esto garantiza un óptimo estado fisiológico del cultivo en la floración, momento decisivo para la determinación del rendimiento.

Algunos antecedentes evidencian que existe respuesta significativa del cultivo al agregado de nitrógeno, a dosis crecientes entre 70 y 210 kg N ha⁻¹. Por citar un ejemplo, un ensayo utilizando urea como fuente, en parcelas de un productor de San Javier, dentro del Valle Inferior de Rio Negro, bajo riego gravitacional en la campaña 2011/2012, muestra en 10 híbridos un rendimiento promedio de 15.000

kg ha⁻¹, con el agregado de 138 kg de N ha⁻¹ y de 7.000 kg por ha⁻¹, sin el agregado de esta (Martínez *et al.*, 2012).

El aporte de nitrógeno al suelo mediante la fertilización, tiene que ser suficiente para no limitar la producción y al mismo tiempo, no ser excesivo para no aumentar las posibilidades de contaminación de las aguas subterráneas. Esto es más relevante, en aquellos lugares en los que se cuenta con un sistema de riego gravitacional como es el caso del IDEVI. En este sistema, en cada riego se aplica el agua necesaria para llevar al suelo a capacidad de campo (CC) y luego de un determinado intervalo de tiempo, se realiza una nueva aplicación llevando nuevamente el suelo a CC, aunque no hay un control preciso de la cantidad de agua aplicada. Frecuentemente, los productores riegan antes de que se halla consumido en 60 % de agua útil para las plantas, llegando los excedentes a las aguas subterráneas o en el caso del VIRN, al sistema de drenaje disminuyendo la eficiencia de aplicación y aumentando el riesgo de contaminación con nitratos de las aguas del río que son de consumo humano (Martínez *et al.*, 2012).

Los elevados requerimientos de Nitrógeno que tiene el cultivo del maíz, hacen necesarios un adecuado diagnóstico de su disponibilidad en el suelo. La decisión de la cantidad y momento de aplicación del fertilizante, debe apuntar a la mayor eficiencia (kg. de grano producido por unidad de nutriente aplicado) y mayor beneficio económico.

Si bien existen varios trabajos sobre fertilización con nitrógeno y fosforo en maíz bajo riego en la norpatagonia, no existen antecedentes en lo que respecta a su combinación con micronutrientes como el Zn, en una zona donde los suelos son alcalinos y existe la posibilidad de deficiencias. A modo de ejemplo podemos observar en la Figura 9 los síntomas de deficiencia de zinc en el maíz en el valle inferior del río negro.

Es por ello que, en planteos intensivos de producción de maíz con altos niveles de fertilización con nitrógeno y bajo riego gravitacional, niveles frecuentemente subóptimos de Zn en el suelo, podrían limitar la expresión del rendimiento de los híbridos de maíz de alto potencial, y determinar aumentos de la producción, por el agregado de esos micronutrientes.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la respuesta de N y micronutrientes en base a Zn en el cultivo de maíz irrigado, bajo diferentes combinaciones de dosis de aplicación en ambientes de alto potencial de rendimiento de la norpatagonia.

Objetivos específicos

- Evaluar los componentes del rendimiento frente a distintas dosis de nitrógeno y micronutrientes para las condiciones del Valle Inferior del Rio Negro.
- Determinar un rango de dosis de Nitrógeno y micronutrientes, para la producción de maíz de alto rendimiento en la zona del Valle Inferior del Rio Negro.

HIPÓTESIS

La aplicación de nitrógeno en combinación con micronutrientes en base a Zn mejora diversos parámetros morfológicos y los componentes del rendimiento de Maíz, impactando positivamente en la producción final de granos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

El ensayo se realizó en el Valle Inferior (VIRN), ubicado sobre la margen sur del Río Negro, en el SE de la provincia de Río Negro (Argentina) y abarca desde el paraje conocido como Primera Angostura, cercano a la localidad de Guardia Mitre, hasta la desembocadura en el Océano Atlántico, con una longitud de 100 km y un ancho medio de 8 km, logrando así una extensión de 80.000 hectáreas. Se encuentra a 40° 48' de latitud Sur y 63° 05' de longitud Oeste. Está delimitado por dos mesetas, cuchillas Norte y Sur, de 25 a 35 metros de altura. En esta zona se crea un microclima particular para la región.

En este lugar, próximo a la ciudad de Viedma, es donde se desarrolla una zona agrícola bajo riego, localizada en el proyecto del Instituto de Desarrollo del Valle Inferior (IDEVI), que corresponde a un área hasta el momento de unas 22.000 ha sistematizadas para el riego superficial.

El ensayo se realizó durante el ciclo agrícola 2016/17 en un lote de la parcela A1 de IDEVI, situada sobre la ruta nacional N° 3 en el kilómetro 978. Dicha parcela está ubicada en las siguientes coordenadas geográficas: latitud: 40° 47' S; longitud: 63° 09' O; y altitud: 8 m sobre el nivel del mar (Figura N°1).

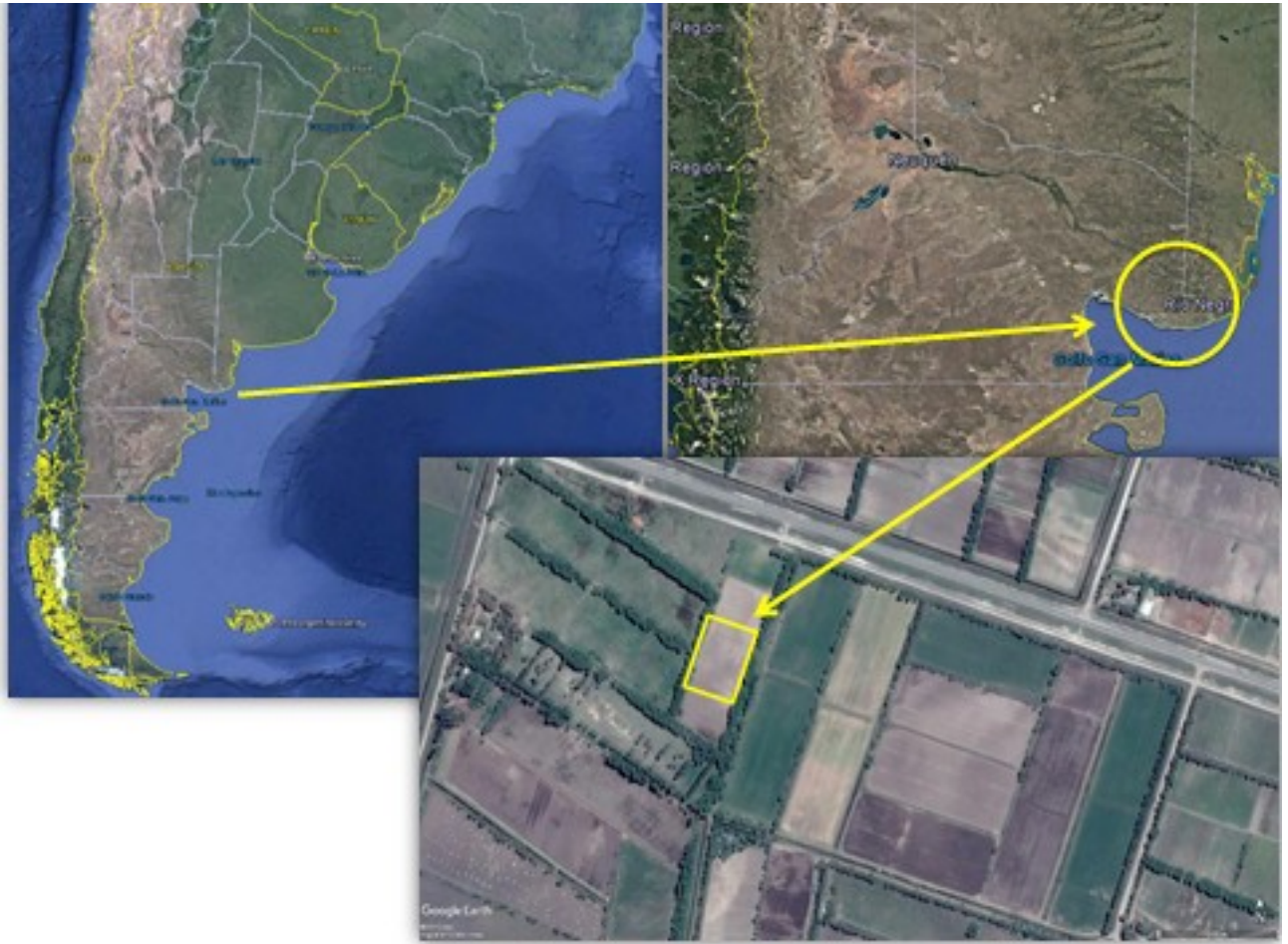


Figura N°1: Vista aérea de la localización del ensayo.

Caracterización ambiental

Las temperaturas en el valle son apropiadas para el desarrollo de una amplia gama de cultivos. Pero debe tenerse en cuenta su comportamiento y variación para lograr una producción exitosa. El Valle de Viedma tiene una temperatura media anual de 14,1 °C, y un período libre de heladas de 199 días en abrigo meteorológico a 1,5 m del suelo.(Martín, 2009). Con fecha media de primera helada correspondiente al 1° de mayo, y la fecha media de la última al 13 de octubre.

Según los registros de la estación agrometeorológica de la EEAVI muestran para IDEVI la temperatura máxima media anual es de 20,9 °C, registrándose en los meses de enero, febrero y diciembre las temperaturas medias máximas más

elevadas. La temperatura mínima media anual es de 7,9 °C, ubicándose en los meses de junio, julio y agosto los valores menores del año (Figura N°2).

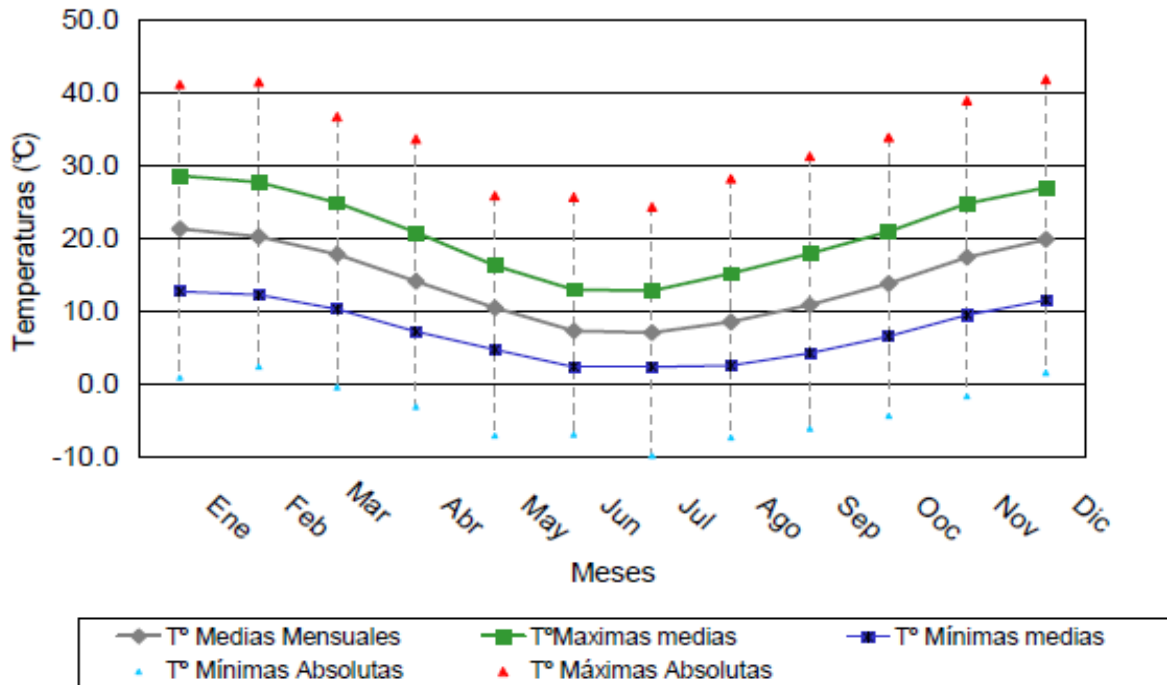


Figura N°2: Temperaturas medias mensuales de la serie 1965-2008. EEA Valle Inferior (Reinoso, 2014).

Debido al efecto moderador del océano Atlántico, la duración de los procesos de crecimiento se prolongan más allá de la iniciación del otoño. Esto permite disponer al cultivo de más días de fotosíntesis en el ciclo, pudiéndose alcanzar, gracias a esta combinación de factores, altos rendimientos para el cultivo de maíz en los valles norpatagónicos (Reinoso, 2014).

En la figura 3 se presentan las temperaturas medias para el ciclo 2016 / 2017 en base a los datos brindados por la estación agrometeorológica de la EEAVI. Se puede observar como las temperaturas mínimas, medias y máximas, las cuales van aumentando de noviembre hasta enero con temperaturas máximas no excesivas. Se presentan una media de diez días con temperaturas supra-óptimas (máximas por sobre 35°C) que podrían afectar el rendimiento en todo el ciclo

(Reinoso *et al.*, 2018). Por el contrario, en la zona núcleo maicera Argentina la probabilidad de ocurrencia de temperaturas superiores a 35 °C es 2 a 3 días de cada 10 para diciembre, enero y febrero, totalizando entre 25 y 30 en el ciclo. (Rattalino y Otegui, 2013).

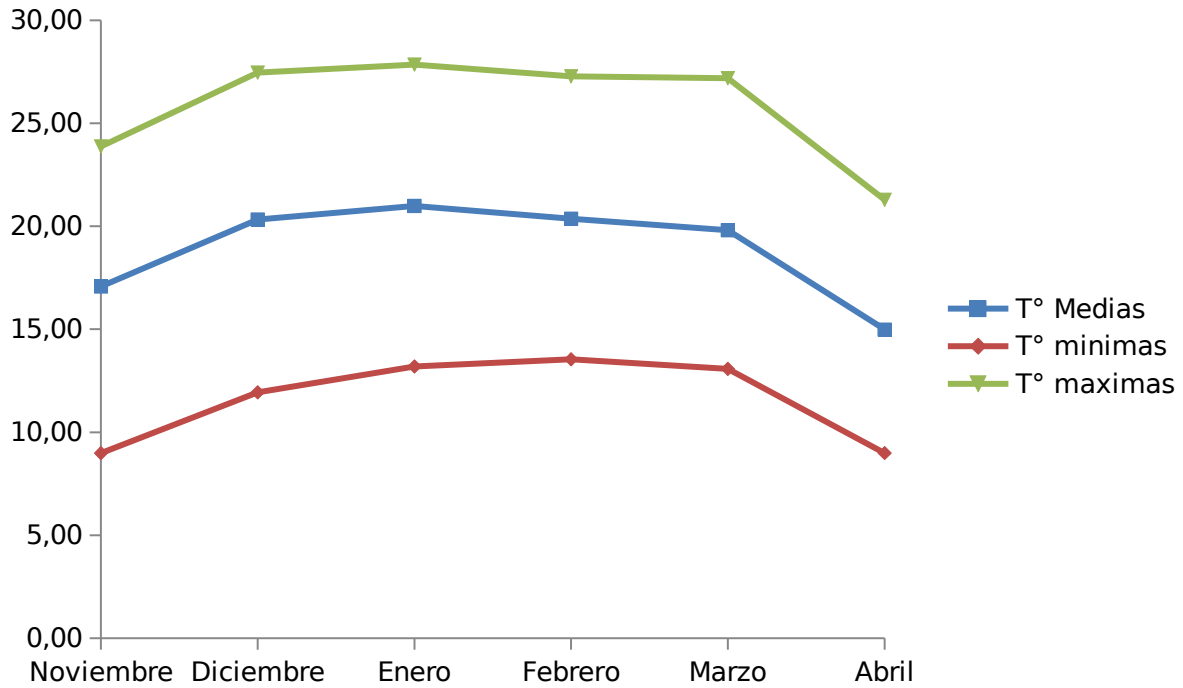


Figura N° 3: Temperaturas medias mensuales 2016-2017. Estación agrometeorológica de la EEAVI

Según los registros de la EEAVI, la precipitación media anual es de 408 mm, con variaciones interanuales entre 196 mm y de 697 mm.

Estacionalmente el régimen de precipitaciones es primavero-estival, concentrándose el 65 % de las lluvias. Sin embargo, la distribución no es homogénea, ya que en los meses de diciembre y enero no superan los 65 mm.

Cabe aclarar que en la temporada 2016/2017 hubo considerables precipitaciones. En la estación experimental del Valle Inferior del Rio Negro se registraron 177 mm entre el 1 de noviembre y el 30 de abril, por lo que se efectuaron solo 6 riegos en todo el ciclo del cultivo.

En la Figura N° 4 se puede observar las altas precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo, alcanzando sus puntos máximos durante enero, febrero y abril.

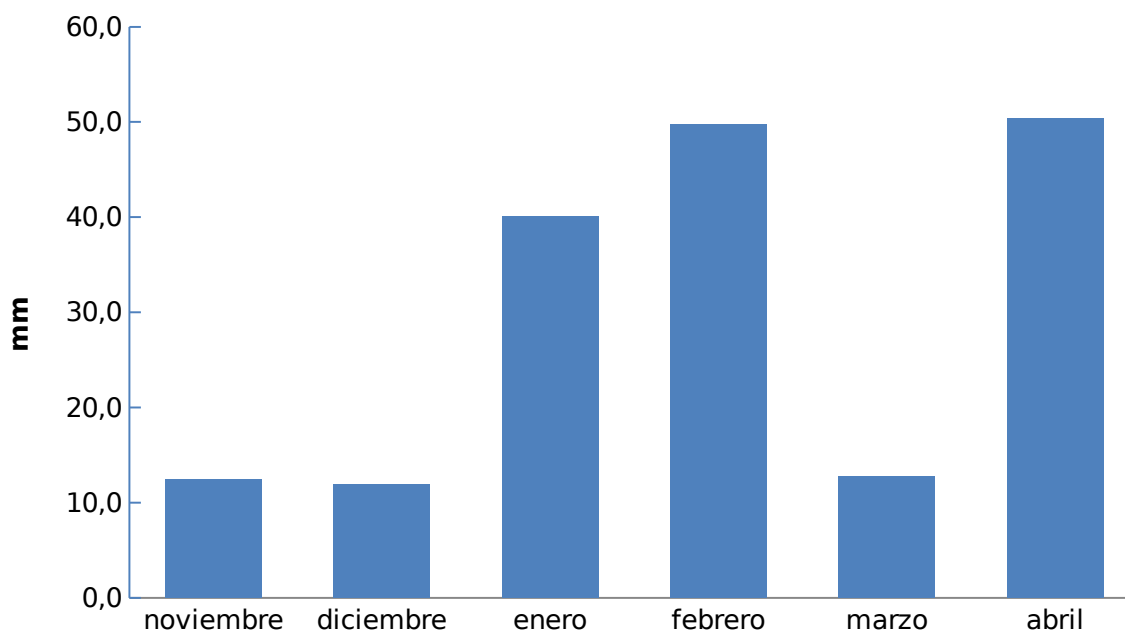


Figura N° 4: Precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo. Datos de la estación meteorológica EEAVI 2016-2017

Diseño experimental

Este experimento se llevó a cabo con un diseño factorial en bloques completos al azar con dos factores; Nitrógeno (Factor 1) y Zinc más micronutrientes (Factor 2). Se analizó la respuesta en forma de rendimiento relativos (RR) calculados como $(R \text{ fertilizado} / R \text{ testigo} \times 100)$ y se testeó la interacción entre factores. Una vez establecido el cultivo, se utilizaron 520 m² para llevar a cabo el experimento, este espacio se dividió en 24 bloques iguales de 5 m por 8 surcos donde se implantó el maíz en un marco de 0,17 x 0,70 m, representando una densidad de 85.000 pl/ha, acorde a lo recomendado para esta zona (Reinoso, 2014).

En los bloques antes mencionados se confeccionó un ensayo de fertilización con distintas dosis de N en superficie aplicados por medio del fertilizante urea (46–0–0) a razón de 0, 100, 200 y 300 kg ha⁻¹ en el estado de tres hojas verdaderas (V3). Paralelamente, cada tratamiento con Nitrógeno se combinó con una aplicación foliar de micronutrientes en base a Zinc, en el estado de tres hojas verdaderas (V3). El tratamiento con Nitrógeno 0 y sin micronutrientes funcionó como testigo. De esta forma se obtuvieron 8 tratamientos con 3 repeticiones cada uno.



Figura N° 5: Conformación de bloques experimentales.

Características edáficas

El experimento se llevó a cabo en un suelo de textura Franco arcilloso arenosa, con un contenido de materia orgánica de 3.31 %, fósforo extractable (P Olsen) 16 ppm, conductividad eléctrica (CE) 1.17 dSm/m, contenido de Zinc 0,35 ppm y pH 7.6. El mismo había sido nivelado un año antes de realizar el trabajo para la siembra de girasol (*Helianthus annuus*). Previo al cultivo de girasol el lote se utilizó con agropiro (*Agropyron*) durante 6 años.

Preparación de la cama de siembra

La cama de siembra se preparó mediante tres pasadas de rastra y dos de cincel, de modo que se alcanzó una profundidad de aproximadamente 0,25 cm, lo cual es importante para facilitar el posterior desarrollo radicular del cultivo. Luego se conformaron los surcos, espaciados a 0,7 m entre sí, para poder depositar la semilla.

Siembra

La siembra se realizó el 11 de noviembre de 2016. Esta labor se llevó a cabo con una sembradora del INTA Valle Inferior. Esta máquina cuenta con tres aporcadores los cuales conforman dos surcos, y va montada sobre el sistema de tres puntos del tractor, lo que le da una fácil maniobrabilidad y demanda poca potencia. Dicha sembradora puede conformar el surco y sembrar a la vez, o hacer las labores por separado, como se realizó en este experimento.



Figura N° 6: Sembradora del INTA Valle Inferior

Riegos - Precipitaciones.

Luego de la siembra se realizó el primer riego, el día 17 de noviembre. Mientras que el resto de los riegos se fueron repartiendo a lo largo del ciclo del maíz como se indica en la tabla 1:

| Riegos | Fecha |
|---------------|-----------------|
| 1 | 17-11-14 |
| 2 | 2-12-14 |
| 3 | 23-12-14 |
| 4 | 21-1-15 |
| 5 | 19-2-15 |
| 6 | 18-3-15 |

Tabla N°1: Números y fechas de riego

Los riegos realizados fueron por surcos, este sistema es una variante del método de riego por superficie, también se lo llama riego por gravedad, en el cual el agua se ubica en la cabecera de los surcos y por gravedad avanza hasta el extremo más bajo. La mayor infiltración de agua, con bajas pendientes como la utilizada en este ensayos (4‰), se da en la cabecera del lote ya que esta parte mantiene más tiempo el agua en la superficie.

Con este método el agua se aplica durante la fase de avance, cortando el suministro un poco antes de que llegue al final del surco.

La adecuación del terreno, las nivelaciones de mantenimiento, el aporque de las plantas, la programación por balance hídrico, la medición del agua y las aplicaciones controladas son condiciones necesarias para mejorar la eficiencia de la labor y disminuir los costos.

En la Figura N° 7 se puede observar una foto del segundo riego que se le realizó al cultivo, el 2 de diciembre.



Figura N° 7: Riego superficial por surcos.

Cultivo de Maíz

El híbrido con el que se trabajó fue el KM 3800 de KWS, escogiéndose dicho material por contar con una gran estabilidad de rendimiento en la zona y ser resistente al glifosato, lo que facilita el control de malezas sobre todo las gramíneas como pasto de agua (*Echinochloa crus galli*) y perenes como el cebollín (*Cyperus rotundus*). El KM 3800 es de ciclo intermedio y tiene una muy buena performance sanitaria frente a Roya, Tizón, Mal de Río Cuarto y posee protección contra lepidópteros (Reinoso, 2016). En la actualidad es uno de los híbridos más utilizados en la zona ya que se adapta muy bien a las condiciones agroclimáticas del IDEVI, pudiendo alcanzar 15.000 kg/ha (Agustin Pannis *com. per.*).



Figura N° 8: Híbrido utilizado para el experimento

Control de malezas

El control de malezas se llevó a cabo en V4 (Ritchie and Hanway, 1993) con glifosato 74.7% DG (Round up Ultra MAX® , Monsanto), a razón de 2 kg ha⁻¹. Las principales malezas que se controlaron fueron pasto de agua (*Echinochloa crus-galli*), quiona (*chenopodium album L.*) mostacilla (*Rapistrum rugosum*) y corregüela (*Convolvulus arvensis L.*). Este herbicida que tiene como principio activo al glifosato es una sal isopropilamina de N- (fosfometil) glicina, con un peso molecular de 228,18 g/mol, el cual es un herbicida no selectivo, sistémico de acción foliar, es decir, que ingresa a la planta a través de las hojas para después migrar a otras partes del tejido vegetal donde será mínimamente metabolizado.

Fertilización:

El fertilizante nitrogenado escogido para realizar este experimento fue la urea, la cual contiene 46 % Nitrógeno, su composición es 46-0-0, siendo la fuente más utilizada por los productores en la zona. En este experimento la urea se aplicó de forma manual y al voleo, según la característica de la parcela que se iba a fertilizar y luego se realizó un riego para incorporarlo.

Solución de micronutrientes en base a zinc características:

Para llevar a cabo este experimento se utilizó un abono foliar líquido de alta concentración (XILONEN ZINC del laboratorio Quimeco). Es totalmente soluble en agua y contiene Zinc, Azufre y Nitrógeno, combinados para conseguir la mayor eficiencia en la corrección de carencias específicas. Puede ser aplicado por aspersión o añadiéndolo al agua de riego. Este abono aporta además de nutrientes esenciales como los ya nombrados, una extensa combinación de micronutrientes, proporcionando a las plantas una mayor resistencia, sanidad y vigor.

Por su fitocompatibilidad, resulta especialmente adecuado para su uso en cultivos extensivos, hortalizas, todo tipo de frutales y plantas ornamentales

Composición: porcentaje en peso de los elementos

- Nitrógeno (N): 10,50%
- Azufre (SO): 3,60%
- Zinc (Zn): 6,40%



Figura N°9: Síntomas de deficiencia de zinc en el maíz en el estado de V2.

PARÁMETROS DETERMINADOS EN EL CULTIVO

Se caracterizó el efecto de las combinaciones de dosis de aplicación, a través de diversos parámetros morfológicos: materia seca aérea, cobertura del cultivo, fecha de floración, número y peso de los granos. Finalizado el ciclo del cultivo, se calculó el rendimiento obtenido, la producción de materia seca (MS), el peso de 1000 y el número de granos y también se obtuvo el contenido de Nitrógeno en planta y en el suelo para realizar un balance de fertilización en base a la metodología propuesta por Huggins y Pan (1993). Además se compararon los resultados obtenidos con los encontrados en bibliografía utilizada como referencia.

Fenología

Fenológicamente se utilizaron las distintas etapas del ciclo de desarrollo, estas se determinaron siguiendo la escala de Ritchie et al. (1982). Para la separación de las distintas fases del ciclo se consideró que el cultivo alcanzaba un estadio cuando el 50 % de las plantas se encontraban en determinada fase.

Se utilizó el TT (tiempo térmico) acumulado en base a un cero de vegetación de 8° C y el número de días transcurridos desde la emergencia, con el fin de utilizarlos como referencia para fijar las fechas de las distintas fases fenológicas. La temperatura base de crecimiento utilizada fue de 8° C ya que el material vegetal es originario de regiones templadas.

El cálculo de TT se efectuó con la siguiente expresión:

$$TT = \sum n (T_{med} - T_b)$$

Donde

TT= tiempo térmico expresado en ° C;

Tmed, temperatura media del aire expresada en °C.

Tb temperatura base de desarrollo, expresada en °C.

n: número de días considerados en la sumatoria (Σ).

Las fases observadas fueron las siguientes: emergencia (E); seis hojas (V6); floración (R1); madurez fisiológica del grano (R6).

Riegos y Evapotranspiración

El tipo de riego empleado es gravitacional y se contabilizaron el total de los riegos efectuados, tomándose registro de la fecha en la cual se realizó cada uno y paralelamente se tomaron los registros de precipitaciones a lo largo del ciclo del cultivo, de manera de tener el total de agua recibida por el cultivo. .

Los datos necesarios para la obtención de la evapotranspiración de referencia, fueron brindados por la estación meteorológica de la EEAVI, ubicada próxima al ensayo. Los valores se calcularon según la ecuación de FAO-Penman-Monteith (Allen et al., 1998), para la evapotranspiración de referencia diaria (mm.día-1). Para la determinación de la evapotranspiración de cultivo (ETc) se siguió la metodología empleada por Fao N° 56; en la cual, los efectos de las características que distinguen al cultivo del pasto de referencia están incorporados en el coeficiente del cultivo (Kc). En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando ETo por Kc. Finalmente los valores de Kc inicial, de desarrollo, medio y final fueron obtenidos de los resultados locales encontrados por Torretta (2017) para el cultivo de maíz.

Intercepción de radiación

La medición de la intercepción de radiación solar por parte del cultivo se realizó con un ceptómetro de la estación experimental del valle inferior (Figura 10), el cual registró los valores de radiación fotosintéticamente activa (RFA), integrando el flujo de fotones recibidos en un metro lineal.

Se realizaron 2 mediciones en las distintas dosis de nitrógeno en cada tratamiento con y sin micronutrientes, la primera medición fue previa a la floración, 76 días desde que emergió el maíz, y la segunda fue después de la floración, a los 90 días. La barra se ubicó desde el centro de un entresurco hasta el centro del entresurco contiguo durante el mediodía solar, en días soleados, de acuerdo a la metodología propuesta por Gallo y Daughtry (1986). El porcentaje de RFA interceptada (RFAi) por el cultivo se calculó de acuerdo a la ecuación:

$$RFAi = [1 - (I_t I_0^{-1})] \times 100$$

Donde, I_t es la RFA medida entre el suelo y la primera hoja verde, e I_0 es la RFA incidente por encima del cultivo. Para el cálculo de la RFAi fue considerada la fracción de la radiación fotosintéticamente activa, comprendida entre las longitudes de onda de 400 a 700 nm, de la radiación global. La radiación solar global (R_g) fue registrada por la estación meteorológica de la EEAVI.



Figura N°10: Ceptometro para la medición de la radiación fotosintéticamente activa.

Materia seca aérea

El procedimiento para la determinación de la materia seca consistió en cortar una cantidad conocida de producto y desecarla a una determinada temperatura hasta obtener un peso constante. El peso obtenido después de la desecación, y calculado su porcentaje, representó el extracto seco.

Materia Seca (%): $P'/P \times 100$

P' = Peso de la muestra después de la desecación.

P = Peso de la muestra antes de la desecación.

Para llevar a cabo el método se escogieron tres momentos de muestreo durante el ciclo agrícola, estos fueron a los 63, 115 y 196 días desde la emergencia, en estadios de V4, R2 y R6 respectivamente.

Para los muestreos en los estados de V4 y R2, se cortaron 5 plantas contiguas de cada parcela de los 3 surcos centrales, el corte fue al ras del suelo. Luego se pesaron todos los órganos juntos para ponerlos en la estufa con ventilación forzada a 65°C durante 15 días, hasta peso constante.

En el caso del muestreo en R6, se determinó la producción de biomasa total cortando 5 plantas contiguas de cada parcela de los 3 surcos centrales al igual que en los anteriores muestreos. Pero en este caso, se separaron los órganos en, hoja (lamina) y tallo (incluidas las vainas foliares) por un lado y brácteas + pedúnculo de la espiga, grano y marlo por el otro. Cada órgano se pesó por separado en su estado fresco, se tomó una muestra y se colocó a secar en estufa con ventilación forzada a 65°C durante, aproximadamente 15 días, hasta peso constante.

Producción de grano y componentes del rendimiento (Peso de 1000 granos, Numero de granos por m²).

Se cosecharon en R6 todas las espigas en forma manual sobre los dos surcos centrales de cada tratamiento en una superficie de 7 m². Se contó el número de plantas y de espigas en cada muestra, utilizándose una trilladora estacionaria para desgranar las mazorcas. Los granos se colocaron en estufa a 65 °C hasta peso constante. La determinación del peso individual de los granos se realizó sobre 300 granos por muestra. Se estimó el número de granos por m² en base a el peso unitario del grano y el rendimiento en R6 (madurez fisiológica) ajustándose a un contenido de un 14,5 % de humedad.

A cada componente del rendimiento previamente mencionados se les realizó un análisis estadístico de Tukey ($\alpha= 0,05$) para comparar las varianzas de los diferentes tratamientos.

Contenido de nitrógeno en grano

Para el estudio de la dinámica de absorción de Nitrógeno se analizó su contenido en granos. El momento de muestreo fue en R6 al igual que el descrito en las mediciones de la materia seca particionada. Las plantas muestreadas fueron secadas en estufa a 65°C hasta peso constante y luego molidas. La determinación de N se realizó en el laboratorio de la EEAVI sobre muestra tamizada en malla de 1 mm y se utilizó el método semimicro-Kjeldhal. El Nitrógeno mineralizado se estimó en cada tratamiento de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N_{min} = N_{tR6} + N_{hR6} - N_r \cdot E$$

Dónde, N_{min} (kg ha⁻¹) es el Nitrógeno mineralizado durante el ciclo; N_{tR6} es el contenido de Nitrógeno en las plantas estudiadas en el estado de R6 (kg ha⁻¹); N_{hR6} es el contenido de N de nitratos en el suelo en R6 (kg ha⁻¹); N_r es el nitrógeno residual inorgánico previo al desarrollo del cultivo (equivalente a N de nitratos en el suelo a la siembra en kg ha⁻¹) y E es la eficiencia de uso del Nitrógeno inorgánico inicial. El valor de la eficiencia de uso del Nitrógeno inorgánico inicial (E), a los fines de los cálculos se considera igual a 0,5 (Meisinger, 1994). Para evaluar la eficiencia de uso de Nitrógeno se utilizó la metodología de Huggins y Pan (1993), mencionado por Maturano et al (2002).

El valor del Nitrógeno presente en el suelo (N_p), se obtuvo de acuerdo a la ecuación: $N_p = N_f + (N_r + N_{min})$.

Donde, N_f es el Nitrogeno aportado por el fertilizante (kg ha⁻¹), N_r es el contenido de Nitrógeno residual inorgánico previo al crecimiento del cultivo (kg ha⁻¹) y N_{min} es el Nitrógeno mineralizado durante el ciclo de cultivo (kg ha⁻¹).

También se calculó el Nitrógeno disponible de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N_{disp} = N_{tR6} + N_{hR6}$$

Donde, N_{disp} es el nitrógeno disponible (kg ha⁻¹), N_{tR6} es el contenido nitrógeno en la planta en estado de R6 (kg ha⁻¹) y N_{hR6} es el contenido de N de nitratos en

el suelo en R6. Las pérdidas de N por volatilización no fueron consideradas ya que se efectuó un riego inmediatamente a la fertilización con urea. Las pérdidas por lixiviación no fueron medidas ya que el objetivo es estudiar las modificaciones ocurridas en los distintos parámetros que han sido medidos, como consecuencia de los distintos manejos de la fertilización nitrogenada simulando las condiciones de cultivo a campo que se utilizan en el Valle Inferior del Rio Negro.

A partir de estos cálculos, se estimaron los siguientes índices:

- Eficiencia en el uso del nitrógeno presente ($R_g N_p-1$)
- Eficiencia de absorción ($N_{tR6} N_p-1$)
- Eficiencia de utilización ($R_g .N_{tR6}-1$)
- Eficiencia de acumulación de nitrógeno en el grano ($NG N_{disp}-1$)
- Índice de cosecha del Nitrógeno ($Ng N_{tR6}-1$)

Donde R_g es el rendimiento en grano a 14% de humedad.

Contenido de Zinc en planta

En los estadios V4 y R2 se determinó el contenido de zinc en muestras de planta completa, las cuales fueron secadas en estufa a 65°C hasta peso constante y luego molidas y tamizadas por malla de 2mm. Para la determinación se tomaron alícuotas de 1 g y se realizó una digestión húmeda con mezcla nítrico/perclórico (rel. 2:1) en caliente (235 °C) a reflujo durante 3 horas. Las determinaciones fueron efectuadas con un Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES), Shimadzu Simultáneo 9000 según Norma EPA 200.7. Se empleó la metodología de calibración externa utilizando patrones/ estándares certificados Chem-Lab, Zedelgem B-8210, Bélgica (Johnson *et al.*,

1959).

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de biomasa, RFAi (R1) rendimiento en grano, contenido de N en grano y el contenido de zinc en planta, fueron sometidos a un análisis de varianza de dos factores mediante la utilización de programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013).

Las fuentes de variación analizadas fueron zinc más micronutrientes, dosis de nitrógeno y la interacción entre dichas variables. Las medias obtenidas se compararon mediante el test de Lsd de Fisher el nivel de riesgo elegido en alfa, fue fijado en todos los casos en 5 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología

En la Tabla N°2, se presenta la duración y tiempo térmico medios para todos los tratamientos durante el ciclo de cultivo. Los días transcurridos desde la siembra hasta llegar a los distintos estados fenológicos se asemejan a los encontrados por Reinoso (2014) para la zona. Se puede observar que ni con la aplicación de micronutrientes, ni con los diferentes niveles de N, hubo diferencia significativa en la duración total de ciclo de cultivo, las únicas diferencias fueron en el estado de 6 hojas verdaderas V6 y en el momento de ocurrencia de la floración (R1). Se pudo observar que los tratamientos que contenían menor cantidad de nitrógeno aplicado, N0 Y N100; sufrieron un retardo de entre 2 y 4 días para alcanzar el estado de 6 hojas verdaderas y llegar a floración, en comparación con los tratamientos con mayor fertilización, N200 Y N300. También se pudo sacar en claro que las diferencias tanto de días como de tiempo térmico no fueron causadas por la variable de micronutrientes, ya que los tratamientos que fueron fertilizados con la misma dosis de nitrógeno no presentaron variaciones entre sí, solo se registraron diferencias a causa de las distintas cantidades de N.

Tabla N° 2. Fenología del cultivo, fecha de ocurrencia, días transcurridos desde la siembra y tiempo térmico con temperatura base 8 °C.

| Estadios Fenológicos | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|---|-----------|-----------|-----------|
| Tratamientos | Días desde Siembra (11/11) | | | | Tiempo térmico (°c.dia⁻¹) | | | |
| | VE | V6 | R1 | R6 | VE | V6 | R1 | R6 |
| Nit 0 | 12 | 49 | 85 | 154 | 65 | 355 | 729 | 1336 |
| Nit 0 + micro | 12 | 49 | 85 | 154 | 65 | 355 | 729 | 1339 |
| Nit 100 | 12 | 47 | 83 | 154 | 65 | 346 | 716 | 1335 |
| Nit 100 + micro | 12 | 46 | 83 | 154 | 65 | 341 | 716 | 1339 |
| Nit 200 | 12 | 46 | 81 | 154 | 65 | 341 | 704 | 1336 |
| Nit 200 + micro | 12 | 46 | 81 | 154 | 65 | 341 | 704 | 1336 |
| Nit 300 | 12 | 46 | 81 | 154 | 65 | 341 | 704 | 1337 |
| Nit 300 + micro | 12 | 46 | 81 | 154 | 65 | 341 | 704 | 1336 |

Tabla N° 2: Duración y tiempo térmico medios para todos los tratamientos durante el ciclo de cultivo. No se hallaron diferencias estadísticas significativas para la duración total.

Las diferencias entre el tratamiento testigo y los fertilizados con Nitrógeno se asemejan a las encontradas por Reinoso (2014), en donde el testigo floreció 2 días más tarde que los tratamientos fertilizados. En el caso de este experimento se registró esa misma diferencia entre el testigo y el tratamiento con N100.

En la figura 11 se pueden observar 3 plantas de cada tratamiento en plena floración indicándose las fechas en que cada una alcanzo dicho estado. También se indican las diferentes variables de fertilización y de aplicación de micronutrientes. Nótese las diferencias en el porte de las plantas fertilizadas con nitrógeno respecto del testigo (N0).

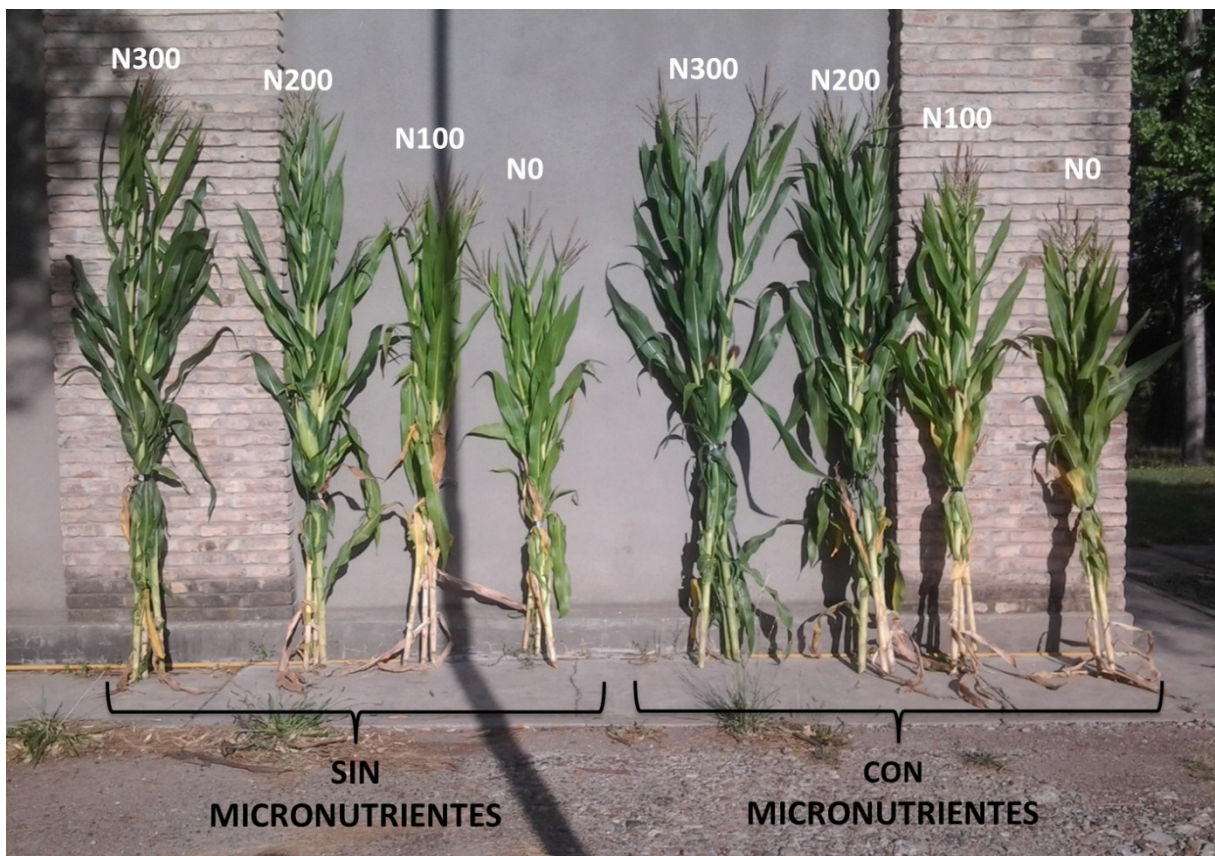


Figura N°11: Muestras de plantas de maíz del ensayo cortadas en R1 para los distintos tratamientos nitrogenados (N0, N100, N200 y N300), con y sin micronutrientes a base de Zinc. .

Riegos, precipitaciones y evapotranspiración

Se totalizaron entre el aporte de agua proveniente de las lluvias y el de los riegos, unos 987 mm a lo largo del ciclo del cultivo, con el fin de asegurar que el suministro de agua no sea una limitante para el cultivo. Siendo este valor superior a la demanda evapotranspirativa del cultivo (727 mm) en el período en el cual estuvo implantado Tabla N° 3.

| Riegos y precipitaciones (mm) | | | | Etc (mm) |
|-------------------------------|-----------|--------|-------|----------|
| N° de Riegos | Meses | Lamina | PP | Etc |
| 1 | Noviembre | 140 | 12,4 | 82 |
| 2 | Diciembre | 240 | 11,9 | 190 |
| 1 | Enero | 180 | 40,1 | 210 |
| 1 | Febrero | 120 | 49,7 | 140 |
| 1 | Marzo | 130 | 12,7 | 60 |
| 0 | Abril | 0 | 50,4 | 45 |
| Total | | 810 | 177,2 | 727 |

Tabla N° 3: Riegos, precipitación registradas, y evapotranspiración de cultivo en milímetros (mm), para el ciclo del cultivo.

En la Figura N°12 se presenta la evapotranspiración durante el periodo del cultivo, acompañado de los mm mensuales suministrados por precipitaciones y los riegos.

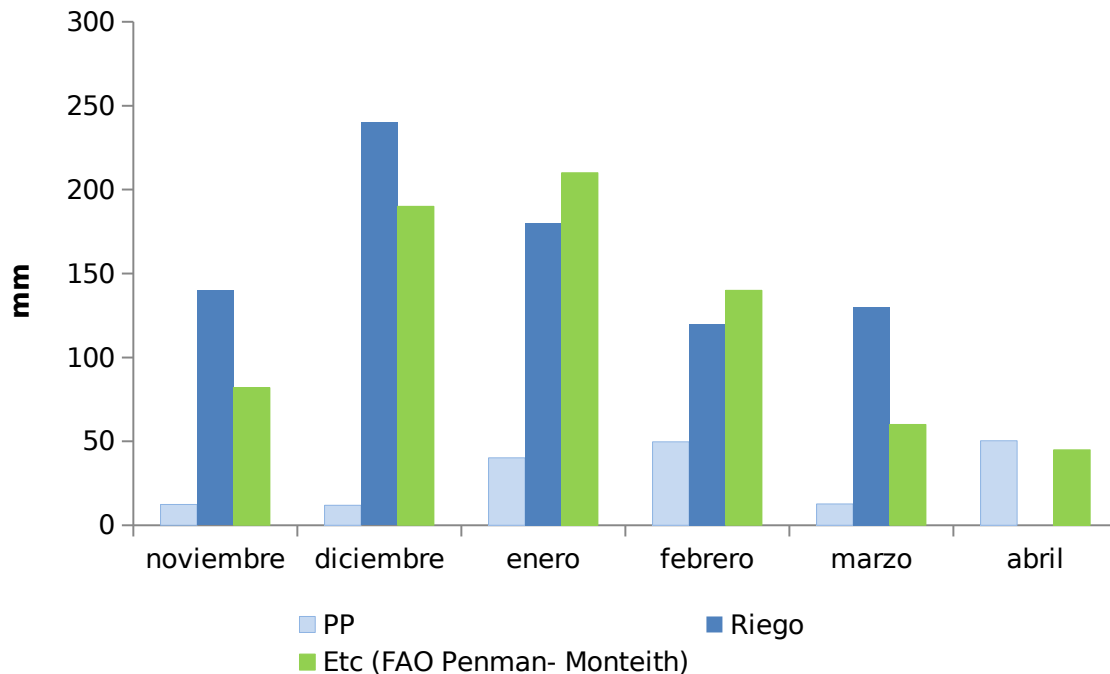


Figura N°12: Evapotranspiración (ETc), Precipitación en milímetros (PP) y Riego (mm) durante el ciclo del cultivo.

Se observa que se cubrió la demanda evaporativa del cultivo en cada uno de los meses del periodo de investigación. Mediante los eventos de riego gravitacional y las lluvias registradas con el fin de asegurar que el suministro de agua no sea una limitante para el cultivo.

Materia seca aérea

En la Figura N°13 se exponen los resultados de los rendimientos de Materia Seca total (MST) por hectárea, de los distintos tratamientos de fertilización para tres momentos fenológicos estudiados (V4, R2 y R6).

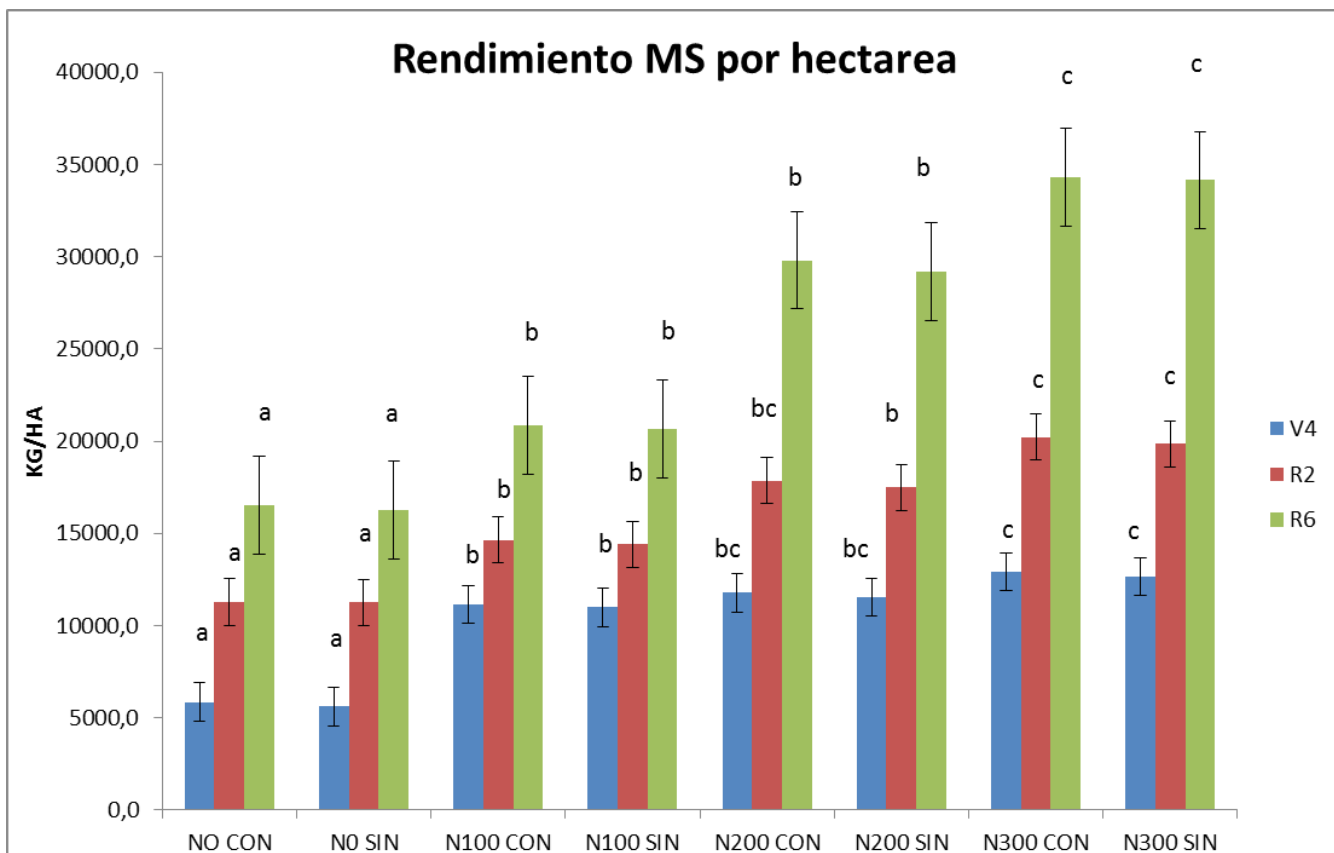


Figura N°13: Rendimientos de MS por hectárea del experimento con sus distintas variables. Expresados en KG/HA. Letras minúsculas distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey $\alpha=0,05$).

Los tratamientos analizados, en general indican que a medida que el cultivo se desarrolla y la dosis de Nitrógeno se acrecienta, provoca un aumento en la producción kg de MST, sin existir respuesta estadística significativa al agregado de micronutrientes ni tampoco interacción en las fuentes y las dosis. Las diferencias estadísticas, en cuanto a rendimiento de materia seca por hectárea, se encontraron cuando se compararon los diferentes estados fenológicos con las distintas dosis de Nitrógeno. Se observa un claro aumento de la producción de MST (35.000 kg/ha) en R6 con la máxima dosis de nitrógeno (N300), donde la planta ya finalizó su ciclo y expresó su mayor potencial. Mientras que el testigo, R6 sin Nitrógeno apenas alcanzó los 16.000 kg/ha.

En V4 y R2 la planta aun no alcanzó su máximo potencial, si no que sigue desarrollándose, (Fassio *et al.*, 1998), por lo que los rendimientos máximos en

dichas etapas del cultivo son menores, 12.922 kg/MS/ha en V4 y 20.230 kg/MS/ha en R2, con la dosis más alta de nitrógeno.

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), entre N 200 y N 300 siendo las que lograron mayores rendimientos en las diferentes etapas estudiadas del cultivo. Para el caso de N0 y N100 se puede decir que la producción de MST logradas es baja, pudiendo asociarse a que la deficiencia de nitrógeno en el maíz disminuye su crecimiento, también se observa clorosis (hojas de color amarillo), lo que no permite al cultivo expresar su máximo rendimiento (Dekalb, 17/08/2018).

Intercepción de la radiación

Uno de los principales objetivos del manejo de cultivos de alta producción es lograr que las hojas intercepten la mayor parte de la radiación incidente (RFAi) y por lo tanto mayor tiempo posible para utilizarla en la producción de materia seca de las plantas (Andrade y Sadras, 2000).

La dinámica de la intercepción de radiación por las hojas está relacionada a la evolución del índice de área foliar (IAF), definido como la superficie foliar fotosintéticamente activa por unidad de superficie del suelo (Carcova, 2003).

En la figura 14 se presenta la RFAi en R1 para las distintas dosis de nitrógeno. Mediante el ANOVA y la aplicación posterior del test de Fisher se evaluó la respuesta de la RFAi a las dosis de nitrógeno y micronutrientes, sin encontrarse interacción entre las variables. Se pudo definir que la intercepción de radiación se incrementó a medida que la dosis de N suministrado con el fertilizante fue mayor hasta un valor de 300 kg ha⁻¹. Existen diferencias significativas en N0 y N100, mientras que no se hallaron entre N 200 y N300. En promedio el testigo interceptó en R1 un 25% menos de radiación que los tratamientos N200 y N300.

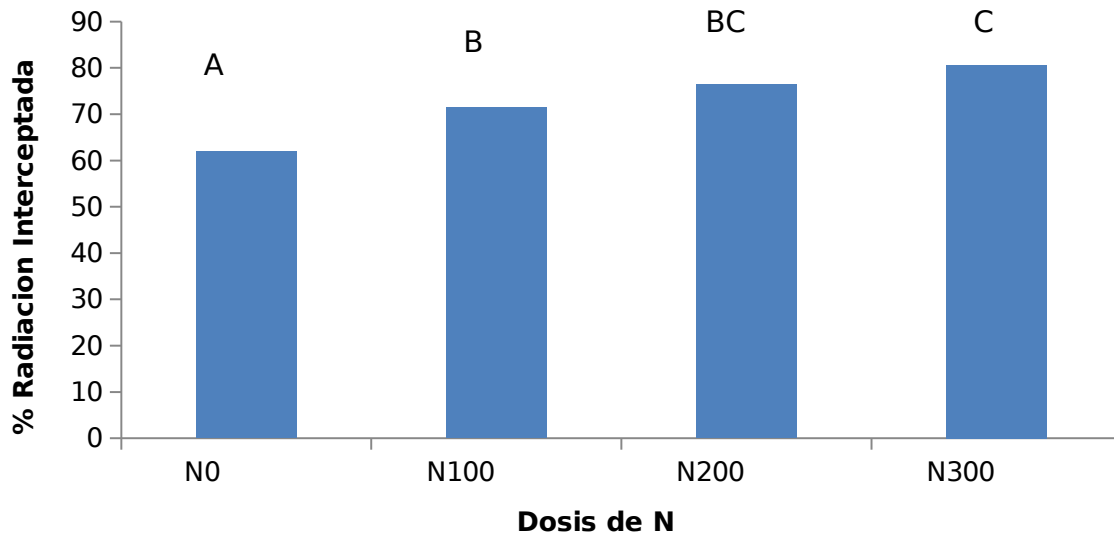


Figura N° 14: Porcentaje de radiación interceptado de acuerdo a distintas dosis de N. Letras minúsculas distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos (Fisher $\alpha=0,05$)

En la Figura N°15 se presenta la intercepción de radiación en función de la aplicación o no de micronutrientes para todas las dosis de nitrógeno, sin hallarse diferencias significativas en cuanto a porcentaje de intercepción.

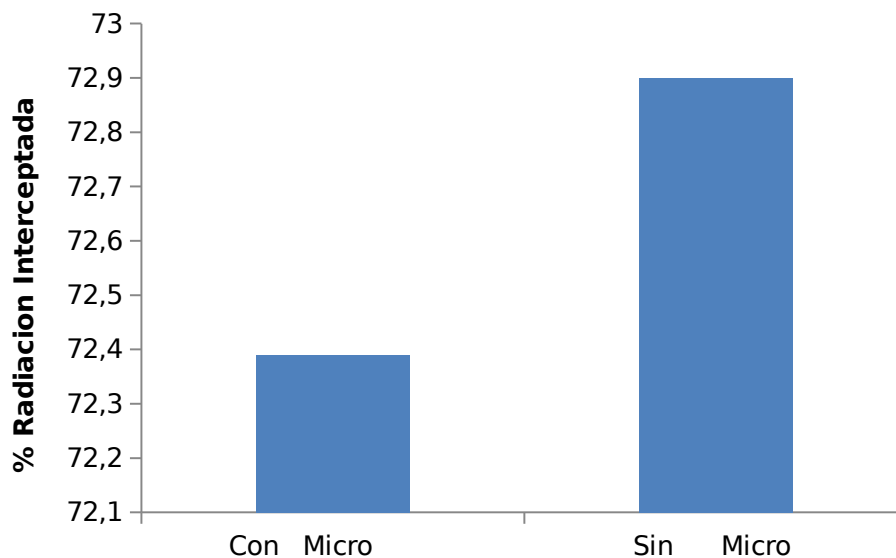


Figura N°15: Porcentaje de radiación interceptado tratamientos con y sin micronutrientes. Letras minúsculas en común sobre las columnas indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos (Fisher $\alpha=0,05$)

En la Figura N°16 se presentan los ajustes lineales de la RFAi en función de las dosis de N para los tratamientos con y sin micronutrientes, Como se expresó anteriormente, a medida que la dosis de nitrógeno aplicada es mayor, el porcentaje de radiación interceptada aumenta considerablemente, superando el 80%.

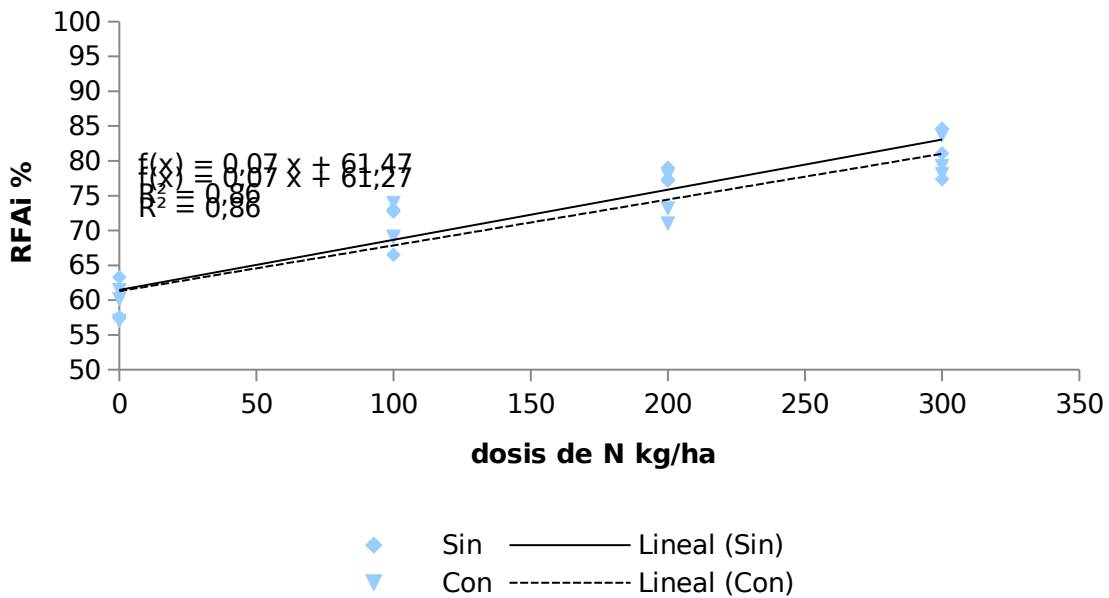


Figura N°16: Porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) en función de las dosis de nitrógeno (N) suministrado como urea para tratamientos con micronutrientes (con) y sin micronutrientes (sin) en maíz bajo riego gravitacional.

Los valores en porcentaje de intercepción de radiación en R1 variaron entre 59,4% y 81% según se modificaron las disponibilidades de nitrógeno.

En la Figura N°17, se presenta la producción de materia seca en función de la intercepción de la radiación, ajustándose una función lineal positiva donde existe una fuerte correlación entre las variables, alcanzando un R² de 0,90. También se puede ver que no se encuentran diferencias entre los tratamientos con micronutrientes y sin micronutrientes, por lo que se les realizó un ajuste de las dos variables.

Por dichos resultados se puede decir que la principal fuente de variación se da a causa del agregado de nitrógeno, ya que al variar las dosis de dicho nutriente se

encontraron diferencias significativas en el porcentaje de intercepción de radiación para los diferentes tratamientos.

En cuanto al agregado de micronutrientes no se encontraron diferencias significativas respecto de los tratamientos sin micronutrientes por lo que se hizo un solo ajuste, pudiendo demostrar que a medida que logramos mayor intercepción de radiación existe una relación lineal con la producción de materia seca. la pendiente es 0,94 lo que indica una correlación lineal cercana de 1 a 1.

Los resultados hallados concuerdan con varios autores Uhart y Andrade (1995), quienes encontraron respuestas lineales a la intercepción de maíz bajo riego por aspersión y sin riego artificial.

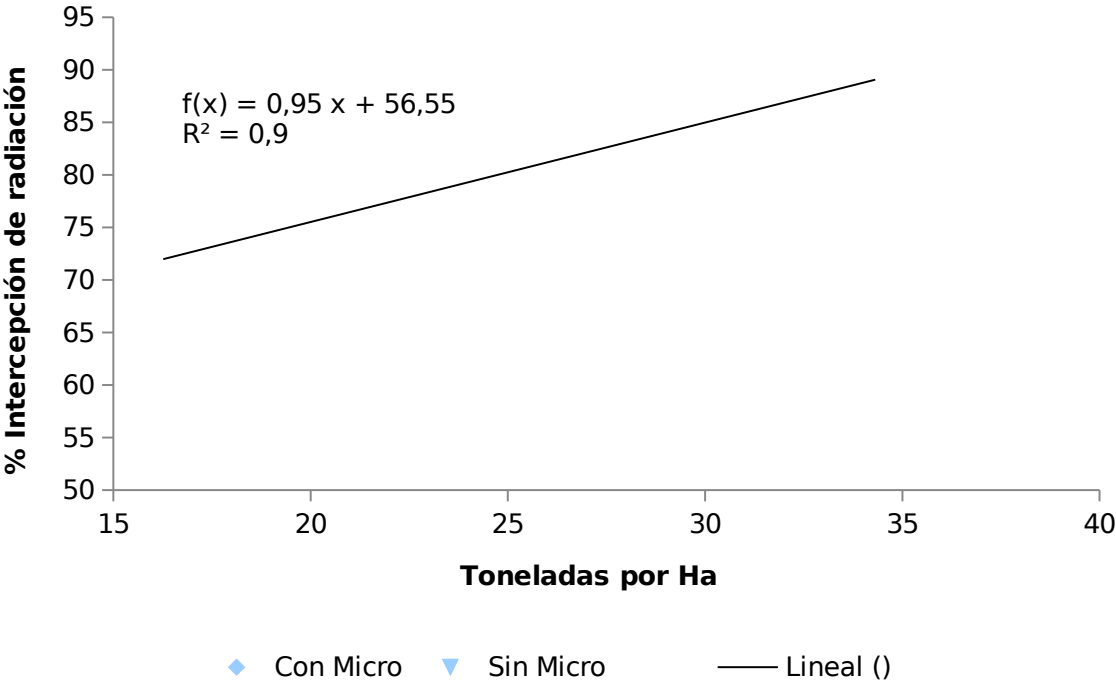


Figura N°17: Producción de materia seca en función de la radiación interceptada.

Producción de grano y componentes del rendimiento

En la Tabla N°4, se presentan los componentes del rendimiento, número de granos y peso de los granos. Se puede observar que no existen diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento con micronutrientes para ninguna de las dosis y tampoco se hallaron interacciones micronutrientes/dosis de nitrógeno.

En cambio, sí se hallaron diferencias significativas fue entre los tratamientos fertilizados con nitrógeno y el testigo. Alcanzándose los valores más altos en los tratamientos con N200 y N300, para número de granos y peso de mil. Las diferencias se ven claramente en el rendimiento, donde N300 aumento un 47% en comparación al testigo (N0). Mientras que las diferencias mínimas se dieron entre N100 y el testigo, con un aumento del 33% en los tratamientos fertilizados.

Analizando los componentes del rendimiento, el valor promedio del número de granos/m² fue de 2671 sin diferencias significativas entre tratamientos con micronutrientes y sin micronutrientes. Si se encontró respuesta significativa al agregado de N hasta la dosis de N300. Los valores más altos alcanzados se dieron en los tratamientos con N200 y N300 respectivamente, siendo este último el más elevado con un 53% (3185 granos/m² en base al testigo 2151 granos/m²), mientras que el tratamiento N100 presentó un aumento del 18,2 % con respecto al testigo (Tabla N° 4).

El peso promedio individual de los granos fue de 0.313 g, sin diferencias estadísticas significativas entre tratamientos con micronutrientes pero si frente a las dosis de N. Los granos más pesados se encontraron en el tratamiento de máxima fertilización N300, representando un 22,9 % de aumento con respecto al tratamiento testigo (Tabla 4). El rango de pesos varió entre 0.271 y 0.352 g.

Del análisis de la varianza surge que todos los tratamientos fertilizados arrojaron diferencias significativas respecto del tratamiento control (N0) sin fertilizar (LSD, p0,0001). Asimismo, entre los tratamientos fertilizados, los rendimientos promedio por parcela arrojaron diferencias significativas entre los tratamientos cuando la dosis de nitrógeno fue incrementada hasta los 300 Kg/ha (Grafico N° 18).

| Factor | Nivel | NUMERO DE | PESO 1000 | RENDIEMINTO |
|---------------|--------------|------------------|------------------|--------------------|
|---------------|--------------|------------------|------------------|--------------------|

| | | GRANOS | GRANOS (g) | (kg/ha) |
|-------------------------------|------------------|---------------|-------------------|----------------|
| Fuente | SIN MICRO | 2686 | 313,42 a | 8394 a |
| | CON MICRO | 2656 | 314,58 a | 7892 a |
| DMS | | 310 | 16,53 | 1153 |
| Significación | | 0,01 | 0,01 | NS |
| Dosis | N0 | 2151 a | 271,83 a | 5541 a |
| | N100 | 2631 b | 300,83 b | 8292 b |
| | N200 | 2715 b | 330,83 c | 8309 b |
| | N300 | 3185 c | 352,5 c | 10430 c |
| DMS | | 438 | 23,38 | 2306 |
| Nivel de significación | | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| SIN MICRO | N0 | 2133 | 272 | 5793 |
| CON MICRO | N0 | 2170 | 271,67 | 5290 |
| SIN MICRO | N100 | 2655 | 301,67 | 8770 |
| CON MICRO | N100 | 2607 | 300 | 7816 |
| SIN MICRO | N200 | 2728 | 328,33 | 8924 |
| CON MICRO | N200 | 2703 | 333,33 | 7695 |
| SIN MICRO | N300 | 3227 | 351,67 | 10091 |
| CON MICRO | N300 | 3144 | 353,33 | 10769 |
| Interacción | | NS | NS | NS |

Tabla N° 4: Componentes del rendimiento, número de granos y peso de los granos. Las letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey $\alpha=0,05$).

Cuando se evaluaron dosis crecientes de nitrógeno, se observaron diferencias en el rendimiento en grano entre el testigo (N0) hasta la dosis de 300 kg ha⁻¹ de N, donde se alcanzó el máximo rendimiento (Figura N°18). El tratamiento testigo (N0) mostró rendimientos entre 33 y 47 % menores que los tratamientos fertilizados entre N100 y N300. También se observó que el NG se incrementó con dosis crecientes de N entre el 18 y el 32% con respecto al testigo. Posiblemente la menor disponibilidad de nitrógeno redujo la tasa de crecimiento del cultivo en el período crítico (parcialmente por una menor intercepción). Esta circunstancia o bien una menor tasa de acumulación de nitrógeno en floración pudieron determinar un menor establecimiento de granos en el testigo (Uhart y Andrade, 1995). El PG mostró incrementos para los tratamientos fertilizados entre 9 al 23%

con respecto al testigo (Tabla N°5). No se pudo identificar un valor umbral definido de contenido de N por encima del cual ya no hay incrementos en el rendimiento. La dosis más alta coincidió con el rendimiento mayor y el más alto valor de nitrógeno en grano. En el trabajo de Jones *et al.*,(1985) encuentran que la deficiencia de nitrógeno afecta la provisión de asimilados durante la etapa de llenado efectivo de grano y el tamaño potencial del grano. Uhart y Andrade (1995) también encontraron que deficiencias de N en maíz sembrado en Balcarce, Buenos Aires sin limitaciones hídricas, redujeron el peso de los granos, en este caso, entre 9 y 25% y el rendimiento en grano entre 14 y 80% respecto de tratamientos sin estrés. El déficit de N puede disminuir el peso de los granos afectando la fuente de asimilados (menor superficie y duración del área foliar y menor tasa fotosintética), durante el llenado y posiblemente el número de células endospermáticas y gránulos de almidón en postfloración temprana (Uhart, 1995). En síntesis, las deficiencias de N redujeron NG, el PG y el rendimiento en grano. La dinámica de la mineralización del N no es suficiente para producir rendimientos máximos potenciales en el maíz. La translocación de fotoasimilados a la espiga durante el período crítico está altamente relacionada con la definición del NG. Una deficiencia de nitrógeno afecta esta translocación ya que disminuye los valores de IAF y, en consecuencia, la intercepción de la radiación y la eficiencia en el uso de la misma (Novoa y Loomis, 1981; Sinclair y Horie, 1989). Asimismo, el componente PG resulta de la competencia entre el número de granos y la oferta de fotoasimilados (Plénet, 1995).

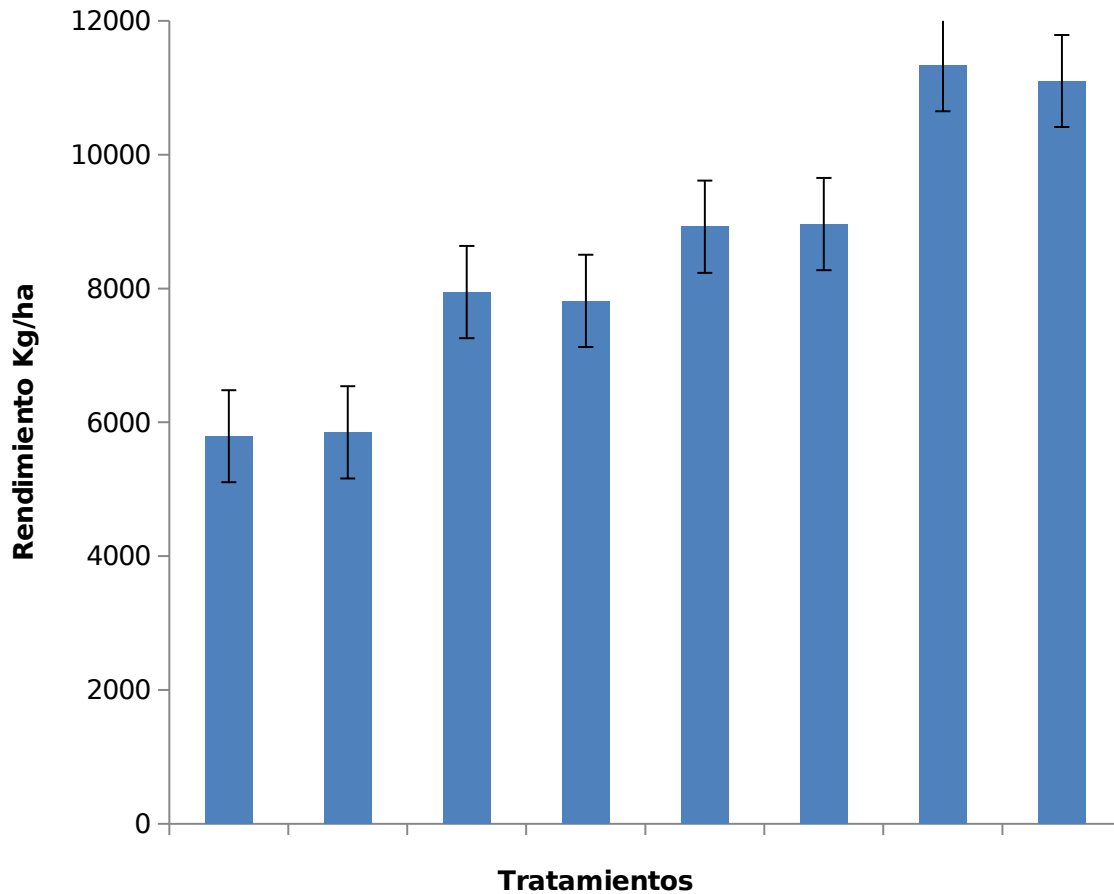


Figura N° 18: Rendimiento en grano. Letras minúsculas en común sobre las columnas indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos (Tukey $\alpha=0,05$)

En la Figura N°19 se presenta la relación entre el rendimiento y sus componentes, NG y PG, solo para los tratamientos nitrogenados, ya que no se encontraron diferencias significativas con respecto a la variable de micronutrientes. La asociación entre estos componentes y el rendimiento fue siempre positiva. El número de granos por metro cuadrado fue la variable que mejor explicó la variación de los rendimientos frente al peso de los granos. El comportamiento observado coincide con los descriptos por varios autores (Muchow *et al.*, 1990; Andrade, 1995; Salvaghiotti *et al.*, 2002) donde el rendimiento es función del número de granos fijados por unidad de superficie y, en menor medida, del peso individual de los granos.

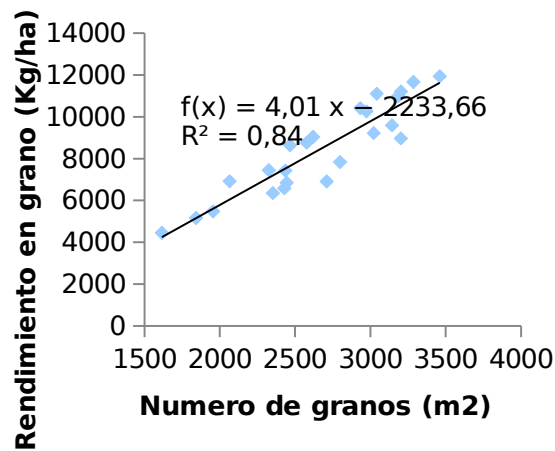
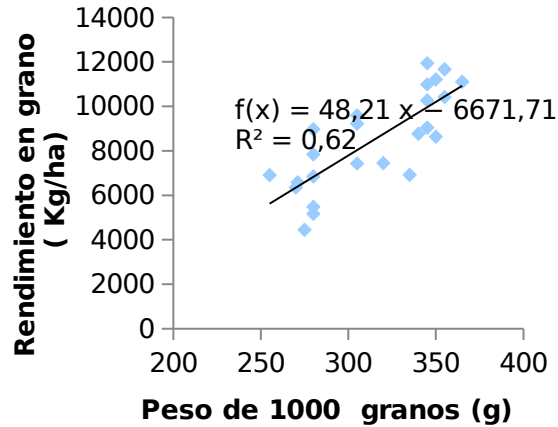


Figura N° 19: Relación entre el rendimiento y sus componentes

Contenido de Nitrógeno en grano

En la tabla N 5, se especifican los datos de nitrógeno en grano, medido en porcentaje (%) y la extracción de nitrógeno medida en kg/ha. Con la información disponible en dicha tabla podemos decir que no se hallaron diferencias significativas debido a los tratamientos con y sin micronutrientes. Solo hubo diferencias en la concentración de nitrógeno en grano en los tratamientos fertilizados respecto del testigo, el cual alcanzó valores bajos con respecto al resto

de los tratamientos y frente a los datos citados por otros autores (Andrade, 1994; Otegui, 1996; Pagani, 2008; Cirilo, 2016).

| Factor | Nivel | N en grano (%) | Extracción de N (kg/ha) |
|------------------------|-----------|----------------|-------------------------|
| Fuente | SIN MICRO | 1,02 a | 88,04 a |
| | CON MICRO | 0,98 a | 84,73 a |
| DMS | | 0,15 | 13,9 |
| Significación | | NS | NS |
| Dosis | N0 | 0,84 a | 48,83 a |
| | N100 | 1,0 b | 79,39 b |
| | N200 | 1,09 b | 96,95 b |
| | N300 | 1,07 b | 120,39 c |
| DMS | | 0,1348 | 27,87 |
| Nivel de significación | | 0,05 | 0,05 |
| SIN MICRO | N0 | 0,91 | 45,12 |
| CON MICRO | N0 | 0,78 | 52,54 |
| SIN MICRO | N100 | 1,03 | 82,39 |
| CON MICRO | N100 | 0,98 | 76,39 |
| SIN MICRO | N200 | 1,09 | 96,12 |
| CON MICRO | N200 | 1,09 | 97,78 |
| SIN MICRO | N300 | 1,07 | 121,12 |
| CON MICRO | N300 | 1,08 | 119,65 |
| Interacción | | NS | NS |

Tabla N° 5: Nitrógeno en grano. Las letras minúsculas distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey $\alpha=0,05$).

Entre los tratamientos fertilizados, no hubo grandes diferencias, lo cual indica una estabilidad en la concentración de nitrógeno para este híbrido (tabla 5). Se encontraron diferencias al momento de integrar el nitrógeno extraído por hectárea. A medida que la dosis aplicada de nitrógeno fue creciendo, también se produjo un aumento en la extracción, la cual no fue causada por una concentración en el grano, si no, por el incremento en el rendimiento (Figura 20). Por lo que se deduce que el contenido de nitrógeno en grano fue estable y lo que aumento fue el rendimiento.

Resultados similares fueron descriptos por Bush (2005), donde los rangos de fertilizaciones más bajas (N100 y N200) presentan una relación lineal entre rendimiento y absorción de Nitrógeno. Pero en el caso de la dosis más alta (N300) no se alcanza, en estas condiciones, un plateau que indicaría la falta de respuesta en rendimiento para absorciones superiores, por lo que se podría continuar aumentando la absorción y así la maximización del rendimiento.

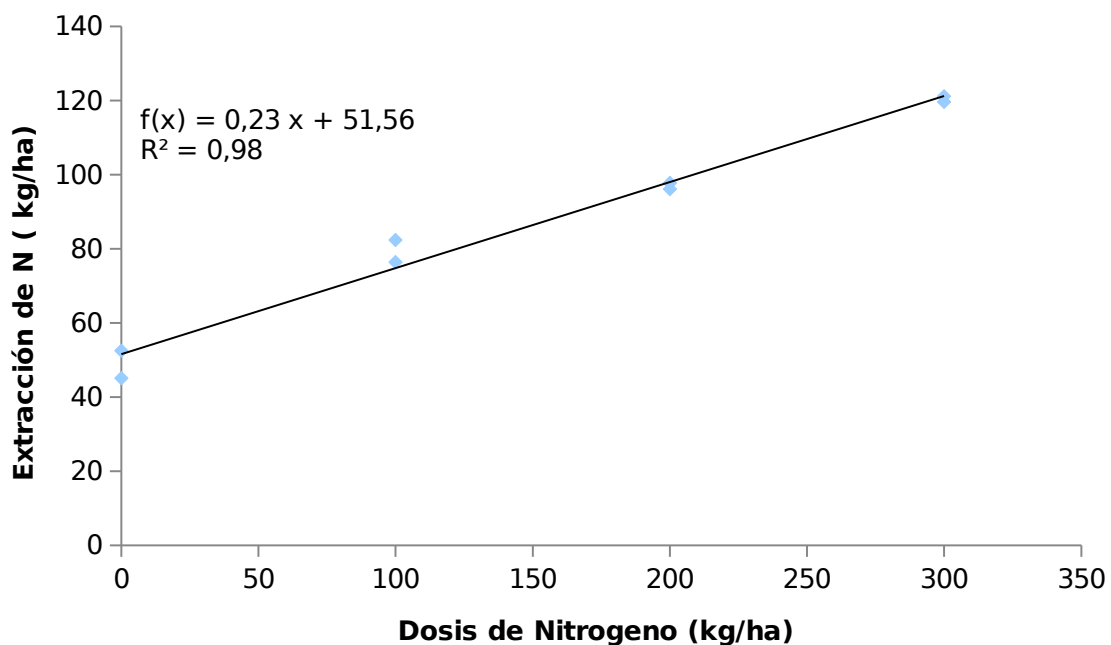
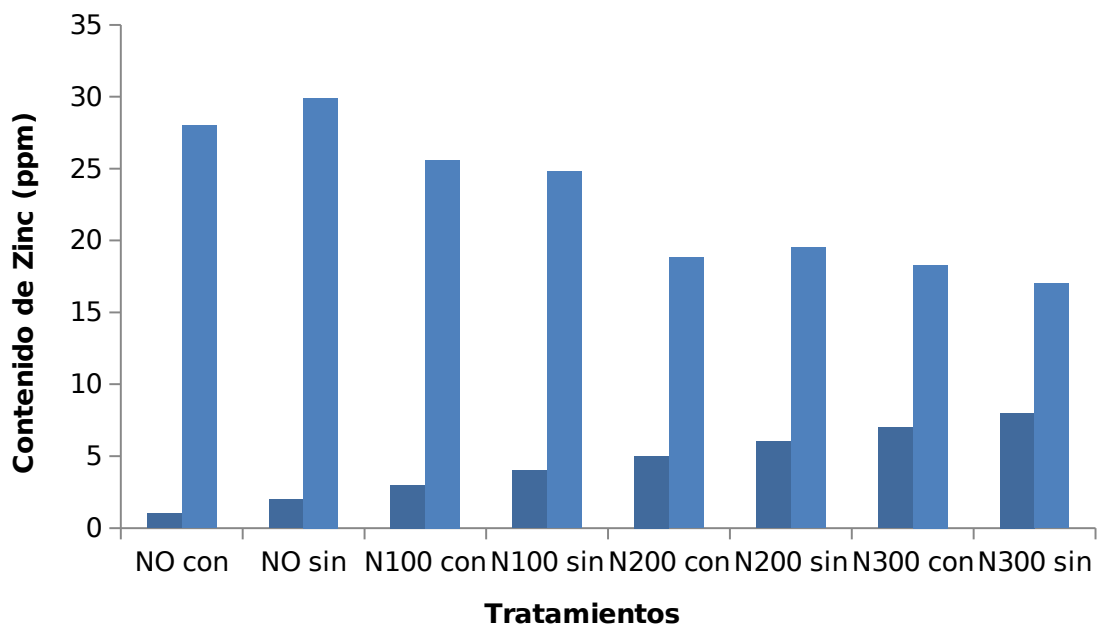


Figura N°20: Extracción de N en función de la dosis aplicada.

En la figura 20. Se observa una respuesta lineal y creciente del N absorbido en función del N aplicado. La respuesta lineal, implica que no estaría saturada la absorción de N, por lo que podría continuar aumentando la absorción.

Contenido de zinc en planta

El grafico 21, indica la concentración foliar de zinc para los distintos tratamientos en el estadio de cuatro hojas verdaderas (V4). Se puede observar que a medida que aumentó la dosis de nitrógeno la concentración de zinc fue menor, atribuyéndoselo a un efecto de dilución por la materia seca producida.



Fi

gura N°21: Concentración foliar de zinc (ppm) en función de las dosis de nitrógeno con y sin micronutrientes.

Si se comparan estos valores con los dados por Melsted et al. (1969) se advierte que el valor promedio de Zn obtenido en ninguna de las muestras está por debajo del contenido promedio y cercano al valor crítico de 15 ppm.

El análisis de suelo indicó un bajo contenido de zinc disponible, llegando tan solo a 0,35 ppm. Colocándose por debajo de los límites inferiores propuestos por Lindsay (1997).

Resultados similares fueron hallados por Moralejo y Acebal (2010) quienes determinaron que en suelos del sudoeste bonaerense los tenores de Zn disponible se encuentran por debajo del nivel crítico, 1 ppm.

Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas en rendimiento por la aplicación de Zinc, siendo atribuible a la baja disponibilidad en el suelo del sitio experimental.

Inicialmente en V2, se observaron claras deficiencias de Zn (Figura 22). Las cuales con el paso de los días se fueron disipando (Figura 23). Esto demuestra que la deficiencia es temporaria y podría atribuirse a la baja exploración radicular en la implantación.



Figura N°22 Síntomas de deficiencia de Zinc, en V2. **Figura N°23** Sin síntomas de deficiencia de zinc, en V3.

En general, se considera que las deficiencias de Zn en hojas maduras se presentan cuando la concentración es menor de 20 ppm en materia seca. El rango

de concentración normal oscila entre 25 y 150 ppm. La concentración de Zn en hojas de maíz disminuye con la madurez (Gorsline, 1965) lo que hace más preocupante los datos de las muestras N200 y N300.

Watanabe et al. (1965) consideran que el nitrógeno puede aumentar por sí mismo la absorción de Zn o por un mejor desarrollo radical. Otros investigadores han observado que las aplicaciones de N aumentaban la absorción del Zn nativo y del aplicado como fertilizante, especialmente cuando la fuente de N era $(\text{NH}_4):\text{SO}_4$ (Boawn et al., 1960). En este caso la fuente de N aplicado fue $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ por lo tanto las diferencias con las referencias bibliográficas se la atribuye a la fuente de aplicación utilizada.

Asimismo en la Figura 24, se observa la tendencia que hay a la dilución para ambas variables, con micronutrientes y sin micronutrientes. El hecho de que las líneas correspondientes a cada tratamiento sean paralelas significa que no hay interacción, por lo que la concentración de zinc se ve diluida de igual forma para ambas variables. Si hubiese interacción, las líneas se cruzarían. El paralelismo de las rectas se mantiene a lo largo del gráfico, lo que indica que para las diferentes dosis de nitrógeno, la concentración de zinc se ve igualmente diluida, ya sea con o sin micronutrientes. Sumado a esto podemos ver que se mantiene la misma diferencia a lo largo de todos los tratamientos, indicando que no hay interacción entre nitrógeno y zinc en estas condiciones. La respuesta es distinta, en este caso no es aditiva. Cabe aclarar que si bien se diluyó, no se alcanzó el nivel crítico de 15 ppm, el cual comenzaría a ser una limitante en el rendimiento para el caso de dosis más altas.

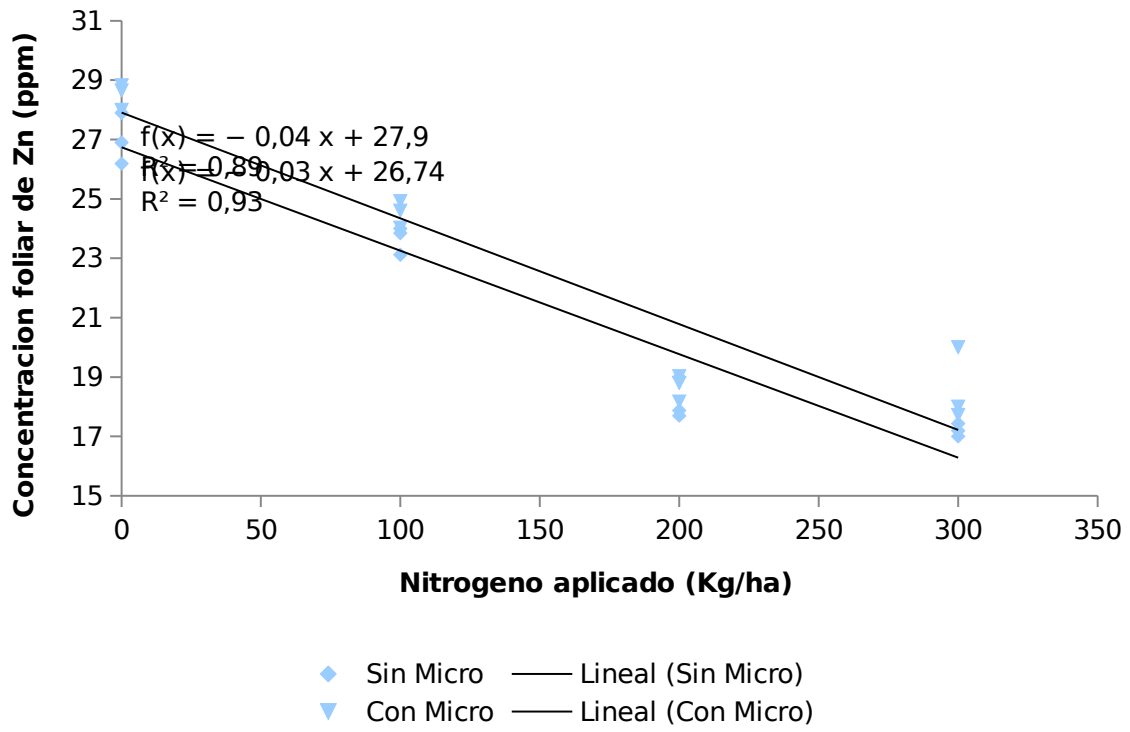


Figura N°24: Interacción entre las variables.

CONCLUSIONES

De los resultados alcanzados en el ensayo experimental que dieron soporte a esta Tesis, cuya finalidad fue estudiar la respuesta al Nitrógeno y micronutrientes en base a Zinc del cultivo de maíz bajo riego en condiciones agrícolas de alto rendimiento para mejorar la eficiencia de uso de dichos recursos en el valle inferior del Rio Negro, se desprenden las siguientes conclusiones:

El rendimiento más alto del ensayo fue de 10.769 kg/ha, este se alcanzó con la dosis máxima, la cual contenía 300 kg de Nitrógeno por hectárea, superando así en un 53% al testigo. Los valores máximos en los componentes del rendimiento también se dieron con la máxima dosis de N. Para el Peso de Granos (PG) se encontró un incremento del 23% con respecto al testigo, alcanzando los 353 gramos en 1.000 granos. Por su parte el Número de Granos (NG) presentó un máximo de 3.144 granos por m² superando así en un 32% al testigo.

No existen diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento con micronutrientes para ninguna de las dosis y tampoco se hallaron interacciones micronutrientes/dosis de nitrógeno.

Para el rango de dosis de Nitrógeno y micronutrientes utilizadas en este trabajo, no se puede definir con exactitud el límite máximo de extracción ya que se observa una respuesta lineal y creciente del N absorbido en función del N aplicado dentro de las dosis utilizadas en el experimento. Lo que implica que para este lote y bajo las condiciones en que se realizó el ensayo, no estaría saturada la absorción de N, por lo que podría continuar aumentando la absorción y así la maximización del rendimiento.

Con respecto a los síntomas iniciales de deficiencia de zinc observados, al avanzar los estados fenológicos la absorción del elemento superó el umbral en planta de 15ppm, aun en los tratamientos sin micronutrientes, por lo que no se hallaron respuestas en la producción de granos y considerando en estas condiciones como transitoria esta deficiencia.

Como propuesta a futuro se sugiere repetir esta experiencia en otros ambientes como por ejemplo en aquellos suelos con pH alcalino que son comunes en el VIRN y en condiciones de rendimiento potencial donde los micronutrientes comenzarían a limitar el rinde.

También se debería evaluar dosis más altas de N para alcanzar la saturación y combinaciones entre estos elementos (Fe, Mo Mn) a fin de rectificar o ratificar los valores obtenidos en esta oportunidad con el objetivo de encontrar aquellas que aporten mayor sustentabilidad a los sistemas de producción actuales del VIRN.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G.; L.S, Pereira; D, Raes y M, Smith. 1998. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper No56, FAO, Rome, Italy.
- Andrade, F.; A, Cirilo; S, Uhart y M, Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial la Barrosa. Balcarce. 292 pp.
- Andrade, F. y V.O. Sadras (Eds.). 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. EEA INTA Balcarce – Fac. de Ciencias Agrarias UNMP. 443 pp.
- Arriaga, H.O.; M.E. Chidichimo; D.M. Cattaneo; N.M. Orsini; F.A. Margiotta; H. Iglesias; E. Bardelois; J. Salguero y M. Figueroa. 1984. "El cultivo del maiz con riego al sur del paralelo 40 L.
- BATTEMAN, J. V., 1970. Nutrición Animal. Manual de métodos analíticos. Herrero Hermanos, S. A., 468 pp. México.
- Bell, R.W., y B. Dell. 2008. Types of micronutrient fertilizer products: advantages and disadvantages of the different types. In: Micronutrients for sustainable food, feed, fiber and bioenergy production. IFA (International Fertilizer Industry Association): 53-66.
- Br global, Importancia de los micronutrientes. <http://www.brglimited.com/download/MicroNutrientes.pdf>. [Acceso 13/03/18]
- Carcova, J.; G. Abeledo y M. Lopez-Pereira. 2003. Análisis de la generación del rendimiento: Crecimiento, partición y componentes. En: Satorre, E.; R. Benech Arnold; G. Slafer; E. De La Fuente; D. Miralles; M. Otegui y R. Savin. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. 75-95 pp.

- Castro, M. 2019. El IDEVI destacó que el cultivo de maíz llegó a las 1.900 hectáreas. Agencia Periodística Patagónica (APP).
- CIRILO, A. G. 2001. Maíces tardíos y maíz de segunda. Revista de Tecnología Agropecuaria. INTA Pergamino. Vol.VI Nro. 18, Segundo Cuatrimestre: Setiembre/Diciembre 2001. Pág. 44-48
- Cirilo, A. 2016. Maiz Flint Nutrición nitrogenada y calidad del grano. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Pergamino.
- Colabelli, M 2010. UNIVERSIDAD NACIONAL de RIO NEGRO ASIGNATURA: PRODUCCION Y UTILIZACION DE FORRAJERAS IMPLANTADAS.
- Cox, W. J.; S. Kalonge; D.J.R. Cherney y W.S. Reid. 1993. Growth, yield and quality of forage maize under nitrogen management practices. Agron. J. 85:341-347 pp.
- Dekalb. 2012. [en línea http://www.dekalb.com.ar/index.php?id_semilla=1] [Acceso: 17/8/2018].
- Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzales, M. Tablada Y C. Robledo. 2011. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar/>
- Fabregat, E. (2010). La construcción de representaciones mentales en los alumnos del nivel medio que habitan el Valle Inferior del Rio Negro. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur.
- Fancelli, AL. 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. Pp 11-27. En: M Vázquez(ed). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina.207pp.
- FAO, 1969. Estudio sobre la rehabilitación de tierras en el valle de Viedma, Informe final Volumen II, Roma, 1969. FAO/SF: 72/ ARG 11.

- FAO, 2002. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Agua y Cultivos: Logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. Roma. 26 pp.
- Fernández del Pozo, M 1984. LA UREA, FERTILIZANTE NITROGENADO.
- Ferraris, G. Y L. Couretot. 2007. Respuesta del Maíz a la fertilización complementaria por vía foliar. Campaña 2006/07. Experiencias de Fertilización y Protección del cultivo de Maíz. Año 2007. Proyecto Regional Agrícola, CERBAN, EEA Pergamino y General Villegas: 116 – 122.
- Fassio, A., Carriquiry, A.I., Tojo, C., Romero R. 1998. Maíz: Aspectos sobre Fenología. Serie Técnica 101, INIA La Estanzuela. INIA, Uruguay.
- Gallo, K.P. y C.S.T Daughtry. 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. Agron. J. 78: 752-756 pp.
- Gordtsline , G.W; D.e, Baker and I.N. Thomas. 1965. Accumulation of eleven elements by field corn (Zea mays L.)
- Jaramillo, F., Meléndrez, M.E. y Aldana, M.L. 2009. Toxicología de los Plaguicidas. En Toxicología Ambiental. Jaramillo, F., Rincón, A.R. y Rico, R.M. (ed.), pp. 270. Textos Universitarios. Universidad de Guadalajara. México.
- Johnson, C.M. & Ulrich, A. 1959. Analytical Methods for use in Plant Analysis. Certif. Agric. Exp. St. Bulletin, 26-27, pp. 766.
- Johnson, H. W. ; Carter, J. L. ; Hartwig, E. E., 1959. Growing soybeans. USDA, Farmers' Bulletin, N°2129
- Jones, R.J.; J. Roessle y S. OuattarS. 1985. Thermal environment during endosperm cell division in maize: effect on number of endosperm cells and starch granules. Crop Sci. 25: 830.834 pp.

- Lindsay, WL. 1997. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils. En: Micronutrients In Agriculture. (ed. Mortvedt, Cox, Shuman & Welch). Soil Science Society of America, 677 S. Segoe., Madison, WI, USA. pp 89 111
- KWS, Página oficial. <http://www.kws.com.ar/aw/Productos/Ma-z/KM/~ggjr/> [Acceso:9/01/2018]
- Lopez Bellido, M. 1991. Cultivos Herbáceos. Vol I. Cereales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Maddonni, G.A.; M.E. Otegui y A.G. Cirilo. 2001. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize architecture and light attenuation. Field Crop Res.71:183–193.
- Maíz en el eje de los nuevos escenarios.2010 En “ IX CONGRESO NACIONAL DE MAIZ ROSARIO 2010” Rosario, Argentina.
- Maizar. 2011. EL MAÍZ, PRIMERO EN EL MUNDO. [<http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=392>] [Acceso:14/09/2017]
- Margiotta, F.A.; L. Reinoso y R.S. Martínez. 2009. Evaluación de materiales comerciales de maíz. Campaña 2008. 25 pp. EEA INTA Valle Inferior. [enlínea:http://www.syngentaenvivo.com.ar/2012/ensayos/Maizgrano/ECR_Maiz_Viedma_Beltran_2008_09.pdf]. [Acceso: septiembre 2017.]
- Martín, D. 2009. Estadísticas climáticas del Valle de Viedma. EEAValle Inferior – Convenio Provincia de Río Negro-INTA. Información técnica N°27.
- Martínez, R.S.; L. Reinoso.; F.A. Margiotta y R.M. Martinez. 2012. Buscando alcanzar altos rendimientos del cultivo de maíz: experiencias en los valles Norpatagónicos. En: actas de la 3° Reunión Internacional de riego, 30 y 31 de Octubre de 2012. INTA Manfredi, Córdoba, Argentina.
- Maturano, M.; E. Guevara y S. Mellar. 2002. Efecto del nivel hidrico y nitrogenado en la eficiencia en el uso del agua y el nitrogeno en el cultivo de maiz. Rev. Tec. Agrop. INTA Pergamino. Vol.VII N° 21 Pag. 8-11.

- Meisinger, J.J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil crops system. En: Hauck, R.D. (ed) Nitrogen in Crop Production. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin USA.
- Melsted, S.W; H.L. Motto and T.R Peck 1969. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data.
- Miñon, D. 2003. La producción y exportación de nueces sin cáscara como alternativa rentable para los productores del Valle Inferior del río Negro. Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Económicas y Estadística. Tesina Licenciatura en Economía.
- Moralejo M. del P. y S. G. Acebal. 2010. Determinación del contenido de Cu y Zn en suelos del sudoeste bonaerense. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Actas en CD, 4pp.
- Muchow, R. C.; T. R Sinclair y J. M. Bennet. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yields across locations. Agron. J. 82:338-343.
- Novoa, R. and Loomis, R. S. 1981. Nitrogen and plant production. Plant and Soil. 58:177- 204.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2005. Population Challenges and Development Goals. ST/ESA/SER.A/248. New York.70 pp.
- Panorama Agroalimentario 2016. Dirección de Investigación y Evaluación económica y Sectorial. Maiz 2016.
- Plénet, D. 1995. Fonctionnement des cultures de maïs sous contrainte azotée. Détermination et application d'un indice de nutrition. Thèse de Docteur, INPL, Nancy, France. Université. 115 pp.
- Rattalino Edreira, J.I.; M.E, Otegui; 2013 Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: A novel approach for assessing sources of kernel loss in field conditions. Field Crops Res 142:58-67.

- Ratto de Míguez S, Fatta N. 1990. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del área maicera núcleo. Ciencia del Suelo 8: 9-15.
- Ratto, S; 2014. LOS MICROELEMENTOS EN EL SISTEMA PRODUCTIVO. FAUBA.
- Reinoso, L. Margiotta, F. Martínez, S., 2016. Evaluación de Cultivares de Maíz en Viedma, Río Negro. Campaña 2016
- Reinoso, L.; R.S. Martinez; F. Margiotta; R.M. Martinez y P. Zalba. 2009. Estudios de frecuencias de riego sobre el rendimiento de maíz en el Valle Inferior del Río Negro. En Congreso Nacional del Agua Ed: Direccion Oficial de Impresiones, Rawson. 318 pp.
- Reinoso, L. 2014. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias: "Rendimiento de maíz en el Valle Inferior del Río Negro: Evaluación de la frecuencia de riego y la fertilización nitrogenada". Universidad Nacional del Sur (UNS).
- Reinoso L.; R.S, Martínez; J, Mercau; M, Gutierrez; y M.E. Otegui. Estrategias para alcanzar altos rendimientos de maíz en los valles de Norpatagonia. En actas del XXVI congreso de la Asociación Argentina de productores en siembra directa (AAPRESID). Córdoba del 7 al 9 de Agosto de 2018
- Ritchie S.W., Hanway J.J. (1982). How a corn plants develops. Iowa State University of Science and Tecnology Cooperative, Ames IA, USA. Special Report N°48.
- Scheid López, A. 2006. Micronutrientes: La experiencia brasilera. Filosofía de aplicación y eficiencia agronómica. Pp 29-78.En: M Vázquez(ed). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207pp.
- Selva, V; 2011. EL MAIZ NECESITA ZINC. Departamento Técnico, Stoller Argentina S.A.

- Todo Agro 2017.[<http://www.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp?nid=9246>] [Acceso:14/03/2018]
- Torres Duggan, M. 2002. Fertilización nitrogenada del cultivo de maíz. EEA Pergamino. INTA Pergamino.
- Torretta Bassi, J.J. 2017. Tesina de grado. “Cálculo de los requerimientos hídricos del maíz y ajuste del Kc mediante el uso de lisímetros de drenaje en el Valle Inferior del río Negro”. Universidad Nacional de Río Negro.
- Uhart, S.A. y F.H. Andrade. 1995. Nitrogen deficiency in maize. I Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. Crop Sci., 35: 1376-1383 p.
- Uhart, S.A. 1995. Efecto de la disponibilidad de nitrógeno y carbono sobre la determinación del número de granos y del rendimiento en maíz. Tesis DR. Univ. Nac. de Mar del Plata, Buenos Aires. 110 p.
- Universidad Argentina de la Empresa (UADE). Recuperado el día 20 de agosto de 2017 en: <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/328/CSO-NTEC-01-20130627120548.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Vázquez, M 2011. Libro de micronutrientes en la agricultura. Diagnóstico y fertilización en Argentina. La experiencia brasilera.
- Watanabe, F.S; W.L., Lindsay and S.R, Olsen, 1965. Nutrient balance involving phosphorus, iron and zinc.
- Yara, 2011. Producción vegetal. Argentina. Recuperado el día 15 de Julio de 2017 en: <https://www.yara.com.ar/nutricion-vegetal/maiz/produccion-mundial/>
- Zappi, C.A. 2012. Evaluación de las posibilidades de expansión del riego en la Argentina. En: Actas de la VI Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza, Argentina.