

RTA

ISSN 2469-164X · Vol. 13. N° 47
Abril 2025
Pergamino, Bs. As., Argentina

REVISTA DE
TECNOLOGÍA
AGROPECUARIA



INTA Ediciones

Staff

Director EEA Pergamino:

Dr. (MSci) Ing. Agr. Horacio A. Acciaresi

Editor Responsable:

Dr. (MSci) Ing. Agr. Juan Mattera

Comité Editor:

Dra. (MSci) Ing. Agr. Silvina B. Restovich
Dra. (MSci) Ing. Agr. Raquel Defacio
Dra. (MSci) Ing. Agr. Silvina M. Cabrini
Méd. Vet. (MSci) Virginia Fain Binda
Méd. Vet. (MSci.) María Suárez del Cerro
Ing. Agr. (MSci) Javier Elisei
Ing. Agr. (MSci) José A. Llovet
Dr. (MSci) Ing. Agr. Horacio Acciaresi
Ing. Agr. (MSci) Ignacio Terrile

Diseño y Edición:

DG. Claudio Giovagnoli

Colaboración Fotográfica de Portada:

Ing. Agr. Gonzalo Pérez

Colaboradora de Edición:

Lic. Mónica Coronel

DATOS EDITORIALES

Vol. 13. N° 47

Abri 2025.

Pergamino, Bs. As., Argentina

ISSN Digital 2469-164X

Estación Experimental Agropecuaria
INTA Pergamino - Buenos Aires
Av. Frondizi (Ruta Prov. 32) km. 4,5
2700 - Pergamino
Tel.: 02477 439000
<http://argentina.gob.ar/inta>



Indice

3**Editorial****5**

Crecimiento de *Robinia pseudoacacia* en respuesta a densidades iniciales de plantación
Paula Ferrere y María José Beribe

13

Análisis del potencial de bioenergía de la biomasa de dos sorgos forrajeros fotosensitivos
María Emilia Negri, Mariano Butti, Pablo Barletta, María Alegre

21

Detección de patógenos del maíz transmitidos por *Dalbulus maidis* en el norte de la provincia de Buenos Aires
Viviana Decker; Federico Peralba; Lucrecia Coureton; Pablo Copia

28

Respuesta productiva y de calidad a la fertilización nitrogenada en trigo
Fernando Jecke, Gonzalo Santia

35

Fuentes "starters" para la fertilización en línea de *Brassica carinata*
Gustavo N. Ferraris; Fernando Jecke; Fernando Mousegne; Gonzalo Santia y Orlando Vellaz

43

Dosis y eficiencia de uso de fósforo en trigo y cebada
Gonzalo Pérez, Carolina Estelrich y Pamela Giles García

49

Intensificación productiva en *Camelina sativa*. Respuesta a la fertilización nitrógeno-azufrada
Gustavo N. Ferraris y Ana Paula Canu

57

Ajuste de dosis de fosfato monoamónico en *Brassica carinata*
Gustavo N. Ferraris; Fernando Jecke; Fernando Mousegne; Gonzalo Santia y Orlando Vellaz

65

TRABAJO FINAL DE ESPECIALIZACIÓN Estimación de rendimientos de trigo a partir de datos espectrales para el partido de Junín, provincia de Buenos Aires
Maria Paula Melilli

67

TESIS DOCTORAL Evaluación multicriterio de opciones tecnológicas para el rediseño sostenible de los sistemas de cultivo de la Pampa Ondulada
Luis A. Milesi Delaye

Editorial

Estimados lectores:

La Revista de Tecnología Agropecuaria (RTA) inicia un nuevo año renovando el compromiso y responsabilidad con el sector agropecuario, agroalimentario y agrobioindustrial (SAAAB).

Desde la Estación Experimental Agropecuaria Pergamino (EEAP) y las Agencias de Extensión Rural, trabajamos en un territorio estratégico que abarca más de cinco millones de hectáreas en la zona núcleo de la Pampa Húmeda.

Nuestra misión es generar conocimiento, innovaciones y tecnologías orientadas a mejorar la productividad de los sistemas agroalimentarios, con una visión integral que contemple la salud ambiental y el desarrollo de las comunidades locales.

Contamos con un equipo de profesionales formados que, junto al personal técnico y apoyo de campo, trabajan para responder a las múltiples y diversas demandas de los sistemas productivos del territorio. Estas capacidades son fundamentales para afrontar los desafíos actuales y futuros.

Entre nuestras principales estrategias se destacan la participación en proyectos de investigación, la vinculación tecnológica con empresas del sector productivo y el fortalecimiento de los vínculos institucionales. A través de estas acciones buscamos mejorar la eficiencia en el uso de los recursos disponibles y ampliar el alcance e impacto de nuestras intervenciones en el territorio.

En ese contexto, la Revista de Tecnología Agropecuaria – RTA es uno de los canales a través del cual se difunde el conocimiento científico-tecnológico surgido de los grupos de investigación de la EEAP.

De este modo, la EEAP en su conjunto a través de la RTA renueva su compromiso tras más de treinta años de labor, proyectándose como una unidad clave para el desarrollo del SAAAB y la calidad de vida de la comunidad y Territorio.

Hasta el próximo número.

Dr. (MSci.) Ing. Agr. Horacio Acciaresi
Director | EEA Inta Pergamino

Crecimiento de *Robinia pseudoacacia* en respuesta a densidades iniciales de plantación

Paula Ferrere^{1*} y María José Beribe²

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Agencia de Extensión Rural 9 de Julio (Argentina)

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Estadística (Argentina)

*ferrere.paula@inta.gob.ar

El estudio del crecimiento de especies forestales adquiere relevancia por la gran cantidad de bienes y servicios que los bosques proporcionan. Para conocer el efecto de la densidad de plantación sobre el diámetro y la altura de árboles de acacia blanca (*Robinia pseudoacacia*) se instalaron parcelas demostrativas que fueron medidas anualmente entre los 4 y los 7 años.

PALABRAS CLAVE: Diámetro, Altura, Espaciamiento, Acacia blanca.

Introducción

La incorporación de alternativas productivas que generan valor a las comunidades locales y protegen los recursos naturales es un tema de

creciente interés. Esto implica una redefinición de los sistemas de producción agropecuarios en busca de un equilibrio entre altos niveles de producción y la protección de los servicios ecosistémicos (Ferrere *et al.*, 2020). La Región Pampeana Argentina presenta un gran potencial para el desarrollo de proyectos forestales, que podrían complementarse con el principal uso agro-ganadero de la tierra. *Robinia pseudoacacia* es una especie escasamente estudiada en nuestro país y presenta diversos usos potenciales debido a su adaptabilidad a diferentes destinos de producción. Keil *et*

al. (2011) determinó que la acacia blanca, cultivada en la provincia de Buenos Aires, posee madera dura de alta resistencia a los esfuerzos de flexión estática, de mediana resistencia a la compresión paralela y de muy alta resistencia a la compresión perpendicular y al corte. Esto indicaría que la madera podría usarse para estructuras de techos, tiranterías, vigas, travesaños, andamios, puentes, tijeras, durmientes, fabricación de puertas, ventanas, muros, pisos, mueblería, tornería y en la construcción en general.

La densidad inicial de plantación es uno de



los principales factores que determina el destino de la madera a producir. Sin embargo, se ha establecido que no existe una densidad relativa óptima del rodal para el establecimiento, ya que depende de la calidad de sitio, de la especie y del objetivo de producción establecido. El objetivo de producción puede ser: aumentar la productividad, obtener madera de la calidad y cantidad requerida en el menor tiempo posible, mejorar la estabilidad y duración de las plantaciones, y cumplir funciones ambientales, protectoras y recreativas. En términos generales, plantaciones con mayor densidad podrían producir madera con usos bioenergéticos o postes para carpintería rural, mientras que densidades bajas podrían ser empleadas en sistemas silvopastoriles y madera de calidad para aserrado. La densidad inicial de plantación determina el crecimiento en diámetro y altura. Durante los primeros años, las plántulas presentan un mayor aumento en altura y diámetro del tronco, producto de la competencia por luz. Una vez lograda la plantación, el diámetro de los árboles está mucho más influenciado por la densidad inicial del rodal que por su altura, que a su vez está condicionado por el contenido de humedad y la fertilidad del suelo. En este caso, la competencia es mayor en alta densidad por lo que el diámetro tiende a disminuir en relación a tratamientos más espaciados. Para encontrar la densidad óptima de plantación en acacia blanca Rédei *et al.* (2008), emplearon el índice de espacio de crecimiento que se expresa dividiendo la distancia promedio de plantación y la altura media. Un índice óptimo de ocupación sería del 23-24%, que representa densidades iniciales de plantación de 4000 pl/ha.

La densidad ayuda a explicar la variación en altura y, por lo tanto, debe incluirse en la relación altura-diámetro. Debido a la ausencia de información local, el objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento de *R. pseudoacacia*, en

respuesta a diferentes densidades iniciales, entre los 4 y 7 años de edad.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en la Escuela de Agricultura y Ganadería «María Cruz y Manuel L. Inchausti», que depende de Universidad Nacional de La Plata, (S 35°35'38,0"- W 60°33'46,5") durante el mes de junio del año 2016. El clima de Koppen es Cfa, húmedo, subtropical con 1033 mm de precipitación media anual y temperaturas máximas y mínimas medias anuales de 24,6 y 10,1 °C, respectivamente.

Se establecieron 4 densidades de plantación como se describe en la Tabla 1. Cada planta fue considerada una unidad de muestreo. El número de plantas evaluadas en cada densidad de plantación se muestra en la Tabla 1. Durante el mes de junio de 2020 (6/2020) se midió y registró, para cada planta, la altura y el diámetro a 1,3 m (dap). A partir de allí se registraron ambas variables en 3 momentos posteriores: mayo de 2021 (5/2021), junio de 2022 (6/2022) y junio de 2023 (6/2023).

Tabla 1. Número de plantas evaluadas según densidad.

Distancia de plantación (m*m)	Densidades de plantación (pl/ha)	Número plantas			
		6/2020	5/2021	6/2022	6/2023
1*1	10000	74	74	74	66
1*2	5000	60	60	60	59
1*3	3333	58	54	52	51
2,5*4	1250	48	44	41	39

Se evaluó el crecimiento promedio a lo largo del tiempo mediante modelos lineales mixtos, el cual considera el diseño desbalanceado y el ajuste de la matriz de varianza covarianza de los errores. El modelo utilizado fue:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Modelo 1

Donde: y_{ijk} : altura de la planta k, en la densidad i en el momento j; μ : promedio de la altura general, α_i : efecto de la densidad i, β_j : efecto del momento j, $(\alpha\beta)_{ij}$: efecto de la interacción densidad i por momento j, γ_{ijk} : efecto aleatorio de la planta i, ε_{ijk} : error aleatorio asociado a la observación y_{ijk} .

El mismo análisis se realizó con la variable diámetro.

Por otro lado, se evaluó la relación lineal entre el diámetro y la altura para cada densidad y particularmente se compararon las pendientes de las rectas mediante una prueba de la heterogeneidad (u homogeneidad) de las pendientes o test de paralelismo. El modelo planteado fue:

$$y_{ij} = \mu_i + \beta_i x_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Modelo 2

Donde y_{ij} : valor de la variable altura en la j-ésima planta en la i-ésima densidad, μ_i : Intercepción de la i-ésima densidad, x_{ij} : valor de la variable dap de la j-ésima planta en la i-ésima densidad, β_i : pendiente de la densidad i, ε_{ij} : error aleatorio asociado a la observación y_{ij}

ma planta en la i-ésima densidad, μ_i : Intercepción de la i-ésima densidad, x_{ij} : valor de la variable dap de la j-ésima planta en la i-ésima densidad, β_i : pendiente de la densidad i, ε_{ij} : error aleatorio asociado a la observación y_{ij}

Resultados y discusión

Crecimiento en altura

En el caso de la altura, a partir del año 4 comienza la diferenciación del tratamiento con 10000 pl/ha que fue significativamente más alto que el tratamiento de 3333 pl/ha. A los 6 y 7 años el comportamiento es similar: no se observan diferencias significativas entre los tratamientos extremos (10000 y 1250 pl/ha) ni tampoco entre los tratamientos de 5000 y 3333 pl/ha. La mayor y menor densidad presentaron la mayor altura media a los 7 años (7,2 m y 7,5m respectivamente). Entre los 4 y 7 años el incremento en altura de las plantas con densidad de 10000 pl/ha fue de 28% en tanto que para 1250 pl/ha el incremento fue de 34% (Figura 1).

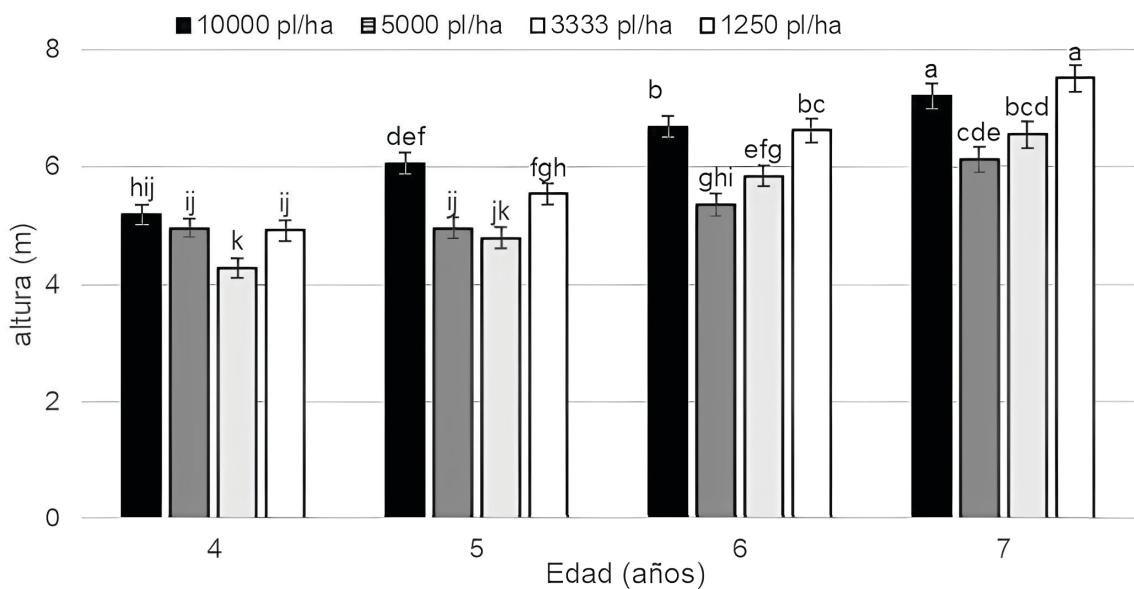


Figura 1. Crecimiento en altura de *R. pseudoacacia* entre 4 y 7 años para los tratamientos de densidad inicial de plantación estudiados.

Crecimiento en diámetro

La densidad de plantación afectó el crecimiento en diámetro desde el inicio de las mediciones efectuadas. A los 4 años, para el tratamiento más espaciado (1250 pl/ha) el diámetro fue un 21,8% más que el diámetro promedio del resto de los tratamientos y esa tendencia se incrementó a 34% a los 7 años. Si se considera el incremento en relación al diámetro inicial de cada tratamien-

to, los tratamientos más densos (10.000 y 5000 pl/ha) crecieron un 77%, mientras que los tratamientos más espaciados (1250 y 3333), un 46%. El porcentaje de incremento se calculó como la diferencia entre el diámetro a la edad 7 y el diámetro a la edad 4, dividido por el diámetro a la edad 4 (Figura 2).

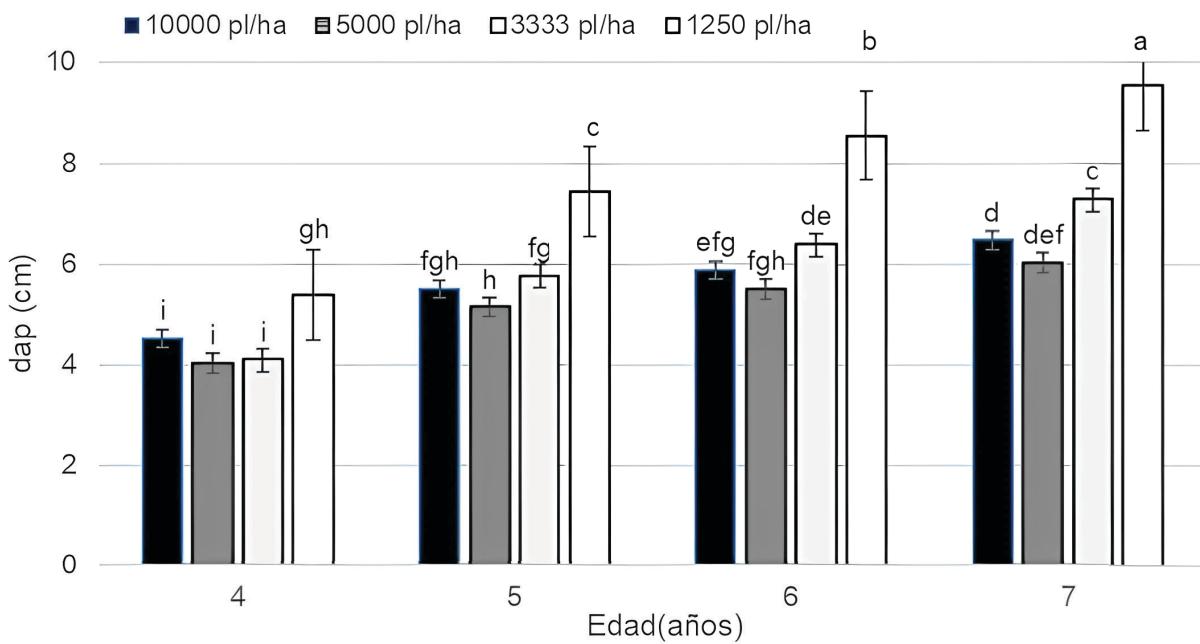


Figura 2. Crecimiento en diámetro (dap) de *R. pseudoacacia* entre 4 y 7 años para los tratamientos de densidad inicial de plantación estudiados.

Relación entre el diámetro y altura en diferentes densidades de plantación

Del test de paralelismo, donde se ajustó un modelo de regresión lineal para cada densidad, se encontró que la pendiente de al menos una densidad resultó ser estadísticamente diferente ($p < 0,0001$). Esta relación es compleja de analizar, debido a que, si bien la capacidad de crecimiento en altura de la acacia blanca es mayor en los tratamientos más densos, debe observarse que el crecimiento en diámetro es mayor en los tratamientos más espaciados. En la Figura 3, los tratamientos más densos (10000 y 5000 pl/ha) presentaron el mayor promedio de altura por unidad de cambio en el diámetro, como consecuencia de una mayor competencia por luz en estos tratamientos, donde probablemente ya esté ocurriendo una completa ocupación del sitio por la cobertura de copas.

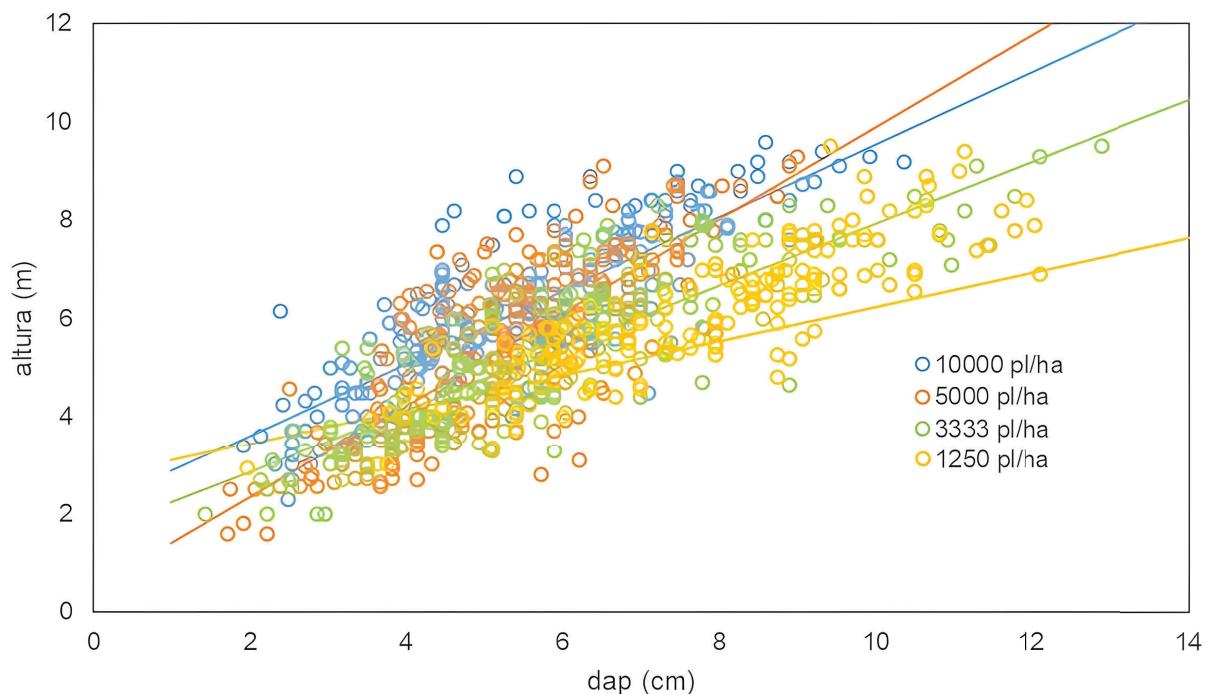


Figura 3. Altura en función del diámetro de las plantas (dap) y rectas de regresión ajustadas (1*1: densidad de plantas 10000 pl/ha, 1*2: densidad de plantas 5000 pl/ha, 1*3: densidad de plantas 3333 pl/ha, 1*4: densidad de plantas 1250 pl/ha).

Conclusiones

Para el período estudiado, la densidad inicial de plantación tuvo un efecto significativo sobre el crecimiento en diámetro y altura en áboles de acacia blanca en el partido de 25 de mayo (Buenos Aires). Fijar el objetivo de producción es una herramienta clave de manejo forestal para optimizar la calidad del producto maderero a obtener. La acacia blanca en la zona norte de la provincia de Buenos Aires ha tenido un uso principalmente en carpintería rural como postes de alambrado permanente o eléctrico. Con la drástica reducción en la oferta de madera de bosque nativo, este destino sigue siendo atractivo en productores de

la zona que se rehúsan al empleo de otros materiales como el aluminio. Con lo cual, planteos de alta densidad (5000 y 10000 pl/ha) permitirían un abastecimiento local sin grandes costos por aprovechamiento y flete. A esto se añaden los servicios ecosistémicos que deben comenzar a contemplarse con más detalle. Por ejemplo, el uso de estas plantaciones como material bioenergético para la alimentación de calderas, en un país con fuerte demanda energética y la necesidad de que provengan de un recurso renovable. Por otra parte, considerando su aptitud como madera para aserrado con un atractivo contraste entre albura y duramen, y la posibilidad de complementar con la ganadería en sistemas silvopastoriles, podría recomendarse bajar la densidad de plantación a 1250 pl/ha, donde se observó el mayor crecimiento.

to en diámetro (9,56 cm a los 7 años) y en altura (7,51 cm) Dado que aún no se cuenta con oferta de semilla de calidad genética mejorada, cabría la posibilidad de aumentar la densidad a 3333 pl/ha, para luego efectuar un raleo una vez establecida la plantación, de modo de mejorar la rectitud del fuste, algo aun no contemplado en el presente estudio. La disminución de las precipitaciones y las oscilaciones de temperatura durante los últimos años debería contemplarse en un esquema de manejo de plantaciones cada vez más influenciado por eventos climáticos extremos.

El presente trabajo es un estudio preliminar. A futuro se espera desarrollar modelos matemáticos estadísticos que describan la curva de crecimiento promedio e individual para poder comparar el comportamiento del crecimiento en las diferentes densidades de plantación.

Bibliografía

Ferrere, P.; Signorelli, A.; Cabrini, S. 2020. Análisis productivo y económico de sistemas silvo-apícola pastoriles en el norte de la provincia de Buenos Aires. En: Revista de Investigaciones Agropecuarias- RIA 46(1): 108-115.

Keil, G.; Spavento, E.; Murace, M.; Millanes, A. 2011. Black locust (*Robinia pseudoacacia L.*) and Honey locust (*Gleditsia triacanthos L.*): technological aspects in relation with the use in solid wood products. En: Forest Systems 20(1): 21-26

Rédei, K. M.; Osváth-Bujtás, Z.; Veperdi, I. 2008. Black locust (*Robinia pseudoacacia L.*) improvement in Hungary: a review. En: Acta silvatica et lignaria hungarica: an international journal in forest, wood and environmental sciences 4(1): 127-132.

Rédei, K., Csiha, I., Keserű, Z., Rásó, J., Kamandiné Végh, Á., & Antal, B. 2014. Growth and yield of black locust (*Robinia pseudoacacia L.*) stands in Nyírség growing region (North-East Hungary). En: South-east European forestry 5(1): 13-22.

Análisis del potencial de bioenergía de la biomasa de dos sorgos forrajeros fotosensitivos

**María Emilia Negri^{1*}, Mariano Butti¹,
Pablo Barletta¹, Mariana Alegre^{1,2}**

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Laboratorio Calidad de Alimento, Suelos y Agua (Argentina).

² Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (UNNOBA). Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales, Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

* negri.maria@inta.gob.ar

Este estudio evaluó el potencial energético de dos sorgos forrajeros fotosensitivos, con y sin mutación bmr (Brown Mid Rib), para producir biogás. El proceso fue viable energéticamente con ambas biommasas, destacándose el BMR- por su mayor rendimiento. Además se generó un subproducto que puede utilizarse parcialmente como sustituto de los fertilizantes químicos.

PALABRAS CLAVE: Cultivo energético, Biogás, Biofertilizante

Introducción

El sorgo se presenta como un cultivo energético con potencial para la producción de bioenergía, gracias a su alta eficiencia en el uso



de agua y nutrientes, y su capacidad de adaptación a diversas condiciones climáticas. La biomasa de sorgo puede aprovecharse para la producción de biogás mediante digestión anaeróbica con microorganismos. El biogás puede utilizarse para la generación de electricidad y calor o purificarse para obtener biometano, que puede inyectarse en la red de gas natural o usarse como combustible para vehículos. Asimismo, como subproducto de la digestión anaeróbica se genera un biofertilizante rico en nitrógeno, potasio y fósforo (NPK).

Los sorgos fotosensitivos se caracterizan por permanecer en estado vegetativo durante períodos de días largos, lo que permite un crecimiento pro-

longado de entre 160 y 180 días cuando se siembran tempranamente. La iniciación y diferenciación floral se produce cuando el fotoperiodo es inferior a 12 horas y 20 minutos, lo que favorece una mayor producción de biomasa por hectárea en comparación con los materiales insensibles al fotoperiodo, que tienen ciclos de producción más cortos. Estas variedades de sorgo son de gran porte y generan poca o ninguna producción de granos, producen un contenido significativo de material lignoceluloso y azúcares fermentables en los tallos.

El sorgo forrajero BMR (Brown Mid Rib) es una variedad que ha sido seleccionada genéticamente

para mejorar el contenido energético de sus tallos y hojas, debido a la reducción o alteración en la composición de lignina. Esta modificación incrementa la digestibilidad de la biomasa en comparación con otras variedades, facilitando la conversión de biomasa en azúcares simples.

El objetivo de este trabajo es caracterizar el potencial energético de dos híbridos de sorgo forrajero fotosensitivo, con mutación bmr (BMR^+) y sin mutación bmr (BMR^-), determinando la productividad de la biomasa total en materia verde (MV) y materia seca (MS) mediante un experimento controlado y realizando ensayos de transformación energética escala de laboratorio.

Materiales y métodos

El ensayo y la obtención de las biomasas de sorgo se llevaron a cabo en la Estación Experimental de INTA Pergamino. Se sembraron dos cultivares comerciales: Fotosensitivo bmr (BMR^+) y Fotosensitivo no bmr (BMR^-). El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizado ($n = 3$). La siembra se realizó con una densidad de 20 kg/ha en 6 surcos por parcela a 52 cm entre sí, siendo el largo de cada parcela de 5 m. Se realizó barbecho químico con 1,1 kg/ha atrazina + 1,5 l/ha glifosato y se fertilizó en el barbecho con 100 kg/ha de mezcla 7N-40P-0K-5S. Antes de la siembra se pulverizó con 1,1 kg/ha atrazina + 1,3 l/ha Dual Gold + 2 l/ha glifo-

sato + 100 cm³/ha cipermetrina. Entre el estadio V4 y V5 del cultivo, se fertilizó con 100 kg/ha de urea.

Se tomó una muestra de PE (Planta Entera) por parcela empleando la cosechadora experimental WINTERSTEIGER SeedMech Champion 1.200 la cual trilla y pesa el material recolectado posibilitando la obtención de rendimiento de MV (Materia Verde) por hectárea. Las muestras fueron posteriormente secadas en cámara a 60 °C hasta peso constante para determinar el contenido de MS (Materia Seca). Luego, se molieron con un molino WILLEY con malla de 2 milímetros (mm) y finalmente se determinó el contenido de MO (Materia Orgánica) mediante pérdida de peso por calcinación en mufla marca RAC a 550 °C durante 15 a 20 minutos.

Para determinar la producción específica de biogás de la planta entera de sorgo, se llevó a cabo el ensayo de digestión anaeróbica a escala de laboratorio mediante reactores discontinuos tomando como referencia el protocolo de Angelidaki *et al.* (2009). El inóculo empleado se extrajo del reactor anaeróbico operativo del sector Porcinos de la EEA Pergamino, el mismo fue aclimatado y estabilizado previamente para las condiciones del ensayo.

A partir del ensayo de digestión anaeróbica fue posible obtener los índices relativos de productividad de biogás (m³/tn MV, m³/tn de MS, m³/tn de MO,) y a través de los rendimientos de MV, MS y MO por hectárea se logró obtener el Rendimiento Potencial de Biogás (RPB, m³/ha). Posteriormente, mediante el PC eq (Poder Calorífico Equivalente) del biogás (0,018 GJ/m³) se determinó el potencial de producción de bioenergía en GJ/ha.

A continuación, para conocer si el proceso de la producción de biogás a partir del sorgo estudiado

es viable energéticamente se llevó adelante un balance de masa y energía de toda la etapa agrícola e industrial de este proceso bioenergético. A estos fines, se cuantificó la cantidad de combustible por hectárea necesaria para las labores de preparación de terreno, implantación, cosecha y transporte a la planta de procesamiento de la biomasa recolectada (Donato y Huerga, 2008; Butti, 2014; Acreche y Valeiro, 2011) y se estimó la energía indirecta requerida a partir de los insumos utilizados, como semillas, fertilizantes y agroquímicos. Por otro lado, para evaluar los requerimientos energéticos de la etapa industrial de la producción de biogás, se tomó como referencia el trabajo de Berglund y Börjesson (2006) para estimar los consumos de electricidad y calefacción necesarios para operar una planta de biogás.

Por último, se cuantificó el contenido de NPK del subproducto de la digestión anaeróbica (digerido) para estimar la energía directa e indirecta (Donato y Huerga, 2008; Butti, 2014; Acreche y Valeiro, 2011).

Resultados y discusión

Los rendimientos en MV fueron significativamente diferentes, con promedios de 96,95 tn/ha para BMR+ y 132,28 tn/ha para BMR-. En cuanto a los rendimientos en MS los mismos fueron significativamente diferentes con promedio de 24,01 y 36,04 tn/ha para BMR+ y BMR-, respectivamente (Figura 1).

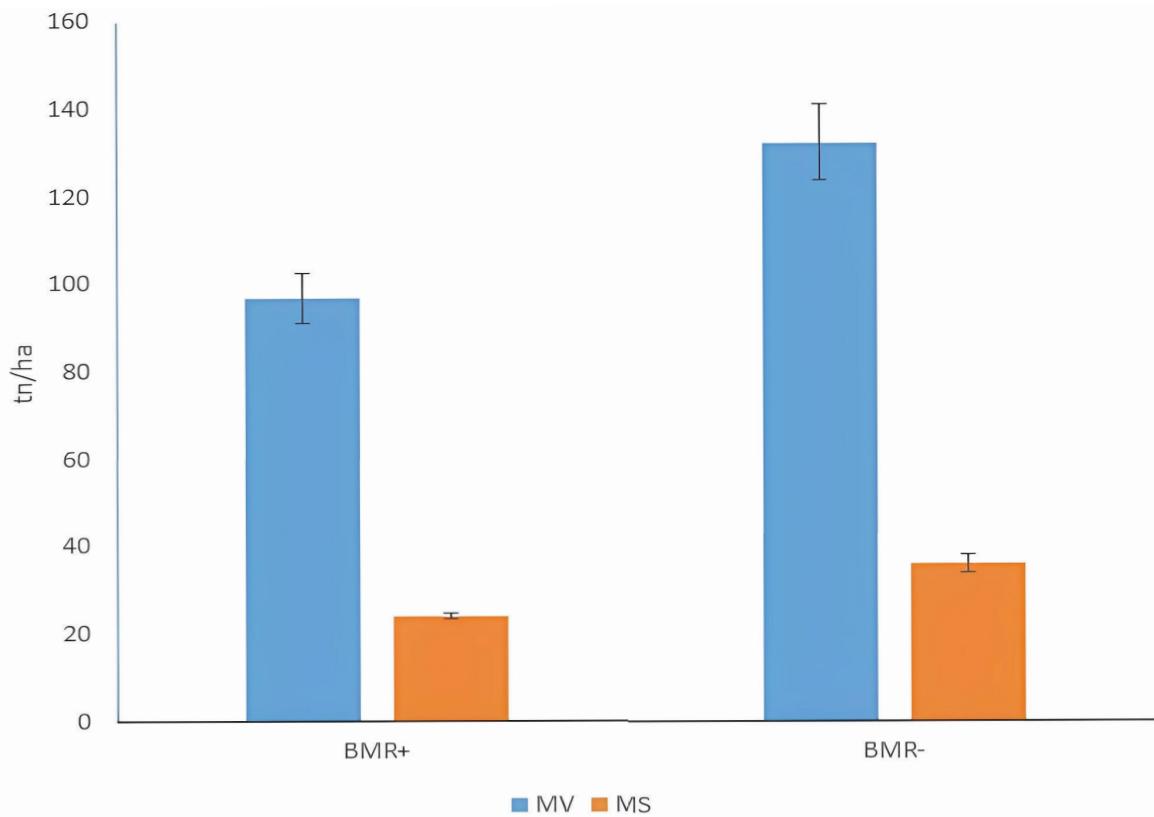


Figura 1. Rendimiento de biomasa expresado en materia verde (MV) y en materia seca (MS) de dos sorgos forrajeros fotosensitivos BMR+ y BMR-.

La producción específica de biogás promedio fue de 524,66 m³/tn de materia orgánica para BMR+ y 556,5 m³/tn de materia orgánica para BMR-, lo que corresponde a un RPB 11371,83 m³/ha y 18349,62 m³/ha, respectivamente. Estos valores superan a los reportados por Erbetta (2021), quienes evaluaron híbridos de sorgo forrajero fotosensitivo con y sin mutaciones bmr para la producción de biogás con un RPB de 8758,8 m³/ha para BMR+ y 11552,7 y 14849,2 m³/ha para BMR-, explicando la diferencia entre los híbridos principalmente por las variaciones en el rendimiento de la biomasa.

Por otro lado, el análisis del digerido a partir de BMR+ aportó 0,218 tn/ha de N, 0,029 tn/ha de

P y 0,303 tn/ha de K, mientras que el de BMR- aportó 0,353 tn/ha de N, 0,029 tn/ha de P y 0,393 tn/ha de K (Tabla 1).

Tabla 1: Energía generada en el proceso de digestión anaeróbica

Energía generada	BMR+	BMR-	Equivalente de Energía	Energía total generada BMR+ (GJ/ha)	Energía total generada BMR- (GJ/ha)
Biogás (PE)	11371,83 m ³ /ha	18349,62 m ³ /ha	0,018 GJ/m ³	204,69	330,29
Nt	0,218 tn/ha	0,353 tn/ha	54 GJ/tn	11,77	19,06
Pt	0,029 tn/ha	0,029 tn/ha	14 GJ/tn	0,41	0,41
Kt	0,303 tn/ha	0,393 tn/ha	11,15 GJ/tn	3,78	4,38
TOTAL				220,65	354,14

La energía renovable total generada en el proceso de digestión anaeróbica, considerando tanto el biogás como el biofertilizante obtenido, fue de 220,65 GJ/ha para BMR+ y 354,14 GJ/ha para BMR-. A pesar de que la producción de biogás por tonelada de materia orgánica es comparable entre ambos sorgos, la diferencia significativa en la productividad de biogás por hectárea se explica por el mayor rendimiento en biomasa del sorgo

BMR-. Este hecho señala la importancia de considerar no solo el potencial energético por tonelada de biomasa, sino también su rendimiento total por hectárea para maximizar la producción de energía renovable.

En la Tabla 2 se observa el consumo de energía de todo el proceso de la producción de biogás a partir de la biomasa de sorgo en estudio.

Tabla 2: Energía consumida en el proceso de producción de biogás a partir de la biomasa de sorgo.

Energía generada		BMR+	BMR-
Etapa Agrícola (GJ/ha)	E. Directa	8,70	10,35
	E. Indirecta	5,08	5,08
Etapa Industrial (GJ/ha)		42,30	63,55
TOTAL		56,08	78,89

El consumo de energía directa en la etapa agrícola fue de 8,70 GJ/ha para BMR+ y 10,35 GJ/ha para BMR-. La energía indirecta en la etapa agrícola fue de 5,08 GJ/ha para ambos sorgos resultando en un total de energía consumida en la etapa agrícola de 13,78 y 15,43 GJ/ha para BMR+ y BMR-, respectivamente. La diferencia en la etapa agrícola se debe al mayor rendimiento del sorgo BMR- lo que requiere mayor consumo de combustible por parte de la cosechadora, así como también, el uso de un camión adicional para el transporte de la biomasa. La energía indirecta no varía ya que se utilizaron las mismas cantidades de semilla y de insumos para la producción de la biomasa. Por otra parte, la energía consumida en la etapa industrial (producción de biogás) fue de 42,30 GJ/ha para BMR+ y 63,55 GJ/ha para BMR- diferencia que es consecuencia de un mayor volumen de biomasa para digerir a biogás. De esta manera, el consumo total de energía para la producción de biogás a partir de los sorgos forrajeros fotosensitivos fue de 56,08 GJ/ha para BMR+ y 78,98 GJ/ha para BMR.

A partir de los datos anteriores se puede observar que por cada unidad de energía fósil consumida se generan 3,93 y 4,48 unidades de energía renovable cuando se aprovecha la biomasa de sorgo fotosensitivo BMR+ y BMR- respectivamente, demostrando que la digestión anaeróbica de esta biomasa es un proceso favorable en términos energéticos. El rendimiento en biomasa por hectárea es un factor determinante para optimizar la generación de bioenergía, posicionando al sorgo BMR- como una opción más ventajosa en términos de productividad total de energía renovable por superficie cultivada.

Conclusión

Los sorgos forrajeros fotosensitivos BMR+ y BMR- demostraron un balance energético positivo, lo que, sumado a sus características agronómicas, los posiciona como una alternativa viable como cultivo energético para la producción de biogás y biofertilizante a través de la digestión anaeróbica.

Bibliografía

Acreche. M. M; Valeiro. A. H. 2001. Balance Energético y Emisiones de gases de efecto Invernadero de la Agroindustria Sucro-Alcoholera de Tucumán. Buenos Aires: Ediciones INTA, 2001. 7 p

Angelidaki, I.; Alves, M.; Bolzonella, D.; Borzacconi, L.; Campos, J.L.; Guwy, A.J.; Kalyuzhnyi, S.; Jenicek, P.; van Lier, J.B. 2009. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. En: Water Science and Technology, vol 59, no. 5, p. 927-934.

Berglund, M.; Börjesson, P. 2006. Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. En: Biomass and Bioenergy, 30(3), 254-266.

Butti, M. (2014). Producción de bioenergía utilizando sorgo dulce como cultivo energético: estudio sobre cultivares de la provincia de Córdoba. Tesis Magister. Universidad Nacional de Salta (AR), 210 p.

Donato, L.; Huerga I., 2009. Balance energético. En: Revista IDIA XXI. Año IX. Ediciones INTA, Argentina. 44-48 p.

Detección de patógenos del maíz transmitidos por *Dalbulus maidis* en el norte de la provincia de Buenos Aires

Viviana Decker^{1 *}; Federico Peralba²; Lucrecia Courerot³; Pablo Copia³

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Laboratorio Biotecnología (Argentina).

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Entomología (Argentina).

³ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Fitopatología (Argentina)

*decker.viviana@inta.gob.ar

Durante la campaña 2023/24 se detectó la presencia en el partido de Pergamino de poblaciones de *Dalbulus maidis*, vector potencial de patógenos que producen el complejo del achaparramiento del maíz. El objetivo fue la puesta a punto de técnica de detección del complejo por PCR de los patógenos en INTA Pergamino para detectar si hubo presencia del complejo achaparramiento en el norte de Bs. As.

PALABRAS CLAVES: PCR, San Nicolás, Pergamino, Achaparramiento, Chicharritas.

Introducción

El achaparramiento del maíz (*Zea mays L.*) es causado por un complejo de cuatro patógenos que son transmitidos, solos o en conjunto, por el insecto vector *Dalbulus maidis*. De los cuatro

patógenos dos son bacterias sin pared celular el *maize bushy stunt phytoplasma* (MBSP) y el *corn stunt spiroplasma* (CSS) y dos son virus: *Maize striate mosaic virus* (MSMV) que es un virus de ADN y el *maize rayado fino virus* (MRFV) virus de ARN.

Los antecedentes con los que se contaba previos a la campaña 2023/24 son escasos por debajo del paralelo 31°S. A esta zona se la denomina “templada u ocasional” ya que la presencia del vector puede visualizarse en forma esporádica y hacia mediados del verano (Virla *et al.*, 2013).

En este sentido los primeros registros para la provincia de Buenos Aires datan de finales del verano de 2001 y 2005, donde se encontraron especímenes de *Dalbulus maidis* hacia finales del verano. A su vez en estas campañas de recolección también pudieron encontrarse algunas plantas que dieron positivos los ensayos para *spiroplasma kunkelii* (Giménez Pecci *et al.*, 2005).

El registro más austral para la provincia de Buenos Aires corresponde a la campaña 2022/23 donde se detectó a *Dalbulus maidis* en el cinturón hortícola de la ciudad de Mar del Plata (Alonso *et. al.*, 2023). Todos los registros de casos de plantas enfermas entre las dos fechas citadas fueron hacia fines de verano y durante el otoño para la provincia.

Recientemente, durante la campaña 2023/24 se observó la presencia de poblaciones de *D.maidis* de forma anticipada (Peralba *et al.*, 2024). El primer registro se realizó dentro de la EEA INTA Pergamino y corresponde al día 15 de enero con una densidad muy baja y solo en cabeceras de un lote. En los primeros días de febrero se observaron poblaciones superiores a una chicharrita por planta. Esto se generalizó en los maíces de siembra más tardía del partido de Pergamino y alrededores, incrementándose su población hasta mayo.

A partir de mayo las poblaciones de este vector comenzaron a disminuir producto de las bajas temperaturas y la falta de alimento. Los últimos registros datan para el mes de julio en pasturas consociadas.

Estas poblaciones afectaron los maíces sembrados a partir de enero 2024 donde la sintomatología compatible con achaparramiento podía verse en todo el lote. Las siembras tempranas escaparon por temporalidad y solo se pudo observar sintomatología en cabecera de lote, especialmente en los sembrados a partir de la segunda quincena de diciembre en el partido de Pergamino.

Ante esta problemática de importancia creciente, se avanzó en poner a punto la metodología para detectar por medio de PCR la presencia de los patógenos que causan el achaparramiento. Esto permitiría confirmar si las chicharritas eran infectivas y la presencia de estos patógenos en las plantas.

Objetivos

Puesta a punto de técnica de detección del complejo por marcadores específicos de los patógenos *Spiroplasma kunkelli*, el fitoplasma y el virus del mosaico que producen los síntomas de achaparramiento en el laboratorio de Biotecnología de EEA INTA Pergamino. Detectar si hubo presencia del complejo achaparramiento en el norte de la provincia de Bs. As.

Materiales y métodos

Para tener un parámetro de los vectores al final de la campaña se colectaron chicharritas el 30 de mayo del 2024 en Pergamino y el 2 de agosto de 2024 en San Nicolás, Buenos Aires, de los campos cosechados de maíz que habían presentado síntomas. Se obtuvieron más de 100 ejemplares recolectados sobre maíz de siembra tardía en el partido de Pergamino y San Nicolás. La metodología empleada para la colecta de las chicharritas consistió en 10 estaciones de muestreo con 16 golpes de red por cada una de ellas. Se realizó la extracción de ADN de diez chicharritas para la zona de Pergamino tomadas al azar de las aproximadamente 100 colectadas y dos para la zona de San Nicolás (el último registro) siguiendo el protocolo de Kleinhofs *et al.* (1993), tomando una chicharrita por tubo como se muestra en la Figura 1. Los patógenos se detectaron mediante la amplificación de ADN por PCR utilizando cebadores específicos tomados de bibliografía, para fitoplasma que causa MBSP, *S. kunkelii* y para

MSMV. Los productos de amplificación específicos presentaron un tamaño de 1500, 350 y 664 pb respectivamente. Las reacciones de amplificación se realizaron en un ciclador térmico Veriti de 96 pocillos (Thermo Fisher Scientific., Waltham, MA) con las siguientes condiciones de ciclado: un ciclo de 94°C durante cinco minutos; 35 ciclos de desnaturalización a 94°C por treinta segundos, unión de los cebadores a 60°C por treinta segundos, y para la extensión a 72°C por cuarenta y cinco segundos; seguido de un ciclo de extensión final a 72°C por diez minutos. Para un mejor diagnóstico se incluyeron controles positivos de chicharritas provenientes de plantas con síntomas y otro de una planta conteniendo cada patógeno de los del trabajo, un negativo y un blanco con agua. Los productos de amplificación se visualizaron mediante electroforesis en geles de agarosa 1% teñido con bromuro de etidio bajo luz ultravioleta.

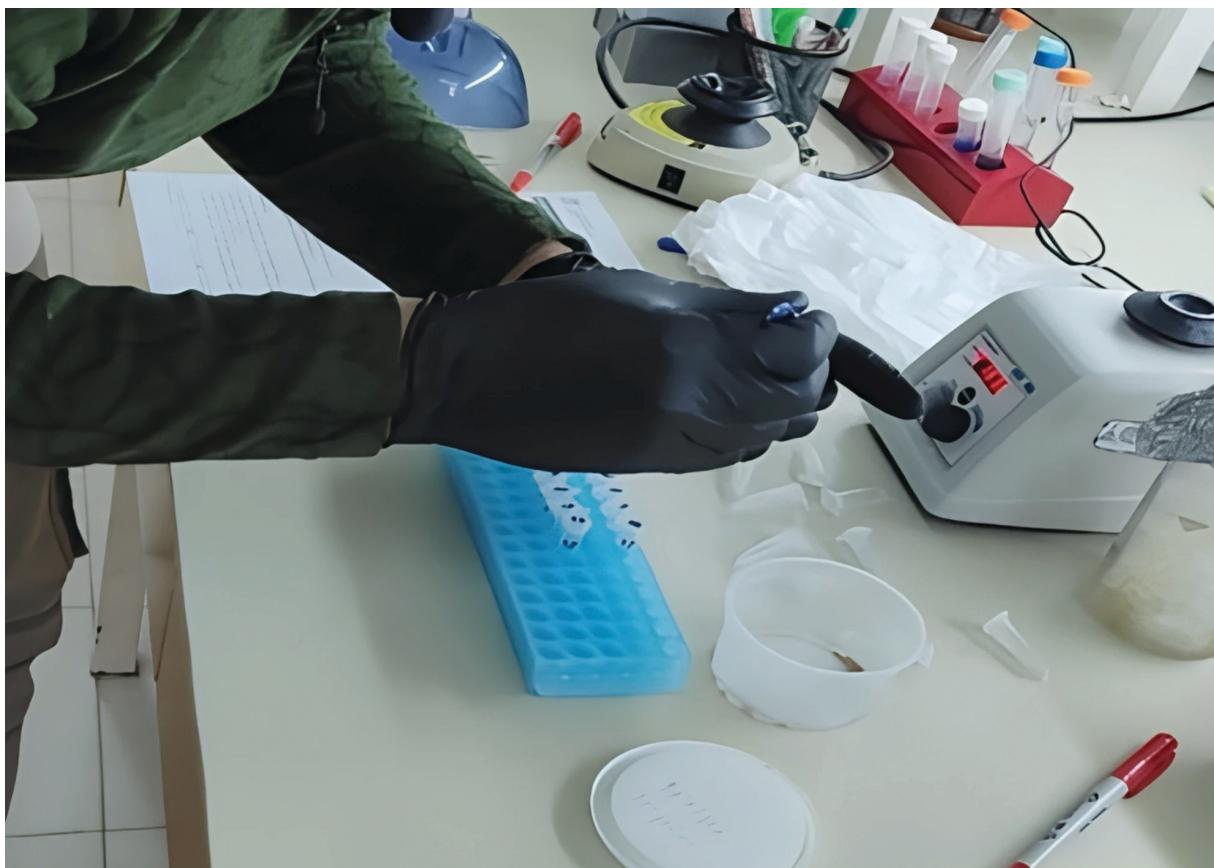


Figura 1. Colocación de una chicharrita por tubo con la ayuda de una pinza, para luego incorporar el buffer y comenzar con la extracción.

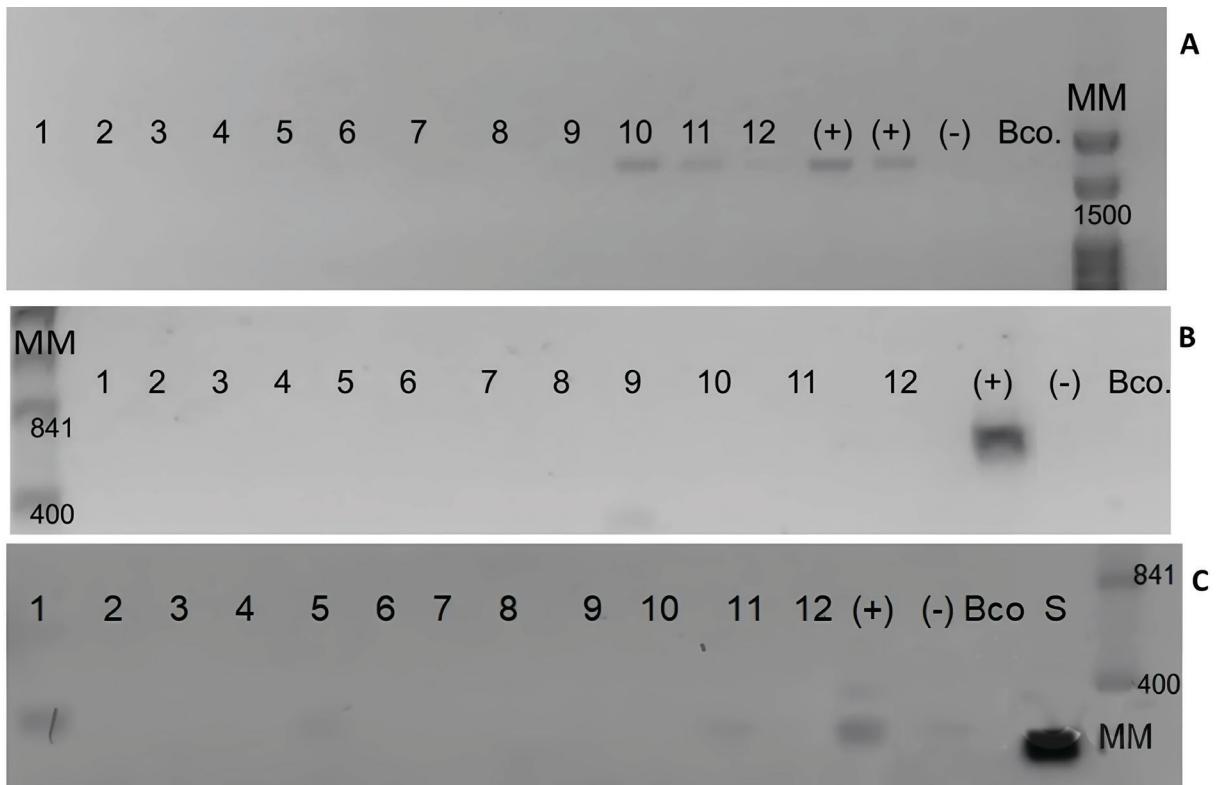


Figura 2. Geles corridos en agarosa al 1%, las calles de 1 a 10 corresponden a las chicharritas del partido de Pergamino, 11 y 12 al partido de San Nicolás, los controles (+) y (-) y (S) es el *S. kunkelii* puro en A) corresponde a MBSP, B) MSMV y C) CCS.

Resultados y discusión

Estos resultados confirman que las chicharritas colectadas en el norte de la provincia de Buenos Aires tuvieron presencia variable de los patógenos del complejo del achaparramiento del cultivo de maíz.

resultado de los cuatro patógenos que transmite la chicharrita, tres pudieron ser diagnosticados en el laboratorio, mientras que aún está en proceso la determinación del virus del rayado fino. De las chicharritas colectadas en Pergamino ($n=10$) el 10% contenían MBSP, y el 20% CSS, y no se detectó MSMV.

De las colectadas en San Nicolás ($n=2$) el 100% contenía MBSP, 50% CSS y no se detectó MSMV. Como se observa en la Figura 2 y Tabla1.

Tabla 1: Lectura de las bandas positivas en el gel

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Localidad	Pergamino										San Nicolás	
MBSP										+	+	+
MSMV												
CSS	+				+						+	

Conclusiones

Se logró poner a punto la técnica de PCR para la detección de tres de los cuatro patógenos que transmite el vector *D. maidis* asociados al complejo achaparramiento de maíz. A partir de esta técnica se detectaron en Pergamino y San Nicolas chicharritas con los patógenos CSS y MBSP siendo esta una herramienta importante al corroborar los agentes causales que están ocasionando la enfermedad, de esta forma lograr un diagnóstico más preciso, que ayuda a la planificación de la próxima campaña y prevenir futuras pérdidas. Si se detecta en forma temprana con un monitoreo programado, permitiría lograr estrategias de prevención y/o tratamiento mediante el uso de fitosanitarios.

Bibliografía

Alonso, M.; Paradell, S.; Viglianchino, L. E.; Virla, E. 2023. Hallazgo de la chicharrita *Dalbulus maidis*, vector del “achaparramiento del maíz”, en el cinturón hortícola de Gral. Pueyrredon. En: Informe. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, INTA. Disponible en: <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/16090>

Giménez Pecci, M.; Laguna, I.; Carpane, P.; Carloni, E.; Murua, L. 2005. Dispersión e incidencia del Corn Stunt Spiroplasma en el cultivo de maíz en diferentes áreas de Argentina. En: XIII Congreso Latinoamericano de Fitopatología y III Taller de la Asociación Argentina de Fitopatólogos. 19 al 22 de abril, Villa Carlos Paz, Córdoba, (Ar) p. 477.

Kleinhofs, A.; Kilian, A.; Saghai Maroof, M.A.; et al. 1993. A molecular, isozyme and morphological map of the barley (*Hordeum vulgare*) genome. En: Theoretical and Applied Genetics 86: 705–712.

Peralba, F.; Llovet, A.; Estelrich, C.; Pérez, G.; Melión, D.; De San Celedonio, R.; Jecke, F. 2024. Evolución poblacional de *Dalbulus maidis* en el área de influencia de INTA Pergamino. En: Información Técnica INTA Pergamino. Informe Técnico. AER Bolívar - Bragado - Chivilcoy - San Antonio de Areco (diciembre). Disponible en: <https://bit.ly/3PTBK1K>

Virla, E. G. 2024. *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae), vector del “achaparramiento o raquitismo” del maíz: Aspectos biológicos más relevantes, con especial referencia a los conocimientos generados en Argentina. En: Miscelánea 152 : 1-49.

Respuesta productiva y de calidad a la fertilización nitrogenada en trigo

Fernando Jecke^{*1}, Gonzalo Santia¹

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Agencia de Extensión Rural San Antonio de Areco (Argentina)

* jecke.fernando@inta.gob.ar

Durante la campaña 2024 se observó un retraso en la aplicación de fertilizantes nitrogenados para refertilización en trigo, situación que podría afectar el rendimiento y la calidad del grano. Por ello se realizó un experimento con diferentes planteos de fertilización nitrogenada donde se evaluó la respuesta en rendimiento y calidad, observando una respuesta positiva al incremento de la dosis.

PALABRAS CLAVE: Trigo, Proteína, Dosis, Fertilizantes, Tecnología de aplicación.

Introducción

El cultivo de trigo, principal cereal de invierno cultivado en la Región Pampeana ocupa un rol fundamental en las rotaciones agrícolas. Por su parte, el nitrógeno (N) es el elemento más

importante para la nutrición de las gramíneas (Marschner, 1995) La carencia de este elemento afecta el crecimiento, la expansión foliar, la eficiencia fotosintética, y como resultado final se ve afectado el rendimiento del cultivo, la calidad industrial y panadera de las harinas (Chen *et. al.*, 2024).

Durante la campaña 2024 se observó un retraso en la aplicación de fertilizantes nitrogenados para refertilización en trigo debido a la baja disponibilidad de los mismos. Esto podría llevar a problemas similares a los experimentados en 2015 cuando gran parte del trigo producido en la región agrícola argentina no cumplió con los estándares de calidad requerida por el mercado, registrando un contenido promedio de proteínas del orden del 9,5% (base 13,5%H) (Fertilizar AC).

Por lo tanto, ajustar la dosis, definir la fuente y el momento de aplicación generan beneficios en el rendimiento y la calidad del grano cosechado. La cantidad de nitrógeno aplicada influye directamente en el contenido de proteína del grano. Si bien un déficit puede reducir la calidad panadera. Por ello el objetivo de este experimento fue evaluar la respuesta del cultivo de trigo a diferentes dosis, fuentes y momentos de aplicación de N.

Materiales y métodos

Durante el año 2024, se realizó un experimento de fertilización con la especie *Tritucum aestivum* L. implantado en Unidad Demostrativa Agrícola de la AER San Antonio de Areco, sobre un suelo Serie Capitán Sarmiento, Argiudol vertebral.

Se sembró el día 5 de Junio de 2023 en siembra directa, el material seleccionado fue la variedad IS Tero con una densidad de 300 pl/m² y con distanciamiento de 0,2 m entre líneas con parcelas de 5m de largo. Los experimentos tuvieron un diseño en bloques al azar (DBCA) con cuatro repeticiones y los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 1. Por su parte, el análisis de suelo se presentó en la Tabla 2, y las precipitaciones registradas a lo largo del ciclo del cultivo se presentan en la Figura 1. El cultivo se mantuvo libre de enfermedades y malezas.

Los tratamientos 2, 3, 4, 5 y 6 se aplicaron en Z 2.3 (macollaje) de la escala de Zadocks *et. al.* (1974) el 02/08/2024 previo a una precipitación que asegurara su correcta incorporación. La segunda aplicación del tratamiento 6 se realizó el 19/09/2024 previo a una precipitación; mientras que el fertilizante foliar se aplicó el 20/09/2024, en ambas el estado del cultivo fue Z 3.9.

A lo largo del ciclo del cultivo se realizaron evaluaciones de cobertura mediante la aplicación Canopeo (Oklahoma State University) (Z 2.5), NDVI por Green seeker (Z 2.5 y Z 3.2) e intercepción de la radiación fotosintéticamente activa mediante un ceptómetro (Z 6.0).

La cosecha se realizó con una cosechadora autopropulsada de parcelas dentro de los cinco surcos centrales (23/11/2024). Sobre una muestra del grano cosechado se determinó el peso de mil granos (PMG). Para el análisis de calidad se confeccionó una muestra compuesta por las 4 repeticiones y se cuantificó peso hectolítrico (PH), proteína sobre base húmeda al 13,5 %, proteína sobre sustancia seca (S.S.S.) y porcentaje de gluten en la Cámara Arbitral de Cereales de Bahía Blanca.

Se realizó un análisis de la varianza para un DBCA y se compararon las medias con el test Tukey al 0,05 con el programa Infostat Versión 2018e.

Tabla 1: Tratamientos de fertilización evaluados.

Tratamiento	Dosis y fuente	Fuente	Momento
T1	Testigo sin fertilización N		
T2	50 kg N/ha	Urea	Z 2.5
T3	100 kg N/ha	Urea	Z 2.5
T4	200 kg N/ha	Urea	Z 2.5
T5	200 kg N/ha 5 lts/ha de Fertilizante Foliar (355 gr N/lt)	Urea Azofol	Z 2.5 Z 3.9
T6	200 kg N/ha	Urea	Z 2.5
	20 kg N/ha sólido al suelo	Urea	Z 3.9

Tabla 2: Datos de suelo al momento de la siembra

Materia Orgánica	Fósforo	N-Nitratos (0-20) cm	N-Nitratos (20-40) cm	pH	Zn
%	mg/kg	ppm	pm	agua 1:2,5	ppm
3.1	17.6	10.8	11.1	5.9	0.68
Medio	Medio	Medio	Medio	Lig. ácido	Bajo
CE	Ca	Mg	K	Na	-
dS m ⁻¹	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	-
0.01	10.3	2.0	0.9	0.4	-
Muy Bajo	Muy alto	Alto	Muy alto	Muy bajo	-

Resultados y discusión

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones mensuales registradas entre los meses de Junio hasta Diciembre del año 2024 y las precipitaciones históricas promedio mensuales para los mismos meses entre 1982 y 2023. La preci-

pitación total durante el ciclo de crecimiento del cultivo ascendió a los 289 mm, mientras que la campaña pasada fue de 527mm y el promedio histórico para los mismos meses fue de 427 mm lo que indica que la oferta hídrica durante el ciclo fue limitada.

En cuanto a su distribución, las precipitaciones fueron muy irregulares. Los meses de junio, julio y septiembre acumularon en total 26 mm. En cambio, en agosto se acumularon 94 mm y 169 mm en la etapa final del ciclo del cultivo. Durante

los meses junio, julio y agosto se registraron temperaturas con valores más bajos de lo habitual. Las altas temperaturas de finales del mes de noviembre aceleraron el secado del grano y anticiparon la cosecha.

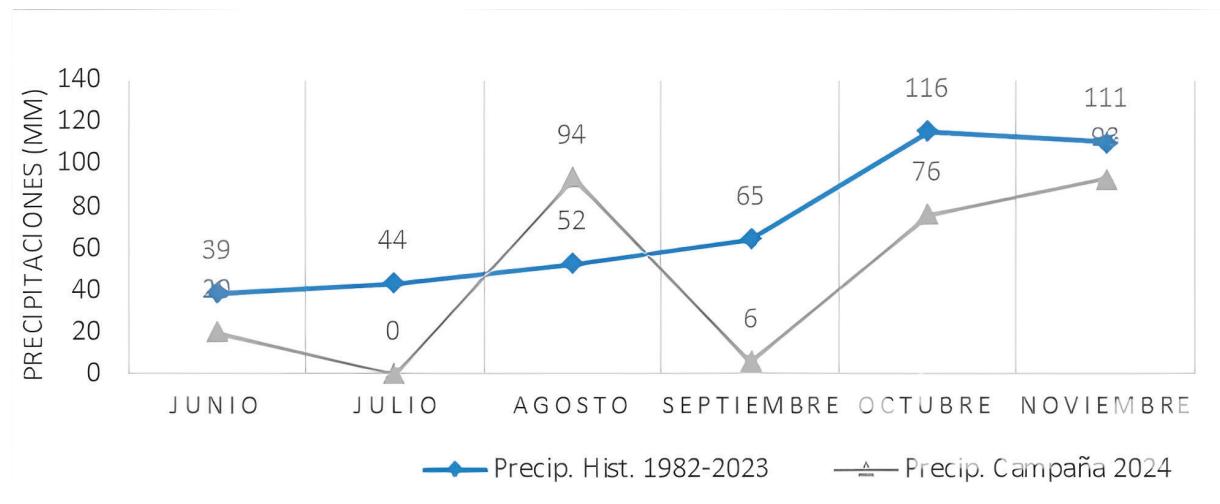


Figura 1. Precipitaciones mensuales durante la campaña 2024 y el promedio histórico (1982-2023) en la localidad de San Antonio de Areco.

En la Tabla 3 se presentan los datos de observaciones tomadas durante el ciclo de cultivo. El rendimiento presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos fertilizados y el testigo absoluto (Tabla 3) registrando incrementos en el rango de en los 1288 Kg/ha para la dosis más baja de N (T2) a 1627 Kg/ha para el nivel máximo (T6). No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados debido, probablemente, a la adecuada disponibilidad de nitratos que poseía el suelo al momento de la siembra.

No se observaron diferencias significativas ($P>0,05$) en la evaluación de porcentaje de cobertura de suelo y NDVI en Z 2.5; aunque si para esta última en Z 3.2 observando diferencias significativas entre las dosis superiores a 100 kg N/ha y el testigo. Para el porcentaje de intercepción de la radiación solar no se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$), aunque, como tendencia, los tratamientos fertilizados logran mayores valores que el testigo.

tura de suelo y NDVI en Z 2.5; aunque si para esta última en Z 3.2 observando diferencias significativas entre las dosis superiores a 100 kg N/ha y el testigo. Para el porcentaje de intercepción de la radiación solar no se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$), aunque, como tendencia, los tratamientos fertilizados logran mayores valores que el testigo.

Tabla 3: Cobertura, NDVI, Intercepción de la radiación solar (%), PMG y rinde (kg/ha). Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey $\alpha=0,05$).

T	Tratamientos	Cobertura Z 2.5	NDVI Z 2.5	NDVI Z 3.2	Intercepción (%) Z 6.0	PMG
T1	Testigo	64,3 a	0,53 a	0,62 a	58,2 a	38,5 a
T2	50 kg N	65,7 a	0,54 a	0,69 ab	74,3 a	37,3 a
T3	100 kg N	68,0 a	0,57 a	0,73 b	74,2 a	38,5 a
T4	200 kg N	67,0 a	0,55 a	0,74 b	76,9 a	37,8 a
T5	200 kg N + Fert. Fol	64,2 a	0,59 a	0,72 b	77,6 a	37,8 a
T6	200 kg N + 20kg N	71,9 a	0,59 a	0,74 b	65,1 a	38,5 a

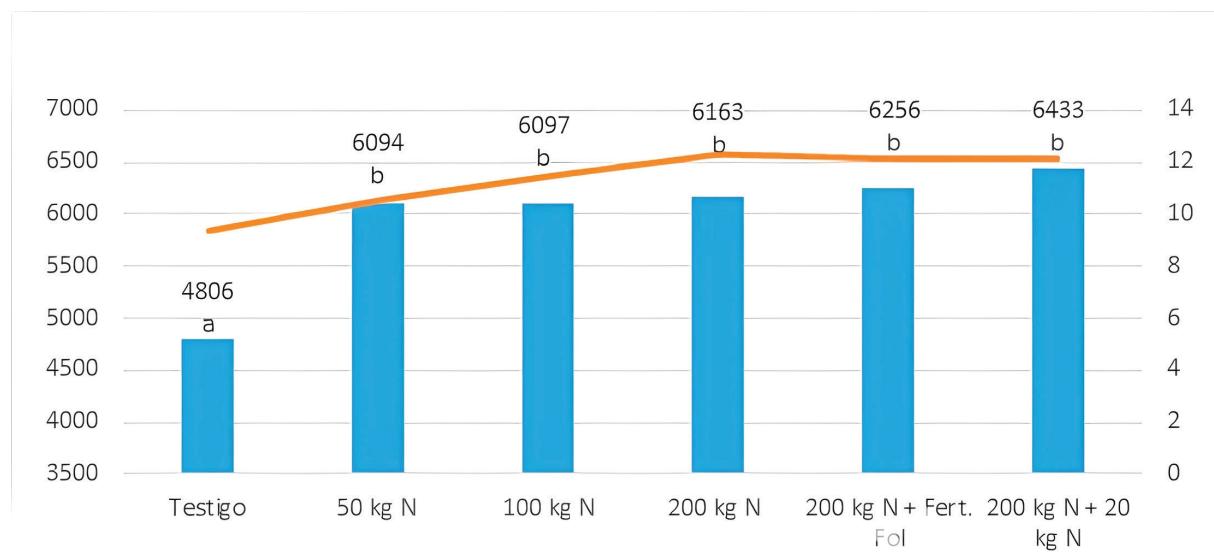


Figura 2: Rendimiento y concentración de proteína (%) en trigo según dosis, fuentes y momento de aplicación de nitrógeno en trigo. San Antonio de Areco, campaña 2024.

En la Tabla 4 se muestran los resultados del análisis de calidad realizado para cada tratamiento. Los niveles de proteína en base húmeda (es la que se tiene en cuenta para la comercialización) presentaron una correlación positiva con la dosis de N aplicado. En las dosis más bajas de N (50 y 100 kg N/ha) se observaron niveles más bajos de proteína, mientras que a partir de los 200 Kg N/ha no se observan incrementos

de proteína por el agregado de un fertilizante foliar o de urea al suelo en hoja bandera. Similar respuesta se observa con el porcentaje de proteína SSS y de gluten.

Tabla 4: Peso hectolítico, Proteína Bruta al 13,5 % de Humedad, Proteína sobre base seca (S.S.S.) y gluten húmedo (%)

T	Tratamientos	PH	Proteína B 13.5 Hum	Proteína S.S.S.	Gluten (%)
T1	Testigo	81,6	9,4	10,9	21,1
T2	50 kg N	82,0	10,5	12,1	24,5
T3	100 kg N	81,9	11,5	13,3	27,9
T4	200 kg N	82,0	12,3	14,2	30,1
T5	200 kg N + Fert. Fol	82,2	12,1	14,0	29,6
T6	200 kg N + 20kg N	82,6	12,1	14,0	29,7

Conclusiones

Se lograron obtener niveles de productividad muy elevados con las dosis más bajas de fertilización nitrogenada (50 Kg N/ha) aunque a costo de diluir el N en grano perjudicando su calidad; mientras que se consiguieron valores adecuados de rendimiento y calidad con niveles de fertilización superiores a los 100 Kg N/ha. Se plantea como desafío futuro evaluar las estrategias descriptas en un ambiente con menor contenido de N en suelo, donde la recuperación y uso eficiente del N se vuelve crítica para obtener altos rendimientos con calidad.

Bibliografía

Chen R.; Xiaotao H.; Wene W.; Hui Y. 2024. Impact of nitrogen on photosynthesis, remobilization, yield, and efficiency in winter wheat under heat and drought stress. En: Agricultural Water Management 302: 109013.

Fertilizar Asociación civil. 2024. La baja refertilización del trigo afectará la calidad del cultivo. Disponible en: <https://fertilizar.org.ar/la-baja-refertilizacion-del-trigo-afectara-la-calidad-del-cultivo/> [consultado: Febrero 2025].

Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press

Zadoks, J.C.; Chang T.T.; Konzak C.F. 1974. A Decimal Code for the Growth Stages of Cereals. En: Weed Research 14: 415-421.

Fuentes “starters” para la fertilización en línea de *Brassica carinata*

Gustavo N. Ferraris¹; Fernando Jecke²;
Fernando Mousegne²; Gonzalo Santia²
y Orlando Vellaz³

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Manejo de Cultivos (Argentina)

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Agencia de Extensión Rural San Antonio de Areco (Argentina)

³ Nuseed Argentina S.A.

*ferraris.gustavo@inta.gob.ar

Brassica carinata es una especie invernal de gran tamaño y elevada respuesta a fósforo. La adición de otros macro y micro-nutrientes en las mezclas suele potenciar su efecto en cereales. Las mezclas químicas presentan mejores resultados, por su granulometría y composición estable. ¿Deberíamos esperar lo mismo en Carinata? El sitio Pergamino lo confirma, aunque en San Antonio de Areco MAP presentó un comportamiento destacado

PALABRAS CLAVE: Brassicaceas, Fósforo, Azufre, Micronutrientes, Eficiencia.

Introducción

El interés en las crucíferas o brasicáceas reside en la producción de aceites comestibles de calidad, y últimamente en la obtención de biocombustibles.

Con este objetivo, algunas especies como *Brassica carinata* se encuentran en franca expansión. Su inclusión en las secuencias de cultivo podría mejorar la rentabilidad y sustentabilidad de los sistemas (Karami *et al.*, 2024). En todos los cultivos invernales, el fósforo (P) es un elemento determinante. No sólo favorece la adaptación al frío y bajas precipitaciones. Los resultados obtenidos en diferentes experimentos muestran que tanto la producción de biomasa aérea como las concentraciones de nitrógeno (N) y P en la planta, pueden incrementar significativamente (Bashval *et al.*, 2023). La diversidad de fuentes fosforadas presentes en el mercado argentino se ha incrementado notoriamente. Mezclas físicas y químicas, macro y microgranulados, sólidos o líquidos son algunas de las alternativas de las que dispone el productor. Es habitual que aporten otros elementos químicos esenciales para los cultivos de probada eficiencia agronómica, como azufre (S) (Mahto *et al.*, 2024), zinc (Zn) o boro (B), de gran valor agronómico en el cultivo.

El objetivo de este experimento es seleccionar las mejores fuentes para la fertilización de base de *Brassica carinata*. Como hipótesis se sugiere que estas difieren en su comportamiento agronómico, a partir de un aporte diferencial de nutrientes, y características propias de la formulación y granulometría que determinan su eficiencia.

Materiales y métodos

Durante el año 2024, se condujeron dos experimentos de fertilización a campo con la especie *Brassica carinata*. El primero de ellos se condujo en la EEA INTA Pergamino, sobre un suelo Se-

rie Pergamino, Clase I-2, Argiudol típico, familia fina, illítica, térmica (USDA- Soil Taxonomy V. 2006). Se sembró el día 6 de Agosto. El segundo experimento se implantó en la localidad de San Antonio de Areco, sobre un suelo Serie Capitán Sarmiento, Argiudol vértico, Clase II s, IP 81, fina, illítica, térmica (Soil Taxonomy V. 2014). El experimento se implantó el día 6 de Junio de 2024.

En ambos casos, se utilizó el híbrido Nuseed Nu-jet 350. a una densidad de 140 pl/m y con distanciamiento de 0,2 m entre líneas. Se utilizaron 2 a 2,5 l/ha-1 de Trifularina fotoestable como preemergente. Durante el ciclo se realizaron dos aplicaciones de los insecticidas Lambdacialotrina + Clorantraniliprole, para controlar pulgón (*Brevicoryne brassicae L.*) y la oruga de las crucíferas (*Plutella xylostella*). Todas las parcelas recibieron una fertilización de base urea granulada (0-46-0). En San Antonio de Areco el cultivo se secó en precosecha con Glifosato, lo que no sucedió en Pergamino recurriendo al secado natural.

Los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 1. Por su parte, los análisis de suelo de los sitios se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1: Fuentes fosforadas aplicadas en *Brassica carinata*. INTA Pergamino y San Antonio de Areco, Campaña 2024.

Trat.	Descripción	Grado	Dosis
T1	Testigo		0 kg/ha
T2	Fosfato monoamónico	(11-23-0)	90 kg/ha
T3	Superfosfato triple de calcio	(0-20-0)	90 kg/ha
T4	Top Phos 724	(7-11-0-S11-Zn 0,3 B 0,1)	90 kg/ha
T5	Microessentials SZ	(10-17-0-S10-Zn1)	90 kg/ha
T6	MicroStar CMB Bio	(10-17-0-S4-Zn2)	40 kg/ha
T7	Micro+	(10-20-0-S2-Zn2)	40 kg/ha

Tabla 2: Datos de suelo al momento de la siembra

Profundidad	pH	CE	MO	P-disp.	N-Nitratos 0-60 cm	S-Sulfatos	Ca	Mg	K	Zn-EDTA
cm	agua 1:2,5	dS/m	%	ppm	kg/ha	kg/ha	ppm	ppm	ppm	ppm
Pergamino										
0-20 cm	5,8	0,05	3,8	15,8	41,2	7,2	1651	181	582	1,03
	Lig ácido	normal	alto	medio	bajo	bajo	muy alto	alto	muy alto	alto
S. A. de Areco										
0-20 cm	5,9	0,01	3,1	17,6	96,7		2062	243	351	
	Lig ácido	normal	alto	medio	alto		muy alto	muy alto	muy alto	

Se registraron las precipitaciones. Se determinó biomasa aérea en floración plena (F2) de la escala CETIOM (Agosti *et al.*, 2009). En el mismo estadío, se midió NDVI por Green seeker, intercepción mediante un radiómetro lineal y se estimó el contenido de N foliar por Minolta Spad. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Los resultados se analizaron mediante partición de varianza, comparaciones de medias (LSD $\alpha=0,05$) y análisis de regresión. Sobre una muestra de cosecha se cuantificó el peso de los granos, y se calculó el número de granos (NG).

Resultados y discusión

Pergamino

En la Tabla 3 se presentan datos de observaciones tomadas durante el ciclo de cultivo, mientras que en la Figura 1 los datos de rendimiento con la respectiva comparación de medias.

Tabla 3: Plantas logradas, NDVI por Green seeker, calificación del vigor, biomasa seca aérea (BA) en floración plena (F2), altura final de las plantas, intercepción, contenido de clorofila en hoja estimado por Spad. Fuentes para la fertilización fosforo-azufrada en Brassica carinata. Pergamino, año 2024.

T	Dosis MAP	Plantas /m2	NDVI F2	Vigor (1-5)	BA F2 (kg/ha)
T1	Testigo	95	0,58	3	6750
T2	MAP 90	90	0,65	3,7	8440
T3	SPT 90	93	0,63	3,3	7700
T4	Top Phos 90	89	0,66	4	8530
T5	Mess SZ 90	96	0,7	4	8400
T6	MCMB 40	90	0,69	3,9	7955
T7	Micro+ 40	101	0,67	3,8	7975
r2 vs rendimiento		0,11	0,82	0,92	0,86

T	Dosis MAP	Altura (cm)	Intercepción F2 (%)	Spad F2
T1	Testigo	84	83,2	48,1
T2	MAP 90	93	90,5	48,7
T3	SPT 90	89	89,1	47,1
T4	Top Phos 90	95	93,8	43,8
T5	Mess SZ 90	92	96,1	46,2
T6	MCMB 40	94	93,8	48,5
T7	Micro+ 40	94	92,5	49,1
	r2 vs rendimiento	0,85	0,91	0,18

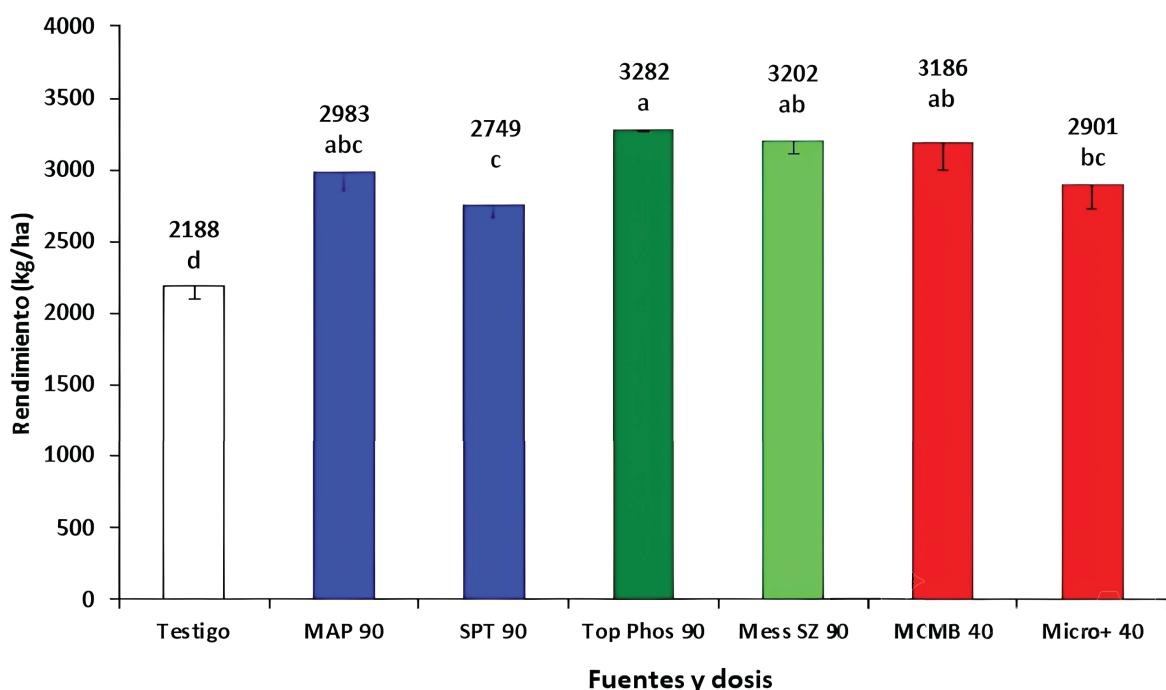


Figura 1: Rendimiento de *Brassica carinata* según fuente de fertilizante fosforado aplicado por debajo de la línea de siembra. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos (LSD a=0,05, dms=361 kg ha⁻¹). Las barras de error indican la desviación standard de la media INTA Pergamino, año 2024.

San Antonio de Areco

En la Tabla 4 se presentan datos de observaciones tomadas durante el ciclo de cultivo, mientras que en la Figura 2 los datos de rendimiento con la respectiva comparación de medias.

Tabla 4: Plantas logradas, NDVI por Green seeker, calificación del vigor, biomasa seca aérea (BA) en floración plena (F2), altura final de las plantas, intercepción, contenido de clorofila en hoja estimado por Spad, peso (PG) de los granos y NDVI por Green seeker. Fuentes para la fertilización fósforo-azufrada en *Brassica carinata*. San Antonio de Areco año 2024.

T	Fuente P	Plantas/m2	% Cob suelo (10/07)	% Cob suelo (07/08)	% Cob suelo (09/09)	NDVI (09/09)	NDVI (20/09)
T1	Testigo	92	0,74	18,2	71,8	0,55	0,66
T2	MAP 90	59	0,81	18,6	81,8	0,61	0,65
T3	SPT 90	63	0,66	15,6	79,1	0,57	0,67
T4	Top Phos 90	77	0,99	18,9	80,2	0,65	0,67
T5	Mess SZ 90	58	0,65	19,3	88,6	0,63	0,65
T6	MCMB 40	73	0,81	23,5	86,3	0,63	0,66
T7	Micro+ 40	66	0,84	16,8	80,9	0,60	0,66
	R2 vs rend	0,63	0,00	0,01	0,20	0,09	0,07

T	Fuente P	BA (kg/ha)	Altura (cm)	Intercepción radición (%)	Vigor	Peso de mil granos (grs)
T1	Testigo	39625	107,4	85,5	3,0	2,93
T2	MAP 90	62563	131,0	88,2	3,9	3,48
T3	SPT 90	43125	121,8	92,2	3,5	3,35
T4	Top Phos 90	52188	125,9	83,8	4,3	3,38
T5	Mess SZ 90	56875	131,0	84,1	4,3	3,68
T6	MCMB 40	54688	116,3	81,1	4,0	3,45
T7	Micro+ 40	62313	128,3	87,9	3,9	3,50
	R ² vs rend	0,58	0,62	0,10	0,18	0,41

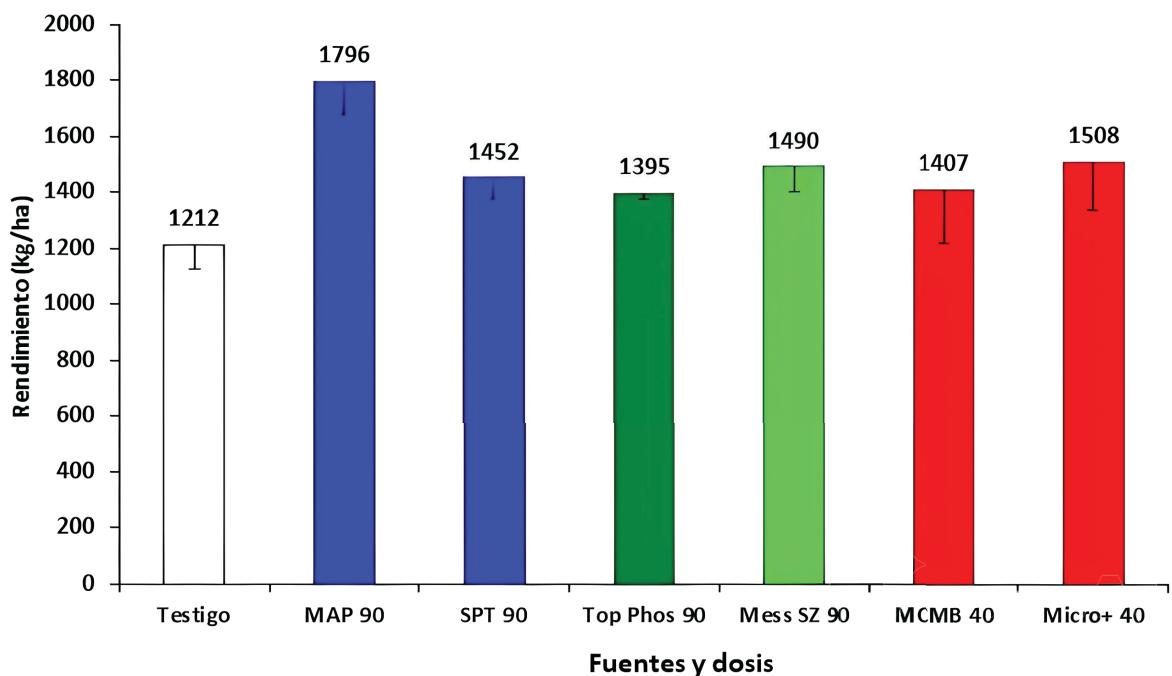


Figura 2: Rendimiento de *Brassica carinata* según fuente de fertilizante fosforado aplicado por debajo de la línea de siembra. Las barras de error indican la desviación standard de la media. INTA San Antonio de Areco, año 2024.

Las variables intermedias lograron anticipar el efecto de tratamiento. En Pergamino el NDVI, la calificación del vigor, biomasa, altura e intercepción de radiación guardaron una buena relación con rendimiento, demostrando mayor importancia y efecto de los tratamientos sobre la biomasa que la concentración de N (Tabla 3). En San Antonio de Areco la relación entre variables fue consistente siendo las prevalentes el stand de plantas, la acumulación de biomasa, altura de las plantas, y PG (Tabla 4).

En Pergamino, se determinaron diferencias significativas en los rendimientos (Figura 1). La nutrición balanceada con PSZn prevaleció por sobre la cantidad de P, alcanzando los mayores rendimientos en mezclas químicas multinutrientes como Top Phos, Mess Sz y Microstar CMB Bío,

quienes compartieron el grupo de rendimiento máximo, aunque estadísticamente no superaron a MAP (Figura 2). Las mezclas químicas prevalecieron también durante la campaña 2023 (Ferraris *et al.*, 2024). Un efecto contrario se observó en San Antonio de Areco. A nivel de tendencia, la fuente con mayor grado y aporte de P (MAP) fue la de mejor productividad absoluta (Figura 2). El resto presentaron resultados equivalentes. El testigo tendió a menor rendimientos. Su utilización se visualiza más segura, sin poner en riesgo la emergencia.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten aceptar las hipótesis 1. El uso de arrancadores fosforados y fosfato azufrado incrementó los rendimientos, siendo la diferencia estadística sólo en Pergamino. La hipótesis 2 se acepta parcialmente, y no permite establecer pautas definitivas. En Pergamino fue más importante la composición balanceada que las unidades de P agregadas, no sucediendo lo mismo en San Antonio de Areco.



Bibliografía

Bashyal, M.; Mulvaney, M.J.; Crozier, C.R.; Iboji, J.E.; Perondi, D.; Post, A.; Devkota, P. 2023. Brassica carinata nutrient accumulation and partitioning across maturity types and latitude. En: *Crop Science*, 63(2): 833-851.

Ferraris, G.N.; Jecke, F.A.; Mousegne, F.J.; Vellaz, O.; Santia, G. 2024. Fuentes fosforadas en *Brassica carinata*. En: *Revista de Tecnología Agropecuaria - RTA* 12 (44): 36-41. [http://hdl.handle.net/20.500.12123/18282*](http://hdl.handle.net/20.500.12123/18282)

Karami, O.; Huang, Y.K.; Dwivedi, P. 2024. Does *carinata*, an oilseed crop for sustainable aviation fuel, improve the eco-efficiency of crop rotations in South Georgia, United States?. En: *Journal of Cleaner Production* 453: 141986.

Mahto, R.; Singh, R.K.; Singh, J.P.; Tiwari, R.K.; Vishwakarma, D.K.; Obaidullah, A.J., ... & Yadav, A.K. 2024. Evaluation of *Brassica* species for growth, yield and heat use efficiency under nitrogen nutrition and iron sulphide nanoparticles application. En: *Scientia Horticulturae* 333: 113278.



Fotografía 1: Vista de los experimentos en Pergamino.

Dosis y eficiencia de uso de fósforo en trigo y cebada

Gonzalo Pérez^{1*}, Carolina Estelrich¹
y Pamela Giles García¹

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Agencia de Extensión Rural Bolívar (Argentina)

*perez.gonzalo@inta.gob.ar

La agricultura en campos arrendados representa un desafío para el manejo del fósforo (P). En experimentos en trigo y cebada con dosis crecientes de P se encontró respuesta a la fertilización, siendo mayor en años sin restricción hídrica. La eficiencia de uso del P difiere entre años y especies. Por lo tanto, la recomendación de fertilización debería tener en cuenta el rendimiento potencial del cultivo con relación a la condición hídrica al momento de la siembra.

PALABRAS CLAVE: Fertilización, Agua útil, Relación de precios, Agricultura, Campos arrendados

Introducción

Los cultivos de invierno que predominan en el partido de Bolívar son trigo (T) y cebada (C). En la campaña 2023, el 75% de la producción se

desarrolló en campos arrendados. Si bien la contribución al sistema por incluir estas especies en la rotación es considerable, existen aspectos productivos, ambientales y económicos que determinan la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de insumos, donde los fertilizantes constituyen uno de los mayores componentes del costo. Los altos porcentajes de producción en campos arrendados podrían suponer una limitante para la fertilización fosforada de los lotes (con un criterio de reconstrucción), ya que la decisión de recomendación está más asociada a un criterio de suficiencia.

En el centro oeste de la provincia de Buenos Aires es esperable encontrar respuestas al agregado de P en el cultivo de T, ya que los niveles de P-Bray 1 se encuentran en rangos que van desde 10 a 20 mg/kg (Sainz Rozas *et. al.*, 2019). La respuesta a dosis crecientes de P es independiente de la productividad. Sin embargo, hay reportes que dan cuenta de diferentes eficiencias de uso del P (EUP) lo que justificaría el uso de distintas dosis de dicho nutriente (Pérez *et. al.* 2022). Se han encontrado diferentes respuestas máximas a la fertilización fosforada interanuales (de 29% a 46%), lo que determina dosis de P dispares para maximizar el retorno económico por la fertilización fosforada según campañas (Pagani y Estelrich, 2020). Si bien la cebada puede presentar mayor sensibilidad a la deficiencia de P con respecto al trigo (Ferraris *et. al.*, 2012), existe poca información para la zona y para los cultivares utilizados en la actualidad.

En objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de T y C frente a dosis crecientes de P y la EUP en 3 campañas productivas contrastantes en lotes agrícolas del centro oeste bonaerense.

Materiales y métodos

Durante los años 2022, 2023 y 2024 en el Campo Experimental Don Domingo y Doña María Barretche de Bolívar ($36^{\circ} 8'54.35''$ S; $61^{\circ} 4'20.06''$ O) se realizaron experimentos en los cultivos de T y C con dosis crecientes de P: 0, 10, 20, 30 y 40 kg/ha, utilizando fosfato monoamónico (N:12, P₂O₅:52) como fuente del nutriente. Se utilizó urea para realizar el ajuste de nitrógeno a 250-x kg/ha (siendo x el contenido de N-NO³⁻ de 0-60 cm) en todas las parcelas, y se agregaron 20 kg/ha de azufre, para que no sea limitante. El cultivar de trigo utilizado fue Baguette 620 y el de cebada Sinfonía.

En cada año, a la siembra del cultivo, se realizó un muestreo de suelos en el espesor 0-20 cm. De cada parcela, en cada uno de los bloques, se extrajo una muestra compuesta, y se determinó P extractable (P, mg/kg) y materia orgánica (MO, %) y, en el espesor 0-60 cm, se evaluó nitrógeno de nitratos (N-NO³⁻, kg/ha). Se registraron las precipitaciones y se relevó el agua útil a la siembra (0-200 cm) (Tabla 1).

El diseño del experimento fue en bloques completos aleatorizados con 4 repeticiones con parcelas divididas, en el que la parcela principal fue la dosis de P y la parcela secundaria T y C. Cada unidad experimental tuvo una superficie de 7 m². El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA.

El ajuste del rendimiento en función de la dosis de P se realizó mediante ecuaciones lineal-plateau y lineales según la mejor correlación.

Para calcular la relación de precios (Rp) entre el P y el grano de T y C se utilizó la siguiente ecuación:

$$Relación\ de\ precios = \frac{Precio\ P\left(\frac{\$}{kg}\right) + interés}{Precio\ bruto\ grano\left(\frac{\$}{kg - gastos}\right)}$$

La tasa de interés utilizada fue de 3,3% mensual, considerando 6 meses. El precio bruto de grano responde a valores del Mercado de Futuros y Opciones para el mes de diciembre. Se consideró un 24% de gastos, teniendo en cuenta comercialización y flete.

Tabla 1: Fosforo extractable (P, mg/kg) y materia orgánica (MO, %) en los primeros 20 cm de suelo, nitrógeno de nitratos (NO₃, kg/ha) en los primeros 60 cm de suelo (promedio de 3 repeticiones), precipitaciones (pp) durante el período julio-noviembre y agua útil (AU) en los primeros 200 cm de suelo para los años 2022, 2023 y 2024.

Campaña	P (mg/kg)	MO (%)	NO ₃ -(0-60cm) (kg/ha)	pp (Jul-Nov) (mm)	AU (0-200cm)
2022	4,5	2,5	127	268	328
2023	10,7	2,9	50	291	81
2024	8,9	3,04	55	459	247

Resultados y Discusión

Los rendimientos promedio fueron 6.848, 2.779, y 6.510 kg/ha para las campañas 2022, 2023 y 2024, respectivamente. Dichos valores de producción se asocian al agua inicial acumulada en el perfil de suelo a la siembra del cultivo (Tabla 1), siendo superiores cuando más agua acumulada se registró. No existió interacción en ninguna de las 3 campañas entre la dosis de fertilizante fosforado y los cultivos de T y C, lo que indica que ambas especies tuvieron un comportamiento similar ante las dosis crecientes de P. Resultados similares fueron reportados por Grasso (2019) en ensayos de rotación de cultivos. En 2022, T y C mostraron respuestas similares para las dosis de P utilizadas, con un valor medio de 2.015 kg/ha. En 2023, donde la campaña presentó restricciones hídricas, C obtuvo mayor producción y con respuestas moderadas a la dosis de P de 310 kg/ha. En 2024, T fue la especie con mayor respuesta (1.100 kg/ha vs 430 kg/ha). En 2022 y 2024 la dosis media de P a partir de la cual no se obtuvo respuesta fue de 22 kg/ha. Si tomamos como referencia una concentración de P en grano en trigo de 0,3% (Pagani y Estelrich, 2020), con un rendimiento de 6.600 kg/ha estaríamos en una condición de balance neutro del nutriente.

La EUP en 2022 fue de 131 kg grano/kg P para C y 47 kg grano/kg P para T. Estas diferencias a favor de C podrían deberse a la baja disponibilidad de P inicial, teniendo en cuenta que C posee un sistema radicular menos desarrollado que T y, por lo tanto, menos capacidad exploratoria y una ma-

yor sensibilidad al fertilizante agregado (Ferraris *et. al.*, 2012). Además, T no pudo alcanzar un rendimiento potencial debido a la alta presión de enfermedades presentes en la campaña. En 2023, las EUP fueron de 10 kg grano/kg P para C y 16 kg grano/kg P para T, valores que se asocian a las restricciones hídricas del año. En 2024, la EUP fue de 21 kg grano/kg P para C y 90 kg grano/kg P para T. Estas diferencias pudieron deberse a las bajas temperaturas acontecidas durante el invierno que afectaron más a C, ya que el cultivar utilizado presentó sensibilidad al frío (Figuras 1, 2 y 3).

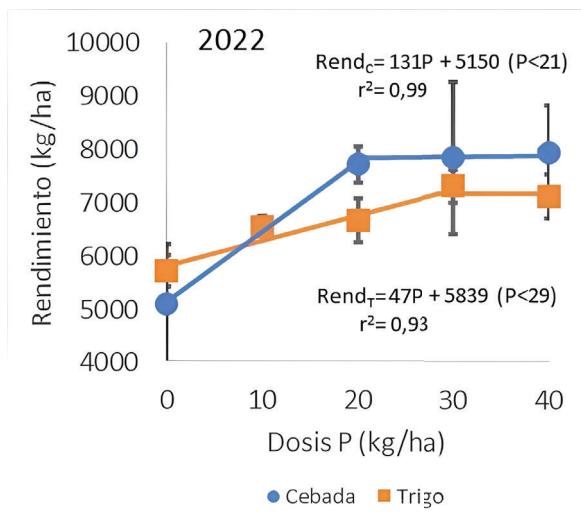


Figura 1. Rendimiento (kg/ha) en función de la dosis de fósforo (P, kg/ha) para trigo (T) y cebada (C). El ajuste se realizó con una función lineal-plateau. Campaña 2022.

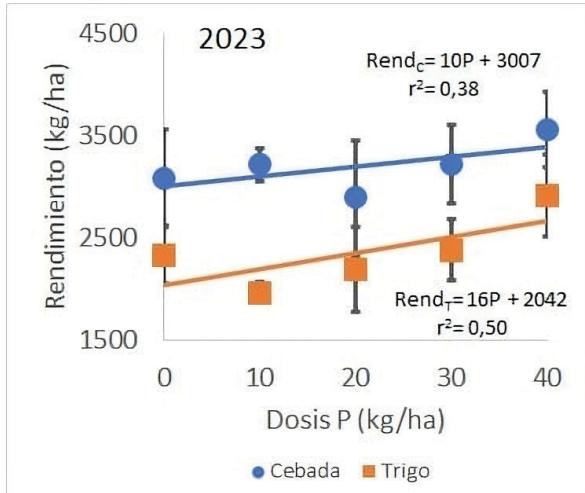


Figura 2. Rendimiento (kg/ha) en función de la dosis de fósforo (P, kg/ha) para trigo (T) y cebada (C). El ajuste se realizó con una función lineal. Campaña 2023.

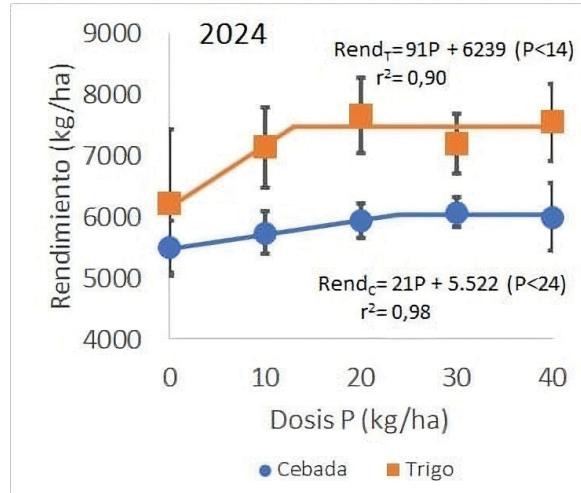


Figura 3. Rendimiento (kg/ha) en función de la dosis de fósforo (P, kg/ha) para trigo (T) y cebada (C). El ajuste se realizó con una función lineal-plateau. Campaña 2024.

Para verificar el impacto económico de la práctica de fertilización la Rp debería ser inferior a la EUP. Para la campaña venidera (2025) la Rp es de 24 kg grano/kg P para T y de 26 kg grano/kg P para C. Si se toma el valor medio de EUP de las campañas húmedas (2022 y 2024), que fue de 73 kg grano/kg P, se supera ampliamente el valor de la Rp. En una campaña seca como la 2023 la EUP media fue de 13 kg grano/kg P, resultado que se encuentra por debajo de la Rp.



Conclusiones

Los cultivos de trigo y cebada mostraron respuesta a la fertilización con fósforo, siendo ésta de mayor magnitud en años con baja restricción hídrica. En estos casos la dosis podría alcanzar valores de 22 kg P/ha. La EUP fue diferente entre años húmedos y secos y entre especies, siendo mayor en cebada cuando la disponibilidad de P en el suelo fue muy baja.

El ajuste de la dosis de P en trigo y cebada en un contexto de campos arrendados deberá tener en cuenta el rendimiento potencial del año a partir de la reserva hídrica en el suelo a la siembra. Ante la variabilidad climática de la zona y con un valor elevado de los fertilizantes, un escenario en donde se planteen arrendamientos a largo plazo permitiría adoptar rotaciones con reposición de P económicamente rentables.

Bibliografía

Ferraris, G.N.; Mousegne, F.; Barraco, M.; Courerotot, L.; Cavo, J.; Falconi, R.; Ferraris, O.; Lemos, E.; López de Sabando, M.; Magnone, G.; Maertin, A.; Melilli, P.; Paganini, A.; Pérez, G.; Pontoni, R.; Zanettini, J.; Scianca, C.; Sola, R.; Telleria, M.G.; Ventimiglia, L. 2012. Rendimiento y eficiencia comparativa de uso de fósforo, nitrógeno y agua en trigo y cebada cervecera en la región centro y noroeste de Buenos Aires. INTA EEA Pergamino. Proyecto Regional Agrícola, CRBAN. 12 p.

Grasso, A. 2019. Brechas en la producción de secuencias de cultivos en la región pampeana según estrategias de fertilización. En: 14º Simposio de Fertilidad. 8 al 9 de mayo, Rosario, Santa Fe (AR). Asociación Civil Fertilizar, p.14.

Pagani, A.; Estelrich, C. 2020. Evaluación física y económica de la fertilización con fósforo en experimentos de largo plazo. Resultados de los tres primeros años en maíz, trigo y soja. En: XXVII Congreso argentino de la ciencia del suelo. 13 al 16 de octubre, Corrientes (AR). Asociación Argentina de la ciencia del suelo (AACs), p. 719.

Pérez, G.; Estelrich, C.; Melián, D.; Zanettini J. 2022. Dosis variable y eficiencia de uso de fósforo en trigo en el centro oeste bonaerense [poster]. En: Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión. 30 de marzo al 1 de abril, Córdoba (AR). Asociación Latinoamericana de Agricultura de Precisión, p. 260.

Sainz Rozas, H.; Eyherabide, M.; Larrea, G.; Martínez Cuesta, N.; Angelini, H.; Reussi Calvo, N.; Wyngaard, N. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. En: 14º Simposio de Fertilidad. 8 al 9 de mayo, Rosario, Santa Fe (AR). Asociación Civil Fertilizar, p.141.

Intensificación productiva en *Camelina sativa*. Respuesta a la fertilización nitrógeno-azufreada

Gustavo N. Ferraris^{1*} y Ana Paula Canu²

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Manejo de Cultivos (Argentina)

² Chacra Servicios SRL

*ferraris.gustavo@inta.gob.ar

El presente trabajo estudia la respuesta a la fertilización con nitrógeno y azufre en *Camelina sativa*. La respuesta alcanzó un máximo en la dosis de 90 kg/ha de nitrógeno, y fue superior en la fuente líquida. El azufre parece incrementar su importancia en dosis elevadas de nitrógeno. Las diferencias se explican principalmente por distinta acumulación de biomasa y el NDVI.

PALABRAS CLAVE: *Camelina sativa*, Intensificación, Nitrógeno, Azufre, Sustentabilidad.

Introducción

Camelina sativa es una *Brassicaceae* invernal, de bajo porte, ramificadora, resistente a la sequía y las heladas. (Berzuini *et al.*, 2024). En Argentina,

tiene gran potencial como cultivo preliminar de las especies de verano, ayudando a combatir malezas en barbecho como complemento de los fitosanitarios (Codina-Pascual *et al.*, 2024). Como todas las especies de la familia, su grano es rico en nitrógeno (N) y azufre (S). Sin embargo, el exceso de fertilización nitrogenada tiene consecuencias económicas y ambientales desfavorables. Dosis excesivas en un comportamiento de respuestas decrecientes a su incremento generan bajas eficiencias de uso de N. La fuente utilizada es relevante, ya que determinan un aporte más o menos balanceado de nutrientes, así como riesgos de pérdidas por volatilización o lixiviación (Ferraris y Canu, 2024).

Los objetivos de este experimento fueron 1. evaluar la respuesta de *Camelina sativa* a la fertilización con N y S en la región norte de Bs As. y, 2. evaluar el efecto de diferentes fuentes sobre la respuesta agronómica. Hipotetizamos que: 1. *Camelina sativa* incrementa los rendimientos cuando se fertiliza con elementos que se encuentran en concentración deficiente en los suelos y, 2. la respuesta y eficiencia agronómica varían con la fuente utilizada.

Materiales y métodos

Durante el año 2024, se condujo un experimento de fertilización a campo con la especie *Camelina sativa* en la EEA INTA Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, Clase I-2, Argiudol típico, familia fina, illítica, térmica (USDA- Soil Taxonomy V. 2006). El experimento se sembró el día seis de agosto, poco después de una oportuna lluvia, a una densidad de 150 pl/m² y con distanciamiento de 0,2 m entre líneas. Se evaluó respuesta a N y S mediante cuatro dosis, dos fuentes y un testigo totalizando nueve tratamientos. Recibió una fertilización de base con superfosfato triple de calcio (0-20-0) a la dosis de 50 kg/ha en línea de siembra. Como presiembra se aplicó Glifosato 2000 ml/ha + Trifularina fotoestable a 2500 ml/ha. Durante el ciclo se realizaron dos aplicaciones de insecticidas, para controlar pulgón (*Brevicoryne brassicae L.*) y la oruga de las crucíferas (*Plutella xylostella*), el primero en media densidad, y la segunda con muy baja población.

Se utilizó un diseño estadístico en bloques completos al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 1. Por su parte, el análisis de suelo del sitio se presenta en la Tabla 2. En el caso de nitrógeno, las aplicaciones de nitrógeno y azufre fueron realizadas pocos días después de la siembra, sin incorporación.

Tabla 1: Respuesta a nitrógeno y azufre. Campaña 2024.

Trat.	Fuente	Dosis nitrógeno (kg/ha)	Dosis azufre (kg/ha)
T1	Testigo	0	
T2	Urea	30	
T3	Urea	60	
T4	Urea	90	
T5	Urea	120	
T7	SolMix 28:5	30	5,6
T8	SolMix 28:5	60	11,1
T9	SolMix 28:5	90 ¹	16,7
T10	SolMix 28:5	120	22,3

Tabla 2: Datos de suelo al momento de la siembra

Profundidad	pH	CE	MO	P-disp.	N-Nitratos 0-60 cm	S-Sulfatos	Ca	Mg	K	Zn-EDTA
cm	agua 1:2,5	dS/m	%	ppm	kg/ha	kg/ha	ppm	ppm	ppm	ppm
0-20 cm	5,8	0,05	3,8	15,8	41,2	7,2	1651	181	582	1,03
	lig.ácido	normal	alto	medio	bajo	bajo	muy alto	alto	muy alto	alto

Se determinó biomasa aérea en floración plena (F2) de la escala CETIOM. Se determinó NDVI por GreenSeeker, intercepción y se estimó el contenido de N foliar por Minolta Spad. En la Figura 3 se analizan las relaciones entre rendimiento, las variables cuantitativas evaluadas y los tratamientos de fertilización. Los autovectores representan las variables y los puntos azules los tratamientos de fertilización. Cuanto más agudo es el ángulo entre 2 vectores, más fuerte es la asociación positiva entre las variables que representan. En cam-

bio, si el ángulo es cercano a 180° la asociación es fuerte, pero inversa. Ángulos rectos representan variables no relacionadas entre sí. La longitud del vector está asociada con la desviación standard de la variable: cuando las longitudes de los vectores son equivalentes el gráfico sugiere contribuciones similares de las variables que representan. Igualmente, las observaciones (tratamientos) que se grafican en una misma dirección que una variable (puntos amarillos) podría tener valores relativamente altos para esta y valores bajos en variables

que se grafican en dirección opuesta.

La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Los resultados se analizaron mediante partición de varianza comparaciones de media, análisis de regresión y análisis multivariado de componentes principales.

Resultados y discusión

En la Tabla 3 se presentan datos de observaciones tomadas durante el ciclo de cultivo.

Tabla 3: Biomasa aérea (BA) en floración plena (F2), contenido de N foliar por Spad y NDVI por Green seeker y rendimiento de grano. Fertilización nitrógeno azufrada en *Camelina sativa*. Pergamino, año 2024.

T	Dosis N	BA F2 (kg/ha-)	Intercepción F2 (%)	Spad F2	NDVI F2
T1	N0	1305,6	64,5	35,2	0,39
T2	Urea – N30	1480,8	75,9	39,1	0,45
T3	Urea – N60	1385,6	74,3	38	0,48
T4	Urea – N90	1564,0	75,1	40	0,47
T5	Urea – N120	1617,6	73,0	39,5	0,48
T6	SolMix – N30	1400,8	77,1	41	0,47
T7	SolMix – N60	1358,4	75,3	38,5	0,45
T8	SolMix – N90	1631,2	74,0	40,2	0,49
T9	SolMix – N120	1613,6	79,3	38,3	0,49

La interacción fuente x dosis determinó efecto significativo de dosis y fuente ($p<0,05$), pero la interacción no fue significativa ($p>0,10$, CV= 14,1 %). Por escasa diferencia numérica, SolMix superó a Urea, probablemente por su aporte de S,

y la menor volatilización en condiciones de bajas precipitaciones (Figura 1.a). Respecto de la dosis, N120 superó a N60. Todos los niveles de N presentaron ventajas sobre el Testigo N0 (Testigo N0) (Figura 1.b)

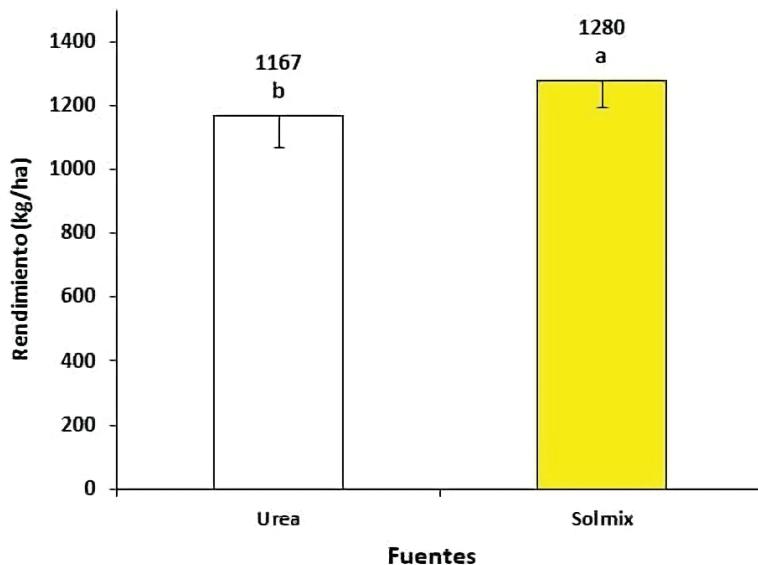


Figura 1.a

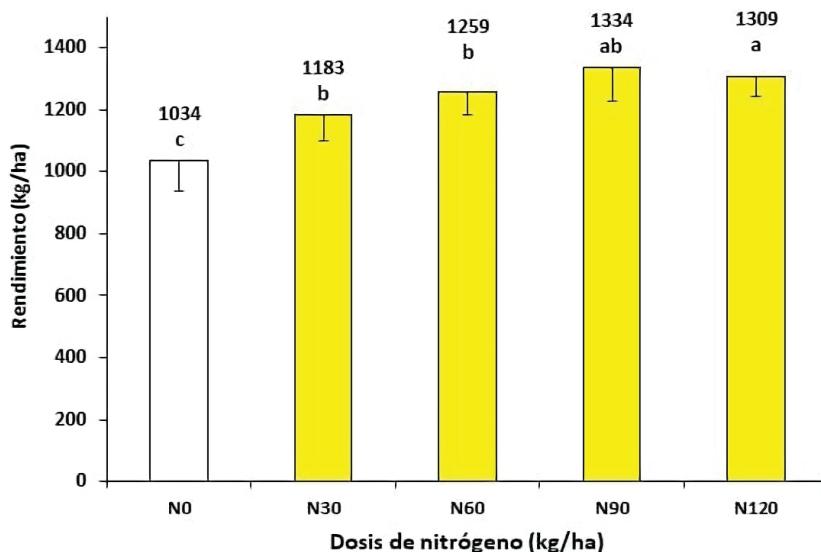


Figura 1.b

Figura 1: Rendimiento de *Camelina sativa* según fuente (a) y dosis (b) de nitrógeno agregado. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos (LSD a=0,05, dms 111 y 175 kg/ha para fuente y dosis, respectivamente. INTA Pergamino, año 2024.

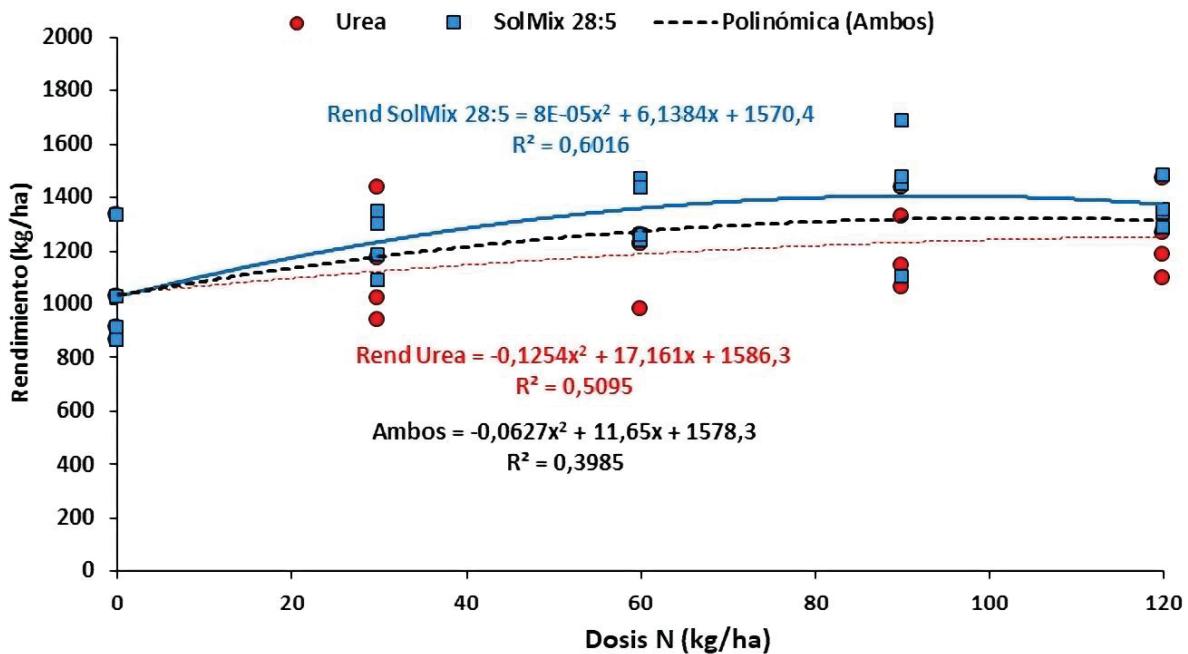


Figura 2: Relación entre rendimiento y dosis de nitrógeno agregada, para Urea, Solmix y el conjunto de ambas fuentes, ajustado según una función cuadrática. Fertilización con nitrógeno y azufre en *Camelina sativa*. Pergamino, año 2024.

Camelina presentó un rápido crecimiento luego de las lluvias de agosto, y una aceptable productividad a pesar de su siembra algo tardía. Las plantas expresaron un porte moderado, aunque con buenas ramificaciones, cobertura y una muy buena fructificación. No se registraron adversidades bióticas de relevancia, que comprometieran los rendimientos.

La fertilización impactó significativamente en los rendimientos ($p<0,05$). En las fuentes de N, Urea y SolMix determinaron curvas diferentes. SolMix alcanzó mayores rendimientos, una función de mayor pendiente y plateau a menor nivel de N, posiblemente a causa de un ciclo frío y seco que

favoreció las pérdidas gaseosas de este elemento. El ajuste de una función cuadrática entre rendimiento y dosis de N (Figura 2) determinó una dosis óptima de N80 para SolMix y N100 en Urea. La respuesta a SolMix presentó una pendiente superior respecto de Urea, incrementando la diferencia entre fuentes en la medida que se incrementaba el nivel de N. Es probable que, una vez cubierto el requerimiento de N, la importancia de S se incrementara. En un trabajo de tres años conducido en el medio oeste de EEUU, Gregg *et al.* (2024) observaron una respuesta a dosis superior a la de este experimento, pero no obtuvieron diferencias entre fuentes.

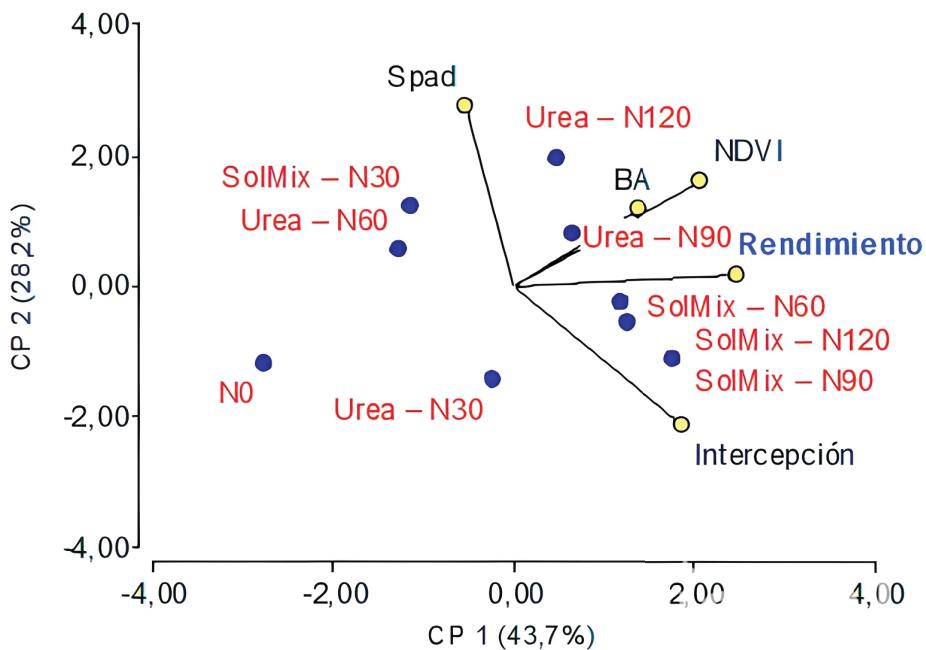


Figura 3: Biplot para dos componentes principales: Tratamientos de fertilización y variables determinadas en el experimento. BA Biomasa aérea, NDVI Indice verde normalizado. Fertilización con nitrógeno y azufre en *Camelina sativa*. Pergamino, año 2024.

El rendimiento estuvo asociado a NDVI, biomasa, e intercepción más que al contenido de N, lo cual sugiere que, en esta especie, es crítica una acumulación rápida y temprana de materia seca (figura 3).

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten: aceptar las hipótesis 1, que propone un efecto positivo de diferentes elementos esenciales; aceptar la hipótesis 2, al identificar una fuente de N de mayor pendiente de respuesta y eficiencia agronómica.

Bibliografía

Berzuini, S.; Zanetti, F.; Alberghini, B.; Leon, P.; Prieto, J.; Yambanis, Y.H., ... & Monti, A. 2024. Assessing the productivity potential of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) in the Mediterranean basin: Results from multi-year and multi-location trials in Europe and Africa. En: Industrial Crops and Products 219: 119080.

Codina-Pascual, N.; Torra, J.; Baraibar, B.; Royo-Esnal, A. 2024. Spring sown camelina (*Camelina sativa*) contributes to the management of three summer weeds. En: Italian Journal of Agronomy 19 (1): 100005.

Ferraris, G.N.; Canu, A.P. 2024. Intensificación tecnológica en un nuevo cultivo invernal : respuesta a la fertilización en *Camelina sativa*. En: Revista de Tecnología Agropecuaria - RTA 12 (44): 42-47.

Gregg, S.; Strock, J.S.; Gesch, R.W.; Coulter, J.A.; García y García, A. (2024). Rate and time of nitrogen fertilizer application for winter camelina. En: Agronomy Journal 116 (4): 1804-1816.



Fotografía 1: Vista general del experimento, durante la plena floración.

Ajuste de dosis de fosfato monoamónico en *Brassica carinata*

Gustavo N. Ferraris¹; Fernando Jecke²; Fernando Mousegne²; Gonzalo Santia² & Orlando Vellaz³

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Manejo de Cultivos (Argentina)

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Agencia de Extensión Rural San Antonio de Areco (Argentina)

³ Nuseed Argentina SA

*ferraris.gustavo@inta.gob.ar

El presente experimento estudia la tolerancia de *Brassica carinata* al agregado de MAP, y su respuesta en rendimiento. La aplicación de MAP en línea disminuyó la germinación, pero fue más que compensado en los rendimientos. La dosis óptima fue de 60 kg/ha en Pergamino, y 100 kg/ha en San Antonio de Areco.

PALABRAS CLAVE: *Brassica carinata*, Fósforo, Fitotoxicidad, Crecimiento.

Introducción

Brassica carinata muestra una respuesta altamente dependiente de la disponibilidad de fósforo (P) en el suelo, siendo este un elemento esencial para su

su desarrollo fisiológico y rendimiento (Manhas *et al.*, 2024). La aplicación de fosfato monoamónico (MAP, 11-23-0), es una estrategia eficiente para suplir este nutriente en sistemas de producción agrícola, aportando además nitrógeno (N), otro elemento esencial y crítico. En suelos con bajo contenido de P disponible, el uso de MAP ha demostrado mejorar significativamente el desarrollo radicular, la acumulación de biomasa aérea y el rendimiento en grano, al optimizar los procesos metabólicos como la fotosíntesis y la partición de asimilados hacia los órganos reproductivos. Estas mejoras son particularmente relevantes en los cultivos oleaginosos, donde el fósforo desempeña un papel crítico en la formación de semillas y la calidad del aceite.

La respuesta agronómica de *Brassica carinata* al MAP está afectada por la dosis aplicada, la colocación del fertilizante y las características del suelo. Dosis recomendadas entre 15 y 50 kg de P/ha, ajustadas mediante el análisis de fertilidad del suelo, han mostrado ser efectivas en maximizar el rendimiento sin generar desbalances nutricionales. El método de aplicación en banda cercana a la semilla resulta particularmente eficaz debido a la limitada movilidad del fósforo en el perfil del suelo. Sin embargo, las dosis excesivas o las aplicaciones en línea pueden conducir a la toxicidad o la pérdida de eficiencia. Por las características de la semilla y la plántula, la emergencia en brasicáceas es fácilmente perjudicada (Khamzina *et al.*, 2023; Lawton, 2019). Sin embargo, un distanciamiento posicional por diferente profundidad entre semilla y fertilizante, y el uso de hileras estrechas podría mejorar el comportamiento.

El objetivo de este experimento es evaluar la respuesta al agregado creciente de fosfato monoamónico (MAP) en línea de siembra, en la emergencia, el rendimiento y otras variables intermedias de *Brassica carinata*. Hipotetizamos

que 1. El cultivo de *Brassica carinata* expresa una caída en la emergencia cuando se agregan dosis elevadas de MAP en línea, y 2. La respuesta incrementa en todo el rango de dosis evaluada en el experimento.

Materiales y métodos

Durante el año 2024, se condujeron dos experimentos de fertilización a campo con la especie *Brassica carinata*. El primero de ellos se condujo en la EEA INTA Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, Clase I-2, Argiudol típico, familia fina, illítica, térmica (USDA- Soil Taxonomy V. 2006). Se sembró el día 6 de Agosto de 2024. El segundo experimento se implantó en la localidad de San Antonio de Areco, sobre un suelo Serie Capitán Sarmiento, Argiudol vertical, Clase IIIs, IP 81, fina, illítica, térmica (Soil Taxonomy V. 2014). El experimento se implantó el día 6 de Junio de 2024.

En ambos casos, se utilizó el híbrido Nuseed Nutjet 350 a una densidad de 140 pl/m² y con distanciamiento de 0,2 m entre líneas. Se utilizaron de 2 a 2,5 l/ha de Trifularina (12%) fotoestable como preemergente (poner concentración de principio activo). Durante el ciclo se realizaron dos aplicaciones de los insecticidas Lambdacialotrina (25 %) + Clorantraniliprole (20%), para controlar pulgón (*Brevicoryne brassicae L.*) y la oruga de las crucíferas (*Plutella xylostella*). Todas las par-

celas recibieron una fertilización de base de urea granulada (0-46-0) (250 kg/ha). En San Antonio de Areco el cultivo se secó en precosecha con Glifosato (poner la concentración del principio activo y dosis), lo que no sucedió en Pergamino recurriendo al secado natural.

El diseño fue en bloques al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 1. Por su parte, los análisis de suelo de los sitios se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1: Dosis crecientes de fertilización fosforada aplicados en línea. INTA Pergamino y San Antonio de Areco, Campaña 2024.

Trat.	Descripción	Dosis
T1	Testigo	0 kg/ha
T2	MAP (12-23-0)	30 kg/ha
T3	MAP (12-23-0)	60 kg/ha
T4	MAP (12-23-0)	90 kg/ha
T5	MAP (12-23-0)	120 kg/ha

Tabla 2: Datos de suelo al momento de la siembra

Profundidad	pH	CE	MO	P-disp.	N-Nitratos 0-60 cm	S-Sulfatos	Ca	Mg	K
cm	agua 1:2,5	dS/m ⁻¹	%	ppm	kg/ha	kg/ha	ppm	ppm	ppm
Pg	5,8	0,05	3,8	15,8	41,2	7,2	1651	181	582
0-20 cm	lig.ácido	normal	alto	medio	bajo	bajo	muy alto	alto	muy alto
SADA	5,9	0,01	3,1	17,6	96.7		2062	243	351
0-20 cm	lig.ácido	normal	alto	medio	alto		muy alto	muy alto	muy alto

Se registraron las precipitaciones. Se determinó la biomasa aérea en floración plena (F2) de la escala CETIOM (Agosti *et al.*, 2009). En el mismo estadio, se midió NDVI por Green seeker, intercepción mediante un radiómetro lineal y se estimó el contenido de N foliar por Minolta Spad. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras (2 m^2). Los resultados se analizaron mediante partición de varianza, comparaciones de media (LSD) y análisis de regresión. Sobre una muestra de cosecha se cuantificó el peso de los granos, y se calculó el número de granos (NG).

Resultados y discusión

Las precipitaciones fueron 283 mm en Pergamino y 289 mm en San Antonio de Areco, determinando un ambiente seco y restrictivo. En San Antonio de Areco, la especie toleró el frío, y presentó una reacción favorable a la mejora del ambiente desde agosto. En cambio, en Pergamino luego de una lluvia de agosto, creció en forma ininterrumpida alcanzando un porte moderado pero un alto índice de cosecha.

Las variables intermedias en líneas generales reflejaron el efecto de tratamiento y presentaron una alta relación con el rendimiento. En Pergamino las variables con mayor asociación fueron el NDVI, la calificación del vigor y la intercepción de radiación (Tabla 3).

Tabla 3: Plantas logradas, NDVI por Green seeker, calificación del vigor, biomasa seca aérea (BA) en floración plena (F2), altura final de las plantas, intercepción, contenido de clorofila en hoja estimado por Spad. **Fertilización fosforada en *Brassica carinata*. Pergamino, año 2024.**

T.	Dosis MAP	NDVI F2	Vigor (1-5)	BA F2 (kg/ha)
T1	Testigo	0,55	3,0	7055
T2	MAP 30	0,63	3,5	8750
T3	MAP 60	0,64	4,0	8160
T4	MAP 90	0,63	4,0	7940
T5	MAP 120	0,66	3,6	9050
r ² vs rendimiento		0,41	0,96	0,06

T.	Dosis MAP	Altura (cm)	Intercepción F2 (%)	Spad F2
T1	Testigo	82	88,1	48,1
T2	MAP 30	85	93,2	46,5
T3	MAP 60	91	95,8	48,8
T4	MAP 90	77	94,1	45,7
T5	MAP 120	83	94,8	48,1
r2 vs rendimiento		0,06	0,69	0,01

En San Antonio de Areco la relación entre variables fue consistente. Se comprobó alta relación con rendimiento en el número de plantas emergi-

das, la cobertura en julio, agosto y septiembre, en NDVI, la biomasa, altura de plantas y la calificación del vigor (Tabla 4).

Tabla 4: Plantas logradas, NDVI por Green seeker, calificación del vigor, biomasa seca aérea (BA) en floración plena (F2), altura final de las plantas, intercepción, contenido de clorofila en hoja estimado por Sapad, número (NG) y peso (PG) de los granos y NDVI por Green seeker. **Fertilización fosforada en *Brassica carinata*. Pergamino, año 2024.**

	T.	Fuente P	% Cob suelo (10/07)	% Cob suelo (07/08)	% Cob suelo (09/09)	NDVI (09/09)	NDVI (20/09)
S. A. de Are.	T1	0	0,7	12,5	66,2	0,49	0,60
	T2	MAP 30	0,9	20,5	81,7	0,60	0,64
	T3	MAP 60	1,1	22,1	88,3	0,65	0,65
	T4	MAP 90	1,1	23,8	88,3	0,63	0,66
	T5	MAP 120	1,1	23,0	85,1	0,66	0,66
r2 vs rend		0,7	0,76	0,62	0,82	0,81	

	T.	Fuente P	BAG (kg/ha)	Altura (cm)	Intercepción radición (%)	Vigor	Peso de mil granos (grs)
S. A. de Are.	T1	0	37250	105	88,8	3,00	3,05
	T2	MAP 30	39688	117	84,2	3,75	3,20
	T3	MAP 60	58375	122	89,8	4,18	3,11
	T4	MAP 90	60500	128	73,6	4,30	3,50
	T5	MAP 120	53438	127	81,9	4,50	3,25
r2 vs rend		0,35	0,79	0,26	0,86	0,30	

El número de plantas establecidas disminuyó conforme aumentaba la dosis de fertilizante en línea, en ambas localidades (Figura 1). En Pergamino la disminución es lineal en todo el rango de dosis aplicado. La tasa de caída fue de 12,2 plantas por kg de MAP aplicado. Por el contrario, en San Antonio de Areco la dinámica fue más bien del tipo lineal-meseta. Se determinó una reducción muy

fuerte en el stand de planta con la primera dosis de 30 kg, sin presentar un cambio pronunciado de ahí en más (Figura 3). Esta diferencia se podría atribuir a la variación en la distancia relativa entre fertilizante y semilla que podrían originar dos sembradoras distintas. Es probable que en Pergamino el contacto semilla-fertilizante haya sido mayor.

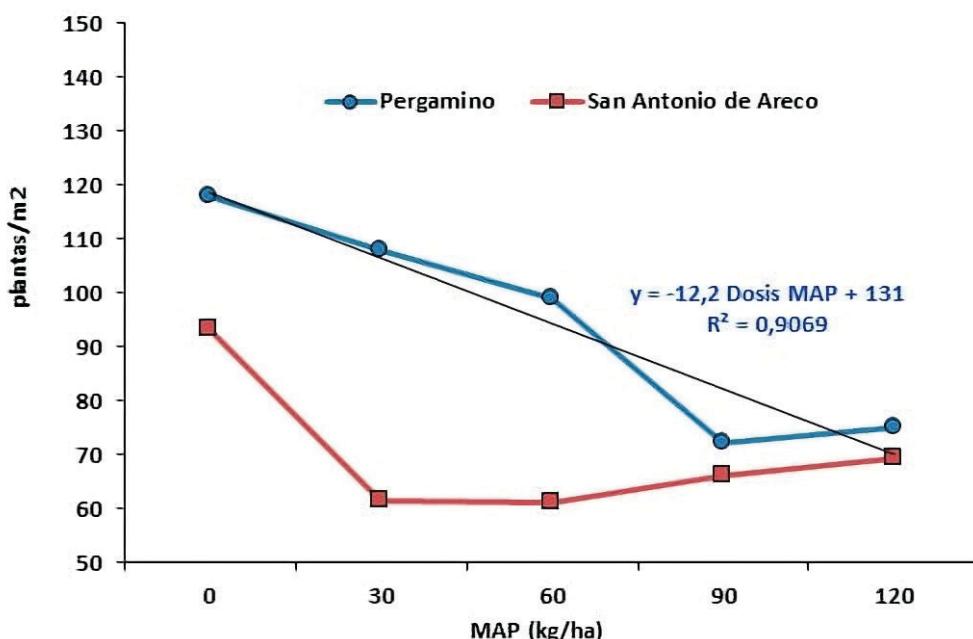


Figura 1: Emergencia (pl m⁻²) según dosis de MAP en línea, para las localidades de Pergamino y San Antonio de Areco. *Brassica carinata*, año 2024.

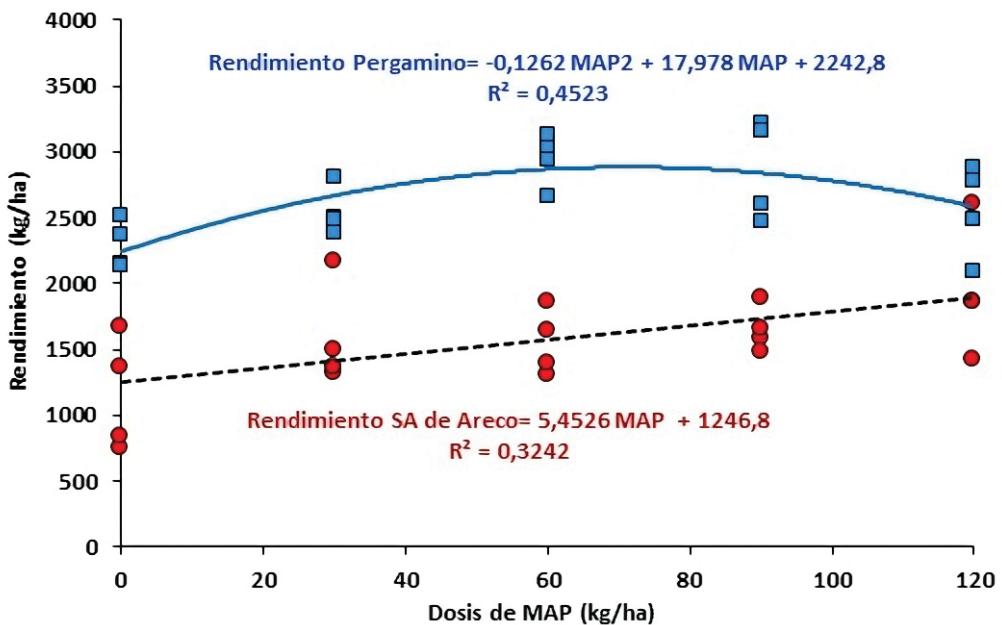


Figura 2: Rendimiento (kg ha^{-1}) según dosis de MAP en línea, para las localidades de Pergamino y San Antonio de Areco. *Brassica carinata*, año 2024.

En ambas localidades, el rendimiento reflejó el efecto de dosis. En Pergamino la función más representativa fue cuadrática, (Figura 2) con la máxima productividad en 60 kg/ha (Tabla 3 y Figura 2). En cambio, en San Antonio de Areco una ecuación lineal sería la de mejor ajuste. La pendiente de ambas funciones es estadísticamente diferente de cero ($P<0,05$).

Se confirman los resultados obtenidos en la campaña 2023 (Ferraris *et al.*, 2024). Se evidencia una muy alta capacidad de respuesta a P, pero su aplicación en línea causa dificultades en la implantación del cultivo, creando una restricción. La separación de semilla y fertilizante es una práctica prudente, y en este sentido cada sembradora constituye una singularidad. La siembra superficial de este cultivo facilita su implementación.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten respaldar las hipótesis planteadas. La hipótesis 1 es aceptada. La aplicación de MAP en línea redujo la emergencia en ambas localidades, con dinámicas diferentes. La hipótesis 2 también se acepta. La fertilización con P incrementó los rendimientos, con eficiencias y dinámicas diferentes. El “plateau” de rendimiento se obtuvo en 60 kg ha^{-1} en Pergamino, y 100 kg ha^{-1} en San Antonio de Areco. Los incrementos de rendimientos son ampliamente respaldados por mejoras en variables intermedias.

Bibliografía

Ferraris, G.N.; Jecke, F.A.; Mousegne, F.; Santia, G.; Vellaz, O. 2024. Ajuste de dosis de fosfato monoamónico en Brassica carinata. En: Revista de Tecnología Agropecuaria - RTA 12 (45): 5-10. (agosto).

Lawton, K. 2019. Growing carinata in the Southeastern US. En: Crops & Soils 52(5): 18-21.

Khamzina, B.; Bulashev, B.; Nurmanov, Y.; Tultabayeva, T.; Nurmukhanbetova, N.; Toimbayeva, D.; Myrzabayeva, G. 2023. The effects of ammonium phosphate fertilization on yield and yield components of Mustard varieties in chernozem soil. En: Eurasian Journal of Soil Science 12(2): 169-176.

Manhas, S.; Singh, J.; Manuja, S.; Saini, A.; Kumawat, R.; Dahiya, P.; Fayeziadeh, M.R. 2024. Assessing the impact of tillage practices and nutrient levels on the growth and productivity of Ethiopian mustard (*Brassica carinata* L.)-soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cropping system. En: BMC Plant Biology 24: 1059.



Fotografía 1: Experimento de Pergamino. Arriba: Vista entre las parcelas MAP 90 y MAP 120. Debajo: Primer plano de la dosis máxima, de MAP 120.

TRABAJO FINAL DE ESPECIALIZACIÓN

Estimación de rendimientos de trigo a partir de datos espectrales para el partido de Junín, provincia de Buenos Aires

Autor:

Ing. Agr. María Paula Melilli

Lugar de trabajo:

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Agencia de Extensión Rural Junín (Argentina)

Director:

Dr. Carlos Di Bella.

Jurados:

Dr. Juan José Gaitán

Dr. Juan Ignacio Whitworth Hulse

Resumen

Argentina, con una producción aproximada de 18 millones de toneladas de trigo, ocupa la decimo-primera posición en el ranking de los principales países productores. La producción se concentra en la zona pampeana, siendo las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe las responsables de más del 85% del total. La estimación de la producción de cultivos como trigo, arroz, maíz y soja es crucial para garantizar la seguridad alimentaria a nivel global, haciendo imperativo contar con datos confiables tanto de área como rendimiento para poder estimar la producción.

El objetivo principal de este trabajo fue estimar rendimientos del cultivo de trigo de manera anticipada para mejorar las predicciones de pro-

ducción en el partido de Junín, Provincia de Buenos Aires. Para ello se utilizaron imágenes satelitales de Landsat-8 y Sentinel-2 para calcular los índices de vegetación (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada-NDVI e Índice de Diferencia Normalizada de Humedad-NDMI), los cuales se correlacionaron con los rendimientos reales de lotes de trigo mediante regresión lineal.

Los modelos basados en NDVI y NDMI demostraron ser herramientas valiosas para la estimación de rendimientos de trigo. En particular, el NDVI de la plataforma Sentinel 2 mostró el mejor ajuste con un R^2 de 0,79, confirmando su alta capacidad explicativa en la predicción de rendimientos. Aunque los modelos de Sentinel 2 presentaron mejores coeficientes de determinación (R^2), también mostraron mayores errores cuadráticos medios (ECM) en comparación con los modelos de Landsat, sugiriendo que los datos de Sentinel 2, debido a su mayor resolución espacial, pueden ofrecer una mayor precisión, pero también pueden ser más susceptibles a errores en condiciones de alta variabilidad espacial.

En conclusión, los modelos basados en NDVI y NDMI, especialmente los de Sentinel 2, son herramientas prometedoras para la estimación anticipada de rendimientos de trigo en la región estudiada, aunque es necesario considerar la variabilidad espacial para mejorar la precisión de las predicciones.

Palabras claves: Trigo, NDVI, NDMI, Landsat-8, Sentinel-2, Estimación de rendimientos, Teledetección, Índices de vegetación, Producción agrícola.

TESIS DOCTORAL

Evaluación multicriterio de opciones tecnológicas para el rediseño sostenible de los sistemas de cultivo de la Pampa Ondulada

Autor:

Ing. Agr. Luis A. Milesi Delaye

Lugar de trabajo:

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Grupo de trabajo Gestión Ambiental (Argentina) - Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (UNNOBA). Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales, Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

Consejeros:

Dr. Adrián E. Andriulo (Investigador asociado – INTA EEA Pergamino)

Dr. Marcelo G. Wilson (Investigador – INTA EEA Paraná)

Dr. Diego O. Ferraro (Investigador – FAUBA)

Jurado:

Dr. Emilio Satorre (FAUBA - Miembro de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria)

Dr. Miguel Taboada (Miembro de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria)

Dr. Juan Manuel Martínez (Investigador – UNS)

Resumen

La evaluación multicriterio de opciones tecnológicas permite visibilizar alternativas más sostenibles y eficientes para rediseñar los sistemas de cultivo. En esta tesis se buscó identificar estrategias

innovadoras que pudieran contribuir al desarrollo agrícola sostenible de la Pampa Ondulada, mediante la evaluación multicriterio de sistemas de cultivos. Para ello, se utilizó una aproximación que combinó el uso de indicadores indirectos, información de publicaciones y estadísticas regionales y mediciones confiables en el primer experimento de larga duración (ELD) de comparación de sistemas de cultivos del país; diseñado para evaluar el impacto de sistemas contrastantes en el uso de los insumos sobre componentes agronómicos, ambientales y económicos de la sostenibilidad. A escala regional, se validaron con éxito dos modelos, uno de pérdidas de nitratos por lixiviación y otro de riesgo de lixiviación de plaguicidas, y se analizó la posible aplicación de los 16 indicadores agroambientales, económicos y socioecológicos en sistemas de cultivos típicos generados a partir de información de publicaciones y de estadísticas. Aquí, se pudieron identificar y comprender algunos aspectos que amenazan la sostenibilidad de una parte de la diversidad de los sistemas de cultivos presentes en la Pampa Ondulada. En general, los sistemas regionales de producción de grano presentaron aportes de carbono (C) insuficientes para mantener una reserva de carbono orgánico del suelo (COS) ideal, incrementos en las pérdidas de nitrógeno (N) hacia la atmósfera por aumentos en la fertilización nitrogenada y riesgos de contaminación crecientes asociados a algunos principios activos de plaguicidas. La tendencia al monocultivo de soja mostró las mayores pérdidas de N por lixiviación y una fuerte presión sobre el fósforo (P) del suelo. Luego, se aplicaron esos indicadores durante dos etapas del ELD los que, además, se acompañaron de mediciones confiables de productividad y de fertilidad edáfica. En la primera etapa, se evaluaron cuatro sistemas de cultivos de grano (soja-trigo/soja-maíz, monocultivo de soja, producción de especialidades, producción orgánica de soja y maíz) en el media-

no y largo plazo. En el largo plazo: a) la soja en monocultivo degradó el suelo e incrementó el uso de energía para controlar malezas mientras que en rotación mejoró los resultados económicos y ambientales (consumo de energía); b) las malezas menoscabaron la sostenibilidad económica de un sistema orgánico de producción soja y maíz; y c) un sistema inédito de producción de especialidades con 7 cultivos diferentes en 10 años, sin secuencia fija, acopló los ciclos del C, N y P en el suelo generando un efecto acumulativo (o de rotación) que se expresó con incrementos del rendimiento de soja en la décima campaña del 13 y 37% y en los márgenes brutos 22 y 41% en comparación a soja-trigo/soja-maíz y a soja continua, respectivamente. En base a los aspectos de sostenibilidad no alcanzados, en una segunda etapa del ELD, se rediseñaron parte de los sistemas de cultivos y se los evaluó en el mediano plazo (4 años). Aquí, la inclusión de cultivos perennes se vislumbró como una alternativa para mejorar la fertilidad del suelo, reducir el uso de insumos de síntesis y, en el sistema orgánico, regular la comunidad de malezas aunque existieron serias limitaciones desde el punto de vista de la sostenibilidad económica. Particularmente, la inclusión de cultivos perennes en un sistema multifuncional de producción de grano, forraje (pastura polifitica) y biomasa para energía (*Miscanthus x giganteus*), redujo 12% los riesgos de contaminación por plaguicidas, 58% la energía utilizada, 80% la lixiviación de nitratos y aportaron 159% más de C que los sistemas de cultivo de grano anuales. Por otro lado, la inclusión de un cultivo de cobertura previo a soja en el sistema soja-trigo/soja-maíz incrementó la productividad, los retornos de C y no afectó los indicadores económicos bajo las condiciones evaluadas, mostrando un margen bruto acumulado 50% mayor al del monocultivo de soja. La aproximación empleada en base a indicadores directos e indirectos con base cien-

tífica, normalizados, calibrados y validados regionalmente permitió discriminar entre sistemas presentes e innovadores a nivel regional (espacial) y en el ELD (temporal), exhibiendo los compromisos entre las dimensiones biofísica, socioecológica y económica de la sostenibilidad. Además, permitió demostrar que existen alternativas económicamente viables y ambientalmente amigables con respecto a los sistemas simplificados observados en la región y que la provisión de servicios ecosistémicos no está directamente relacionada con el nivel tecnológico aplicado. También reveló estrategias para innovar y diseñar sistemas que colaboren en el desarrollo de una agricultura regional sostenible, resaltando a la diversificación y a la perennización como opciones con potencial para tal propósito. Para el cultivo bioenergético perenne de *Miscanthus x giganteus* esta tesis constituyó el primer estudio científico en el país sobre su sostenibilidad agro-nómica, ambiental y económica. Por último, la elección de un modelo productivo está influenciada por dinámicas económica, social, institucional y política. Estas llevan a que las primeras elecciones tecnológicas persistan y se consoliden con el tiempo, impulsando trayectorias tecnológicas que pueden excluir alternativas, incluso cuando estas ofrezcan ventajas ambientales y económicas a largo plazo. El enfoque de comparación de opciones tecnológicas aplicado en esta tesis permite visibilizar alternativas que podrían ofrecer mejores resultados en términos de sostenibilidad y eficiencia. Si las evaluaciones continúan realizándose sin considerar opciones diversas, existe el riesgo de perpetuar modelos que, aunque dominantes, podrían no ser los más adecuados para enfrentar desafíos ambientales y productivos de largo plazo. Por lo tanto, es crucial replantear los marcos de análisis y generar espacios de debate que promuevan la diversificación de estrategias productivas, fomentando sistemas adaptativos y

equitativos. Esta investigación contribuye a ese objetivo, ofreciendo evidencias que puede colaborar en las decisiones sobre estrategias y guiar la formulación de políticas públicas en el sector agropecuario.

Palabras clave: Indicadores de sostenibilidad, Intensificación, Diversificación, Cultivos perennes, Sistemas simplificados, Carbono orgánico del suelo, Servicios ecosistémicos, Externalidades.

INTA Ediciones



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Argentina

Estación Experimental
Agropecuaria
Pergamino