

EVALUACIÓN DE DENSIDADES Y FERTILIZACION VARIABLE EN TRIGO



Alumno: Federico Hurtado

Tutor: Pablo Paoloni

Consejeros: Martín Espósito

Matías Duval

[Escriba aquí]

ÍNDICE:

Contenido

Resumen:	3
Introducción	4
Calidad industrial del trigo	4
Composición del grano de trigo	5
Variedades sembradas en Argentina	6
La importancia del riego por aspersión en el ciclo del cultivo	7
Ambientación e insumos variables	7
Análisis de imágenes NDVI	8
Objetivos	9
Materiales y métodos	10
Ubicación	10
Manejo presiembra.....	10
Manejo siembra y cultivo.....	12
Cosecha	15
Previo a la cosecha del cultivo, en cada tratamiento se tomaron muestra de grano para llevar al laboratorio y obtener los resultados de proteína y gluten.....	15
Figura 9. Imagen georreferenciada utilizada para navegar en los ambientes.....	16
Resultados y discusión	17
Mediciones de Spad y GreenSeeker en los tratamientos	18
Calidad del grano	19
Rendimiento.....	20
Análisis de imágenes de NDVI.....	22
Conclusiones:	24
Bibliografía:	25
Anexo I I:	27
Anexo II:	27

Resumen:

El propósito de estos tratamientos fue investigar cómo afectan al rendimiento y calidad del trigo candeal bajo riego cuatro dosis crecientes de semilla y tres dosis crecientes de fosfato monoamónico (MAP).

En el partido de coronel pringles, al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, se sembró el cultivar de trigo candeal var Athoris. Durante la siembra, se aplicaron diversas cantidades de semilla y MAP, determinadas a partir del mapa de prescripción de siembra del lote, con el fin de evaluar la proteína, gluten y el rendimiento de estos tratamientos en los diferentes ambientes del lote.

Introducción

El trigo candeal (*Triticum turgidum* var. *Durum* L.) es una planta monocotiledónea anual perteneciente a la familia de las poaceas (gramíneas). Es un cereal de invierno, que se cosecha hacia finales de la primavera (fin de noviembre a fin de diciembre/principio de enero, en el hemisferio sur) (Acevedo Hinojosa y Silva Candia, 2007). La genética del trigo candeal es diferente al trigo común (*T. aestivum*) porque el trigo candeal es un individuo tetraploide (es decir, posee 4 juegos de los 7 cromosomas básicos, o sea un total de 28 cromosomas por célula), mientras que el trigo común, es hexaploide (con 42 cromosomas por célula) (Acevedo Hinojosa y Silva Candia, 2007).

El principal uso del trigo candeal es la producción de pasta, pero también se utiliza en la elaboración de panes duros y en la producción de sémola de trigo duro, que es un ingrediente clave en la fabricación de muchos platos tradicionales y populares. En cuanto a la producción en Argentina se siembran aproximadamente 5 millones de hectáreas de trigo, correspondiendo a eso el 1,5 % de trigo candeal y lo restante a trigo pan (Acevedo Hinojosa y Silva Candia, 2007).

El trigo candeal cubre aproximadamente 20 millones de hectáreas en el mundo, representando menos del 10% del total de superficie de trigo. Más de la mitad de esta superficie se encuentra en la zona del Mar Mediterráneo que es la condición climática óptima para la generación de grano de alta calidad. El trigo candeal se destina principalmente a la producción de pastas y en menor medida a couscous, burghul y frikes, entre otros. Dada la escasez de este tipo de trigo, la industria de producción de pastas de algunos países ha incluido trigo harinero en el proceso, generando un producto de menor calidad. Sin embargo, los consumidores de pasta siguen prefiriendo aquella hecha con 100% de trigo candeal, debido a que se busca una pasta con una buena apariencia durante el proceso de cocción, con bajo grado de desintegración y baja pegosidad. La textura de la pasta debe ser firme, elástica y cohesiva (Acevedo Hinojosa y Silva Candia, 2007).

Los grandes productores y exportadores de trigo candeal, Canadá y EE.UU., se basan en programas de mejoramiento genético orientado al mercado internacional, con investigación y desarrollo agronómico para sus condiciones edafoclimáticas y sanitarias locales. Aun cuando no cuentan con condiciones climáticas óptimas para producción de grano de alta calidad, suplen esta deficiencia con grandes superficies bajo cultivo y un estricto sistema de selección y tipificación, logrando que una fracción de su producción tenga mejor calidad, particularmente alta proteína (INASE, 2022).

Calidad industrial del trigo

El rendimiento industrial del trigo pan se mide por el rendimiento en harina (granulometría entre 100 y 180 micras), mientras que el rendimiento industrial del trigo candeal se mide por el rendimiento en

[Escriba aquí]

sémola (granulometría entre 200 y 850 micras). Los principales parámetros de calidad industrial para trigo pan y candeal se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Parámetros de calidad para trigo pan y candeal.

Trigo Panadero	Trigo Candeal
Porcentaje de proteína	Porcentaje de proteína
Peso del hectolitro	Peso del hectolitro
Índice de dureza	Índice de dureza
Sedimentación (Zeleny)	Sedimentación (SDS)
Absorción de agua	Gluten húmedo
Volumen de pan	Gluten seco
Desarrollo de la masa	Gluten index
Color de miga	Color de gluten
Textura de miga	Extracción de sémola
Valor W (Farinografo)	Contenido de cenizas
Valor W (Alveografo)	Manchado de sémola
	Peso luego de cocción
	Pérdida de cocción
	Firmeza de cocción
	Amarengamiento
	Punta Negra

Para trigo candeal, los parámetros de calidad más importantes son calidad y cantidad de proteínas, que definen la fuerza de masa de la pasta y la estabilidad de la pasta durante la cocción (firmeza de cocción), el color de gluten (índice de amarillo y marrón) y la punta negra (Nachit et al., 1993).

Composición del grano de trigo

El grano de trigo contiene principalmente almidón, proteína, agua y en menor proporción grasas, minerales, celulosa y vitaminas. En el endosperma se encuentra el almidón que constituye el 70-80% del peso seco del grano. El grano de trigo posee alrededor de 10% de proteína en trigo pan y 12% en trigo candeal (Nachit et al., 1993). El 85% de la proteína está constituida por el gluten que representa la porción de proteínas insoluble en agua, constituida por las proteínas de reserva del grano que se ubican en el endosperma. El gluten está compuesto principalmente por dos grupos de proteínas: gliadinas y gluteninas (Hoseney, 1991). El 15% de la proteína restante es soluble en agua y se encuentran en el embrión y en la capa de aleurona del grano (Figura 1).

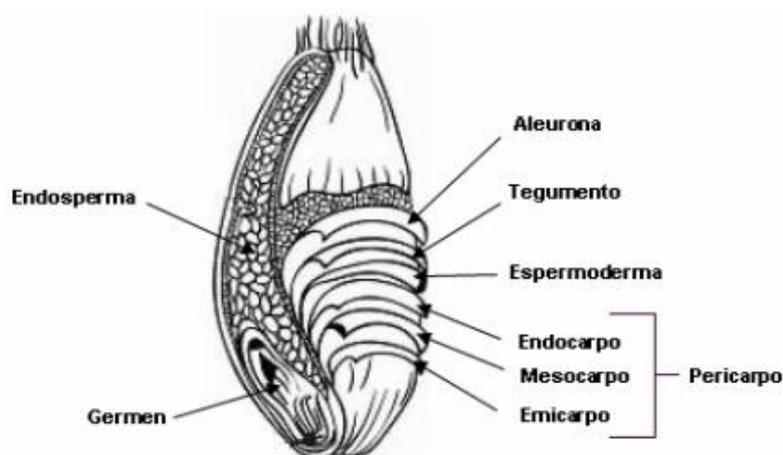


Figura 1. Esquema de un grano de trigo.

[Escriba aquí]

En Argentina se siembran aproximadamente 5 millones de hectáreas de trigo, de las cuales, el 1,5 % corresponde a trigo candeal, ubicándose principalmente en el sur de la provincia de Buenos Aires, donde solo los partidos de Coronel Dorrego, Coronel Pringles y Tres Arroyos generan cerca del 60% del total de trigo candeal producido en la provincia (Figura 2).

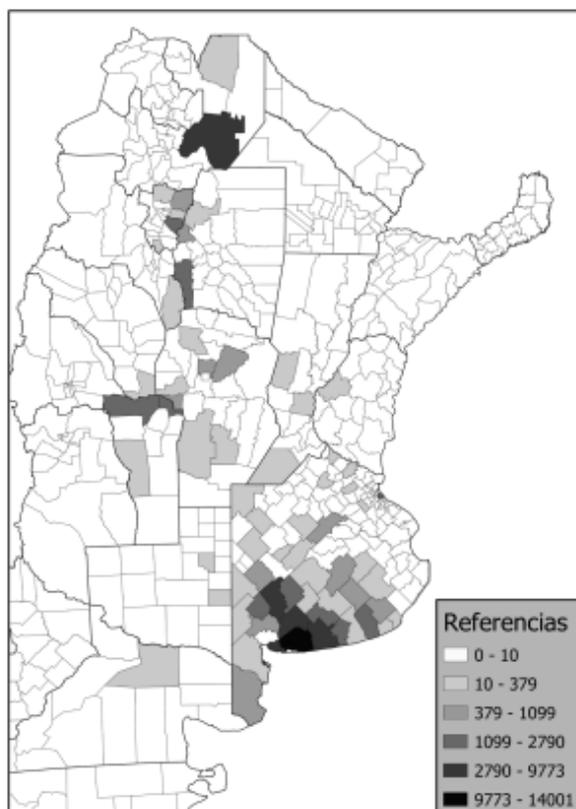


Figura 2. Distribución geográfica de superficie de siembra de trigo candeal.

Variedades sembradas en Argentina

En Argentina hay más de diez variedades que se siembran de trigo candeal, entre todas esta se cubre una superficie aproximadamente de 70.000 ha por año, de las cuales las principales que se comercializan son *Buck INTA carilo*, *Buck Perla* y *Athoris*. Esta última es la que se utilizará en los distintos tratamientos a evaluar (Tabla 1).

Tabla 1. Superficie (hectáreas) sembradas de las principales variedades de trigo candeal.

Variedad	Ha Total	% del Total	Ubicación general
BUCK INTA CARILO	21.121	30.66	37°
BUCK PERLA	12.929	17.84	60°
ATHORIS	12.030	17.46	62°
BUCK ZAFIRO	6.367	9.24	87°
ODISSEO	5.184	7.52	101°

[Escriba aquí]

BUCK ESMERALDA	3.259	4.73	141°
BUCK CUARZO	2.882	4.18	130°
OBELIX	1.598	2.32	68°
BUCK TOPACIO	363	1.53	174°
RESTO	3.697	4.50	22°
	68.895	100	

La importancia del riego por aspersión en el ciclo del cultivo

El riego por aspersión representa una herramienta crucial en el cultivo de trigo candeal, desempeñando un papel integral en la optimización del crecimiento, el rendimiento y la calidad. En primer lugar, su capacidad para asegurar una distribución uniforme del agua sobre la superficie del suelo permitiendo mantener niveles adecuados de humedad para fomentar un crecimiento saludable de las plantas y evitando el estrés hídrico. Esta uniformidad en la aplicación del agua es especialmente beneficiosa para el trigo candeal, que tiene requisitos específicos de humedad durante las diferentes etapas de su ciclo de crecimiento.

La flexibilidad en la aplicación del riego por aspersión es también una ventaja significativa. Permite ajustar la cantidad y la frecuencia de riego según las necesidades específicas del cultivo, las condiciones climáticas y los recursos hídricos disponibles. Esta capacidad de adaptación es fundamental para garantizar un suministro de agua óptimo y evitar tanto el exceso como la escasez de riego, lo que puede afectar negativamente el rendimiento y la calidad de la producción. Además, el riego por aspersión contribuye significativamente a la reducción de las pérdidas de agua por evaporación en comparación con otros métodos de riego, como el riego por inundación. Al distribuir el agua en forma de pequeñas gotas sobre el suelo, se minimiza la exposición al aire y se conserva una mayor cantidad de agua en el sistema del suelo, lo que resulta en un uso más eficiente del recurso hídrico y una menor dependencia de fuentes de agua externas.

Ambientación e insumos variables

La siembra y fertilización variable ofrecen ventajas significativas en la agricultura al adaptar la cantidad de semillas y fertilizantes según las características específicas de cada área de cultivo. Esto optimiza el uso de recursos, reduce costos y mejora los rendimientos. Al emplear tecnologías de mapeo y análisis de datos, por ejemplo Imágenes satelitales, NDVI, etc., los productores e ingenieros pueden identificar variaciones en el suelo y en los niveles de nutrientes, lo que les permite tomar decisiones más informadas y precisas. Esto conduce a una producción más eficiente, sostenible y rentable, al tiempo que se minimiza el impacto ambiental. El proceso de adaptar la siembra se logra mediante el uso de tecnologías como la agricultura de precisión, que permite recolectar datos sobre el suelo, el clima y otros factores. Estos datos se utilizan para crear mapas detallados que identifican las variaciones

[Escriba aquí]

dentro del lote. Luego, se ajustan la densidad de siembra y la cantidad de fertilizantes según las necesidades específicas de cada área o ambiente. Esto se realiza a través de equipos de siembra y fertilización variables, que pueden ser controlados automáticamente o ajustados por el operador en tiempo real.

Análisis de imágenes NDVI

El análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es una técnica utilizada para evaluar la salud y el vigor de la vegetación, el cual toma valores de 0 a 1, siendo aquellos cerca del 0 los correspondientes a canopeos más amarillentos y los más verdes, los cercanos al 1. Se realiza utilizando datos de imágenes obtenidas por drones, satélites u otras plataformas aéreas, y consiste en calcular la diferencia entre la reflectancia de la luz roja y la luz infrarroja cercana. Este análisis proporciona información sobre la densidad y la salud de la vegetación, lo que permite a los productores identificar áreas con diferentes niveles de crecimiento vegetal y tomar decisiones informadas sobre el manejo de los cultivos, como la aplicación de fertilizantes, la detección de enfermedades o la programación de la cosecha.

Objetivos

Evaluar el efecto de las distintas dosis de fertilizante y semilla a la siembra, sobre el rendimiento y la calidad (proteína y gluten) de trigo candeal bajo riego por pivot central.

Materiales y métodos

Ubicación

El ensayo se realizó en el establecimiento “Vieja corona “cercano al partido de coronel Pringles (38°10'22.24"S 61° 9'52.81"O) (Figura 3).

La región de Coronel Pringles, ubicada en la provincia de Buenos Aires, Argentina, se caracteriza por un clima templado pampeano. Este clima se manifiesta con cuatro estaciones bien definidas. Los veranos son cálidos a calurosos, con temperaturas medias que pueden superar los 30°C durante los meses más calurosos, como enero y febrero. Por otro lado, los inviernos son suaves, con temperaturas medias que raramente descienden por debajo de los 0°C.

En cuanto a la precipitación, la región experimenta un patrón moderado y relativamente uniforme a lo largo del año, con un promedio anual de alrededor de 800 mm. La mayoría de las precipitaciones ocurren durante la primavera y el verano, aunque también hay lluvias en otoño e invierno.

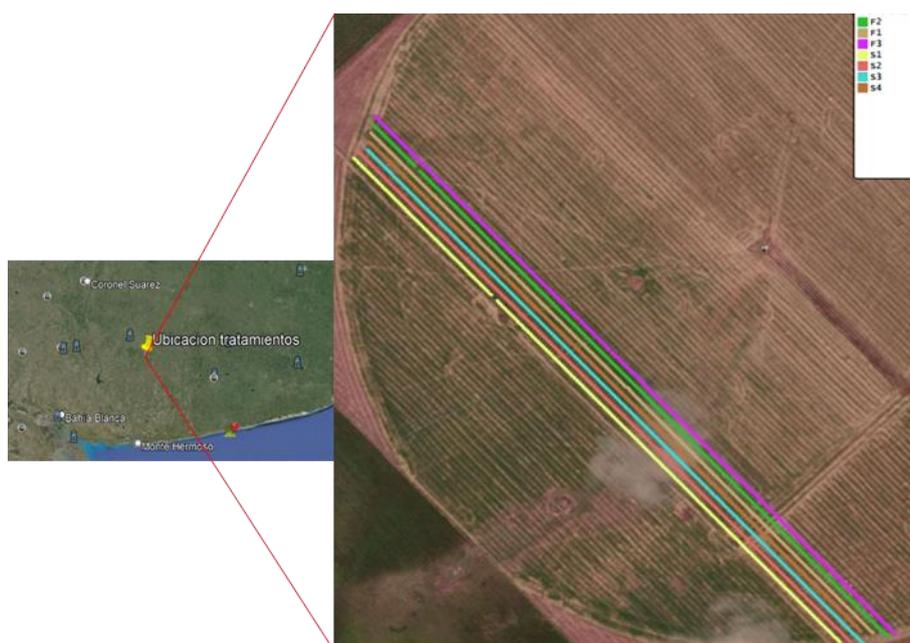


Figura 3. Ubicación del ensayo en el establecimiento “Vieja corona” partido coronel Pringles y disposición de los tratamientos.

Manejo presiembra

El lote sobre el cual se realizó el ensayo presentaba como cultivo antecesor maíz para semilla. El barbecho se realizó de manera mecánica a través de 2 pasadas de rastra Kelly y una aplicación terrestre, el 7 de julio previo a la siembra, con Glifosato 1,5 L ha⁻¹ + 2,4-D 600 cm³ ha⁻¹ + Dicamba 200 cm³ ha⁻¹ + Diflufenican 0,25 kg ha⁻¹ para el control de malezas.

⇒ Panzer Golden Glifosato 60.8 SL (Corteva)

[Escriba aquí]

- ⇒ 2.4D Sal colina del ácido 2,4-D diclorofenoxiacético (Corteva)
- ⇒ Bebus Dicamba 57.7 CS (Helm)
- ⇒ Tuken Diflufenican 50 SC (Atanor)
- ⇒ Physio H Nitrógeno 16 Químico- Líquido (Timac agro)

Previo a la siembra se realizó un análisis de suelo con el objetivo de conocer la fertilidad del lote a través de la cuantificación de macronutrientes (nitrógeno y fósforo), mesonutrientes (azufre) y micronutrientes (boro y zinc), como así también del pH y materia orgánica (Tabla 3).

El lote fue ambientado en función de los rendimientos obtenidos de mapas de cosecha de años anteriores lo cuales complementados con imágenes satelitales capturadas en distintos momentos del ciclo del cultivo y su posterior análisis del Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI).

Esto resultó en la identificación de seis ambientes con diferentes niveles de potencial de producción. Tres de estos ambientes corresponden a áreas de secano, mientras que los otros tres se encuentran dentro del sistema de riego por pivote, con un potencial de producción superior. Estos ambientes fueron designados como AP (Alta Productividad), MP (Media Productividad) y BP (Baja Productividad) a lo largo del estudio de los tratamientos.

,

El lote fue fertilizado con urea en forma variable según los ambientes del lote (Figura 4).

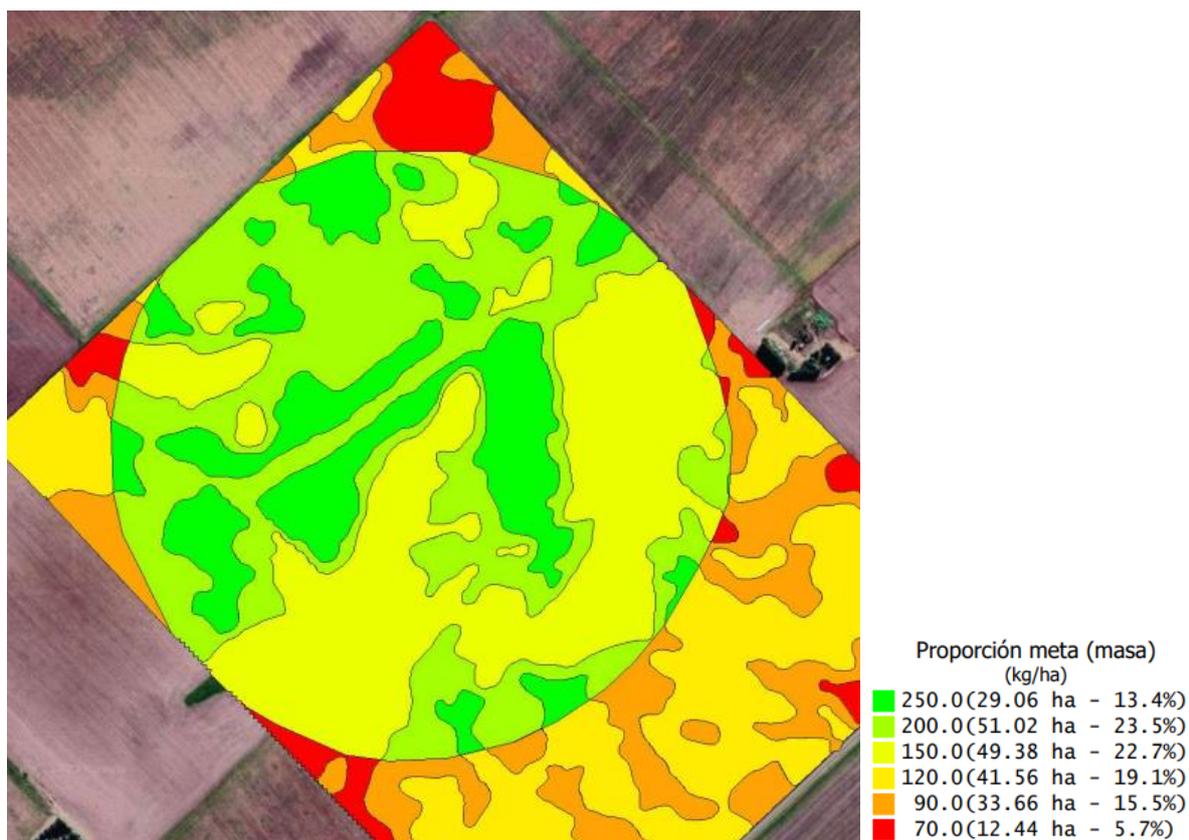


Figura 4. Prescripción fertilización (urea) variable.

Manejo siembra y cultivo

La siembra del trigo candeal *var Athoris* fue realizada el 8 de julio del año 2023 (Figura 5). Se evaluaron la siguiente combinación de tratamientos (Tabla2):

Tabla 2. Combinación de tratamientos densidad de semilla y dosis de fertilizante (Fosfato Monoamónico, MAP).

Ensayo	1	2	3	4	5	6	7
MAP (kg ha ⁻¹)	100	100	100	100	80	100	120
Semilla (kg ha ⁻¹)	120	155	166	178	166	166	166

A cada densidad de semilla utilizada (Tabla 2, Figura 6) se le agregó una dosis fija de fertilizante MAP (100 kg ha⁻¹), y cada dosis de fertilizante evaluada presentó la misma densidad de semilla (166 kg ha⁻¹). Todos estos tratamientos fueron sembrados a lo largo del pivot en orden creciente de dosis (Figura. 3).

Se utilizaron esos valores de semilla y fertilizante respetando los valores que se utilizan en el mapa de siembra variable para ver su comportamiento en los distintos ambientes (baja, media y alta productividad), por otra parte, también se utilizó una densidad de 1 kg ha⁻¹ de semilla que corresponde

[Escriba aquí]

a la dosis de siembra del sector sin riego con el objetivo de ver cómo responde el cultivo con dosis menores a las recomendadas.



Figura 5. Siembra de trigo candeal con dosis variable de semilla y fertilizante.

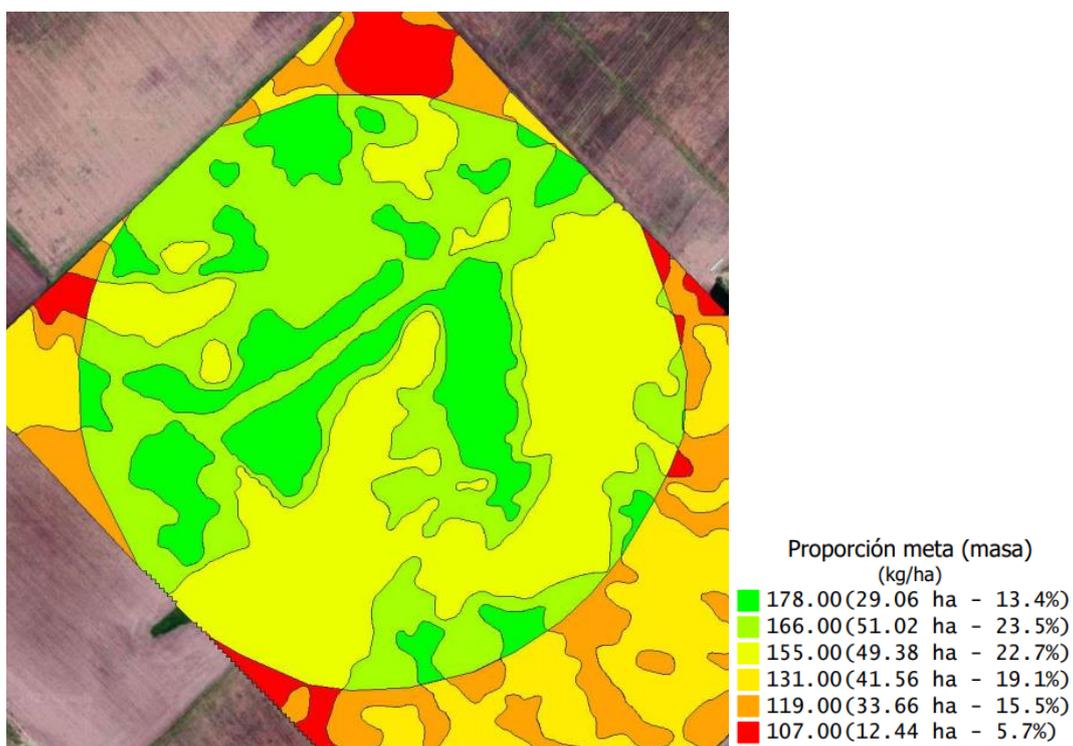


Figura 6. Prescripción para siembra variable.

Posterior a la siembra se realizó una medición de densidad de plantas logradas en los distintos tratamientos (Figura 7).

[Escriba aquí]



Figura 7. Medición de densidad de plantas.

En macollaje (Z2) se volvió a repetir la fertilización variable por ambientes con urea, realizándose de la misma manera que en presembrado, según mapa de prescripción de ambientes y dosis (Figura 4).

El día 29 de septiembre se realizó una aplicación terrestre al cultivo con el objetivo de controlar las malezas presentes en el lote utilizando los siguientes productos y dosis: Axial 0,8 L ha⁻¹ + Physio 0,05 L ha⁻¹. El día 19 de octubre de 2023 se realizó una aplicación aérea para el control de Roya mancha amarilla. Utilizando Cripton Prothionconazole 17.5 SC | + Trifloxistrobin (Cripton) a razón de 15 SC (Bayer) 0,7 L ha⁻¹.

⇒ Axial Pinoxaden 5 EC | Cloquintocet mexil 1.25 EC (Syngenta)

En la fase de Espigazón, se realizó una evaluación de los diferentes tratamientos a través de la medición del índice de verdor por medio del medidor de clorofila a Minolta SPAD® 502 y sensores remotos multiespectrales (GreenSeeker). Este proceso se llevó a cabo con el fin de calcular un índice de verdor para cada tratamiento y sus respectivos ambientes. El objetivo primordial fue recabar datos precisos sobre el estado nutricional de las plantas, y su capacidad para absorber la luz solar. El medidor de clorofila SPAD permite caracterizar el estado nitrogenado de una manera no destructiva (Sainz Rosas & Echeverría, 1998), rápida y sencilla, permitiendo realizar muestreos frecuentes y explorar con mayor detalle la variabilidad en un sitio comparado con otros métodos conocidos (Gandrup et al., 2004).

[Escriba aquí]



Figura 8. Medición de tratamientos con GreenSeeker.

En el caso de las mediciones con GreenSeeker (Figura 8), las mismas fueron realizadas para cada tratamiento y ambiente los cuales se recorrieron con el sensor de mano activado generando una medición múltiple de cada punto de tratamiento y así obteniendo datos para su posterior interpretación.

En el caso del Spad, se realizaron 10 mediciones (lecturas) por tratamiento. Esto se realizó en los 7 tratamientos y sus respectivos ambientes. Las lecturas se efectuaron en el tercio superior de la última hoja totalmente expandida, en el centro de la misma entre el margen y la nervadura central, evitando dicha nervadura como así también zonas cloróticas o dañadas si las hubiese (recomendaciones detalladas en el instructivo del equipo).

En cuanto a riegos se realizaron 15 aplicaciones a lo largo del cultivo, acumulando un total de 175 mm de lámina de agua. Dentro de esas aplicaciones, en el mes de noviembre se realizaron 2 aplicaciones con el riego del herbicida Bagual cada aplicación con una lámina de 10 mm.

Cosecha

Previo a la cosecha del cultivo, en cada tratamiento se tomaron muestra de grano para llevar al laboratorio y obtener los resultados de proteína y gluten. Este procedimiento se llevó a cabo utilizando la aplicación Avenza, la cual emplea un mapa georreferenciado del lote previamente cargado (Figura 9). Este mapa delimita los ambientes según su potencial, lo que facilitó determinar en qué sector (bajo, medio o alto potencial) nos encontrábamos para realizar la toma de tres muestras de grano con el fin de llevar a cabo un análisis posterior.

Luego de la cosecha de los tratamientos se realizó un análisis del mapa de cosecha en el programa SMS, el cual sirvió para observar cada tratamiento de forma individual.

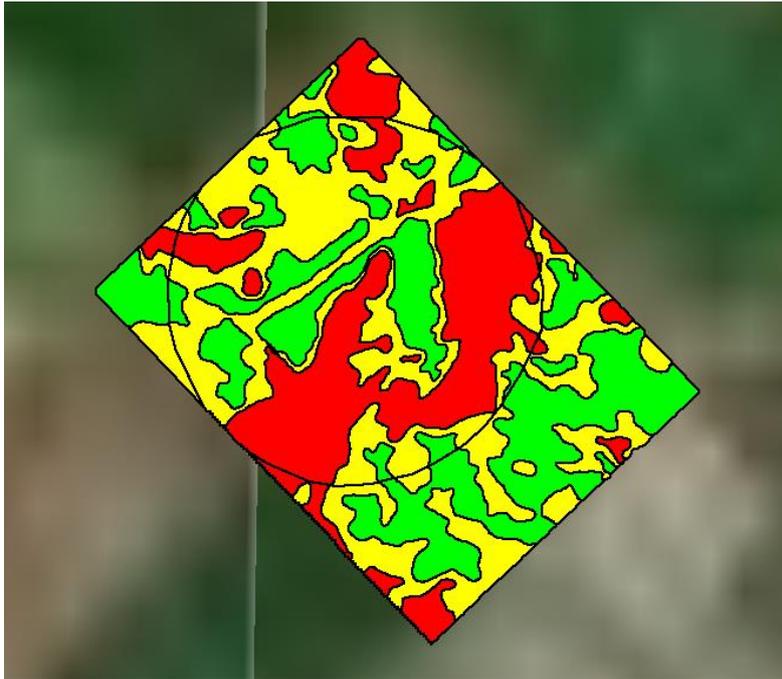


Figura 9. Imagen georreferenciada utilizada para navegar en los ambientes.

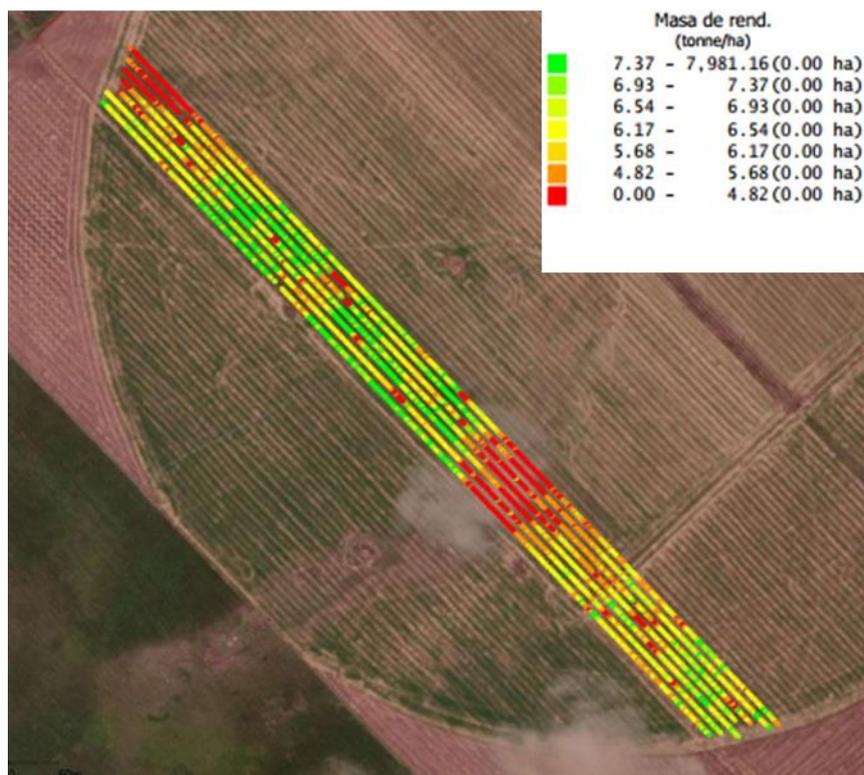


Figura 10. Mapa de rendimiento del trigo candeal ($t\ ha^{-1}$).

Resultados y discusión

Las precipitaciones desde mayo hasta noviembre del año en estudio se encontraron por debajo del promedio histórico para la zona (Figura 11) por lo cual se utilizó el pivot central para obtener rendimientos cercanos a los potenciales. El riego fue aplicado en distintos momentos del ciclo del cultivo (implantación, macollaje, encañazón, espigazón, antesis y llenado de grano) concentrándose mayormente a fines de octubre y noviembre. Como se observa en la Figura 11 en el mes de diciembre las precipitaciones fueron superior a la media, aunque se produjeron cuando ya el cultivo estaba finalizando el ciclo. Gracias a la adecuada disponibilidad de agua y una nutrición óptima para el cultivo, se observó un desarrollo satisfactorio en la biomasa y la formación de macollos, lo que contribuyó al crecimiento potencial de espigas y espiguillas.

Con una lámina total de 175 mm aplicada durante el ciclo del cultivo se logró como resultado 395 mm desde el inicio hasta el final del ciclo del cultivo (julio-diciembre).

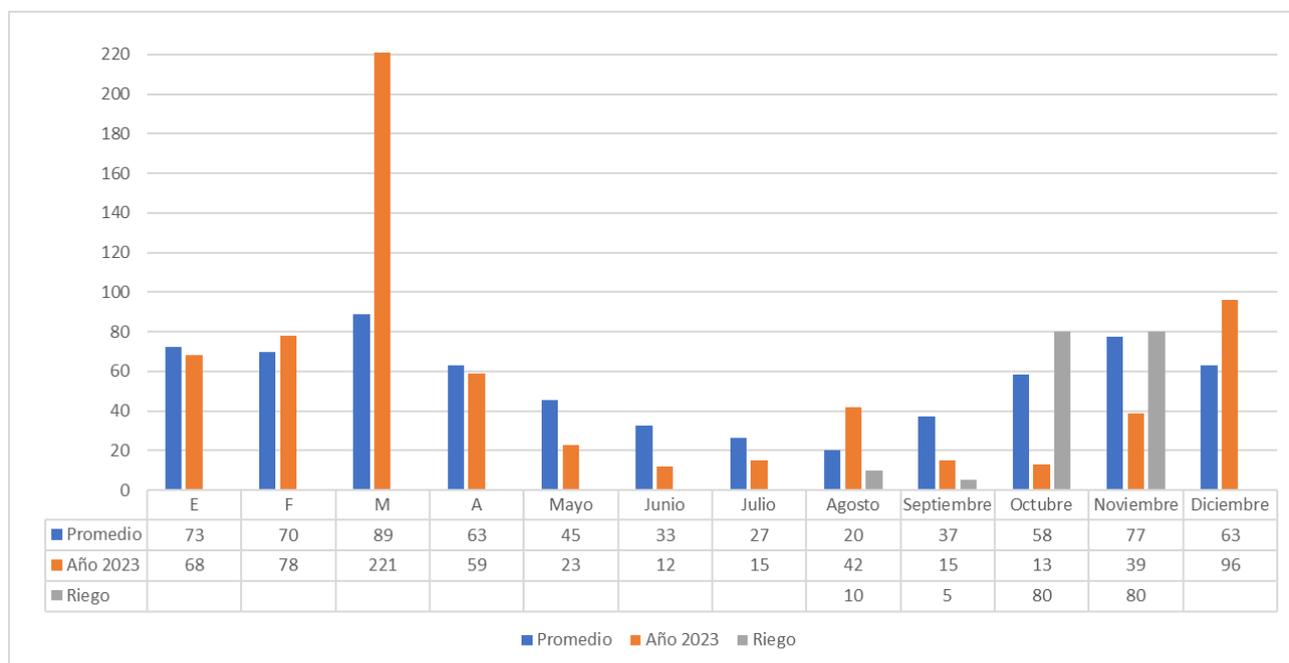


Figura 11. Precipitaciones promedio (2016-2023) y precipitaciones mensuales durante la campaña 2022/23 en el partido de Coronel Pringles (Buenos Aires). Fuente: Elaboración propia con datos del establecimiento y del sitio es.weatherspark.com

Los valores obtenidos en el análisis de suelos realizado previo a la siembra fueron de 18 mg kg⁻¹ de fósforo extraíble (Pe), dicho valor se encuentra en el límite superior de los umbrales críticos del cultivo, 7,0 mg kg⁻¹ de (0-20 cm) y de 10,3 mg kg⁻¹ (20-40 cm) de Nitrógeno inorgánico (Ni), 57 mg kg⁻¹ (0-20 cm) de Nitrógeno Mineralizable (N-min), 4,4 % de Sulfatos (S) (0-20 cm) y 4 % (20-40 cm), 1,69 % de Zinc (Zn) de (0-20 cm), 0,52 % de Boro (B) de (0-20 cm), 3,7 % Materia orgánica (M.O) y 6,9 pH.

[Escriba aquí]

Tabla 3. Análisis de suelo previo a la siembra.

Prof (cm)	Pe	Ni	N-min	S	Zn	B	MO	pH
	mg kg ⁻¹						%	
0-20	18	7,0	57,0	4,4	1,69	0,52	3,7	6,9
20-40		10,3		4,0				

Pe: Fósforo extraíble, Ni: Nitrógeno inorgánico (nitratos), N-min: Nitrógeno Mineralizable, S: Sulfatos, Zn: Zinc, B: Boro, MO: Materia Orgánica.

Mediciones de Spad y GreenSeeker en los tratamientos

Analizando los valores de Spad (Tabla 5) en los ambientes de bajo potencial nos indica que los mayores valores se obtienen con el tratamiento S2, para el caso de los de medio potencial el tratamiento S1 fue el que mayor valor dio seguido del F3, y en ambientes de alto potencial los tratamientos de F3 y S4.

Tabla 5 Valores GreenSeeker (GS) y Spad (Sp)

Ambientes	S1		S2		S3		S4		F1		F2		F3	
	Sp	GS												
Bajo potencial	47,6	0,69	50,7	0,75	45,8	0,73	47,1	0,73	45,4	0,70	45,7	0,58	49	0,49
Medio potencial	50,5	0,74	49,3	0,74	44,7	0,73	47,2	0,75	47,2	0,72	48,2	0,73	48,8	0,75
Alto potencial	50,5	0,78	49,5	0,77	49,2	0,79	51,3	0,76	50,4	0,76	47,6	0,75	52,7	0,76

En cuanto a las mediciones de GreenSeeker (Tabla 5) podemos observar que para los ambientes de bajo potencial el tratamiento S2 fue el que obtuvo el mayor valor de medición, sin embargo, al analizar el rendimiento por hectárea este tratamiento se ubica segundo, y en primer lugar el S1. Cuando se analiza el ambiente de medio potencial se observa que para el tratamiento de S4 y F3 se obtienen los mismos valores de medición (0,75) siendo estos los mayores, sin embargo, al analizar los rendimientos de los tratamientos estos obtuvieron los menores rendimientos. Para el caso de los ambientes de alto potencial se puede ver que el S3 fue el tratamiento que mayor valor dio (0,79) entre todos, este al analizar los valores de rendimiento se encuentra por debajo del tratamiento S4 (con un valor de 7,26 t ha⁻¹) el cual obtuvo el mayor valor de rinde por hectárea, lo cual nos indica que los valores de

[Escriba aquí]

GreenSeeker no son buenos predictores del rendimiento, si no de capacidad de absorción de luz del cultivo (Figura 12).

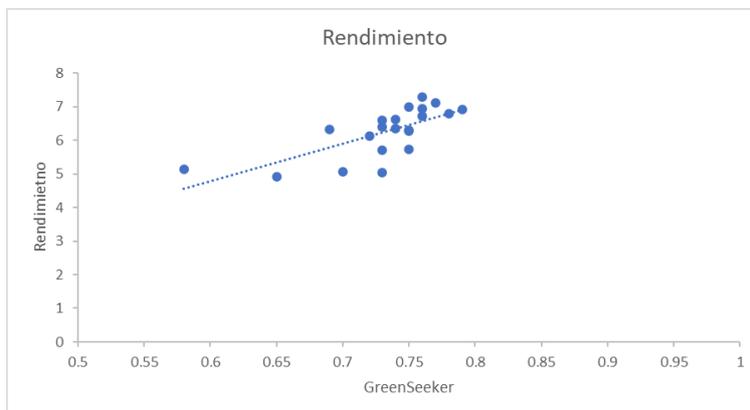


Figura 12. Valores de GreenSeeker (GS)

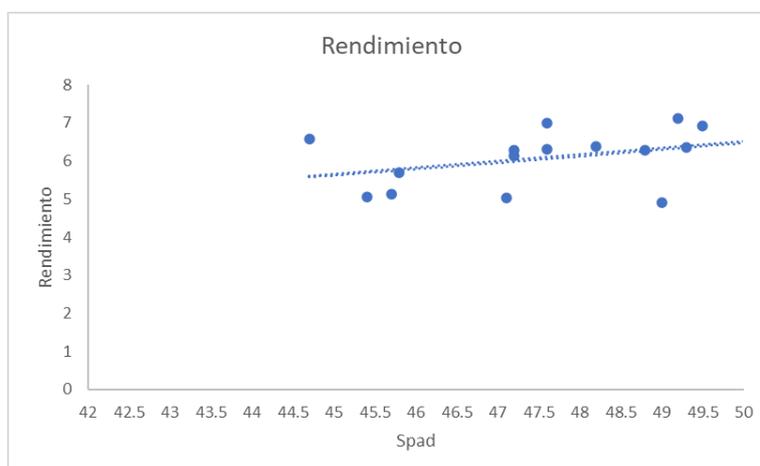


Figura 13. Valores de Spad (Sp)

Calidad del grano

Viendo los resultados de proteína y gluten se puede observar que los valores fueron similares entre tratamientos, como así también en su variación dentro de los tratamientos asociado a los bajos DE obtenidos (Tabla 1 y 2 Anexo II), estos resultados se deben a que todo el ensayo tuvo una fertilización en presiembra y en macollaje con dosis variable sin tener en cuenta una dosis fija para cada uno. En cuanto a los estándares de comercialización, se establece un mínimo del 11 % para la proteína y del 22 % para el gluten. Todos los tratamientos evaluados superaron estos mínimos, llegando incluso a superarlos ampliamente, lo que es una ventaja a la hora de la comercialización ya que se obtienen bonificaciones por clases.

Sin embargo, estos resultados no fueron analizados estadísticamente, y el número de muestras (n) es bajo.

[Escriba aquí]

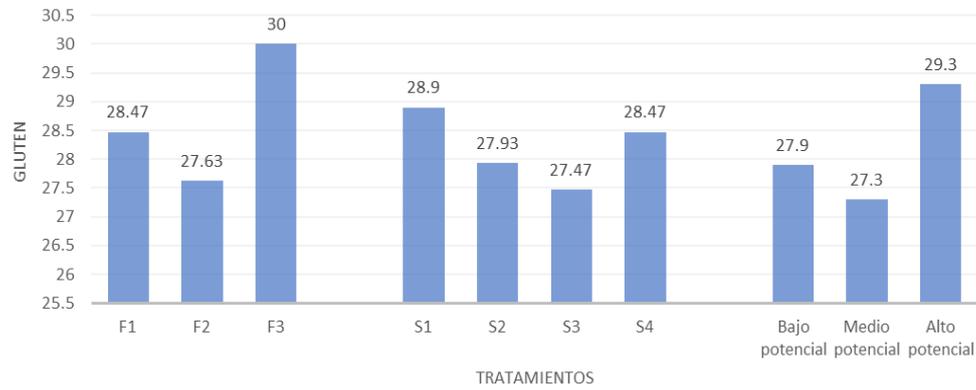


Figura 14. Valores de gluten de los tratamientos y ambientes evaluados.

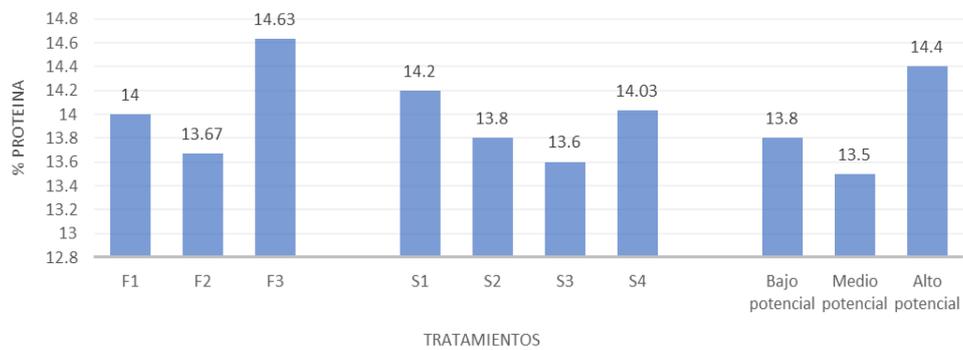
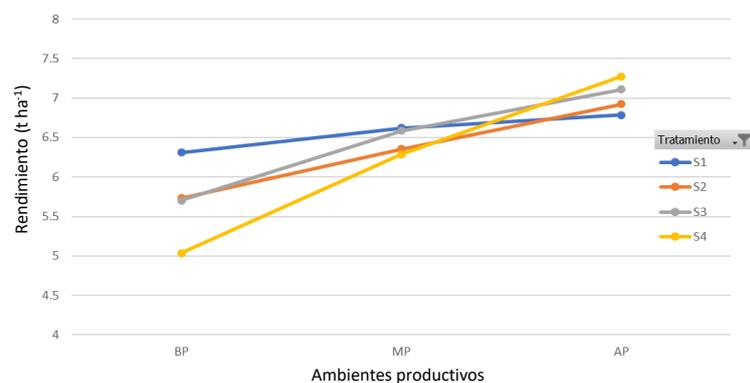


Figura 15. Valores de proteína de los tratamientos y ambientes evaluados.

Rendimiento

Los siguientes gráficos de rendimiento fueron analizados con el programa Excel en una tabla dinámica, luego de haber pasado por un proceso de limpieza de los mapas de rendimiento, lo cual se realizó con el programa SMS, el cual elimina las fallas que tiene el sistema de mapeo de rendimiento de una máquina.



[Escriba aquí]

Figura 16. Rendimientos medios ($t\ ha^{-1}$) para cada ambiente en función de la densidad de siembra.

BP: Baja Productividad, MP: Media Productividad y AP: Alta Productividad.

El rendimiento máximo obtenido en cada ambiente no siempre se obtuvo con el mismo tratamiento. Es decir, en ambientes de menor potencial productivo, aquellos tratamientos con mayor densidad de semilla presentaron los menores rendimientos, posiblemente asociado a una mayor competencia entre plantas. En ese ambiente, el máximo rendimiento se obtuvo con la menor densidad de siembra utilizada ($120\ kg\ ha^{-1}$) con un rendimiento de $6.310\ kg\ ha^{-1}$. A medida que el ambiente mejora, se observa una respuesta positiva al aumento de la densidad de semilla, lo cual nos da un indicativo que dosis de $178\ kg\ ha^{-1}$ de semilla se debería utilizar para maximizar los rindes en el ambiente de alta productividad. En este ambiente, los mayores rendimientos se obtuvieron en S4 con un valor promedio de $7.272\ kg\ ha^{-1}$ (Figura 16).

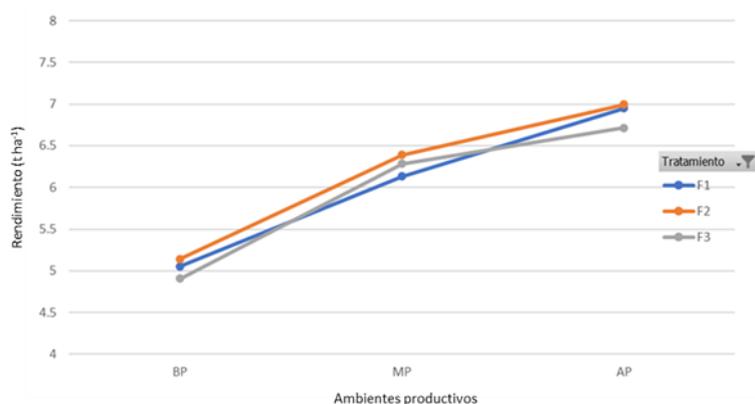


Figura 17. Rendimientos medios ($t\ ha^{-1}$) para cada ambiente en función de la dosis de fertilización. BP: Baja Productividad, MP: Media Productividad y AP: Alta Productividad.

Los rendimientos se vieron poco afectados por la fertilización (Figura 17). En general, las diferencias entre dosis de fertilización fueron inferiores a $250\ kg\ ha^{-1}$ en los tres ambientes. Es importante destacar que los buenos niveles de fósforo determinados a la siembra ($Pe: 18\ mg\ kg^{-1}$) y las altas dosis de MAP ensayadas ($>80\ kg\ ha^{-1}$) hacen suponer que este nutriente no representaría una limitante para el rendimiento del cultivo. Los umbrales críticos de P-Bray para la mayoría de los cultivos oscilan de 12 a $18\ mg\ kg^{-1}$ (García et al., 2015), para las condiciones del ensayo evaluado, los valores de Pe determinados estarían en niveles aceptables para el cultivo de trigo. Al igual que lo observado con la densidad de semilla, las mayores diferencias en los rendimientos responden a los ambientes.

[Escriba aquí]

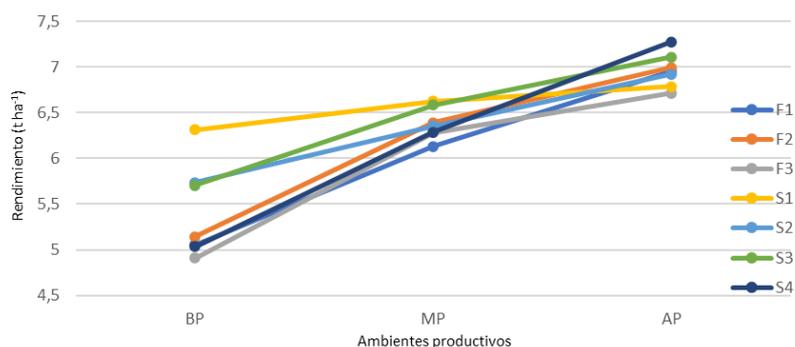


Figura 18. Rendimiento promedio de los tratamientos para los ambientes BP: Baja Productividad, MP: Media Productividad y AP: Alta Productividad.

Para cada ambiente, el rendimiento objetivo se estableció en base a la fertilización que se realizó y al contenido de nitrógeno que dieron los análisis de suelo previo a la siembra, estos objetivos fueron valores de $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ para la zona de alto potencial, $6,5 \text{ t ha}^{-1}$ para la zona de medio potencial y 5 t ha^{-1} para la de bajo potencial (Figura 18).

A los cuales se aplicaron dosis de 230 kg ha^{-1} de nitrógeno para el ambiente de alto potencial, 184 kg ha^{-1} para el de medio potencial y 138 kg ha^{-1} para el de bajo potencial. Estos fueron aplicados en forma de Urea (Fertilizante sólido 46 % Nitrogeno)

Análisis de imágenes de NDVI

Las siguientes figuras fueron analizadas con el programa Excel en una tabla dinámica, luego de haber pasado por un proceso de selección de las imágenes satelitales, lo cual se realizó con el programa SMS.

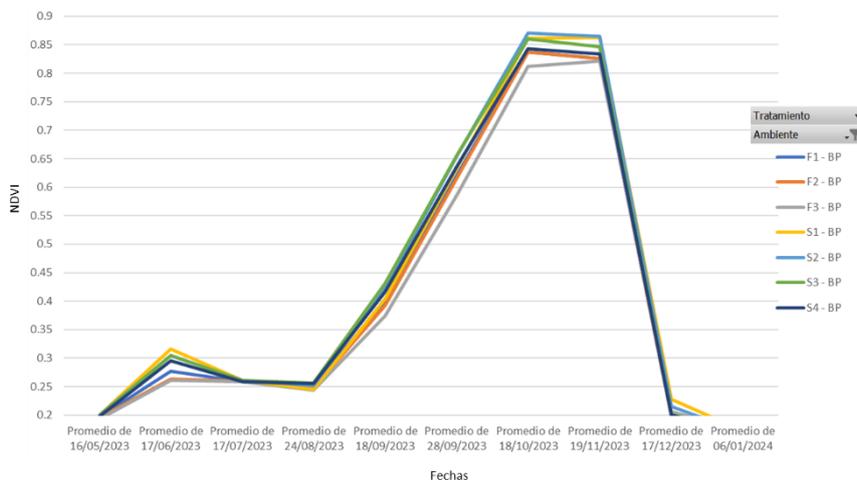


Figura 19. Valores de NDVI durante el ciclo del cultivo en los tratamientos de baja productividad.

Para los ambientes de baja productividad se puede observar que el tratamiento S2 fue el que tuvo el pico de mayor valor (0,86) seguido del S1. Estos dos fueron a su vez los que mayores rendimientos tuvieron en este ambiente.

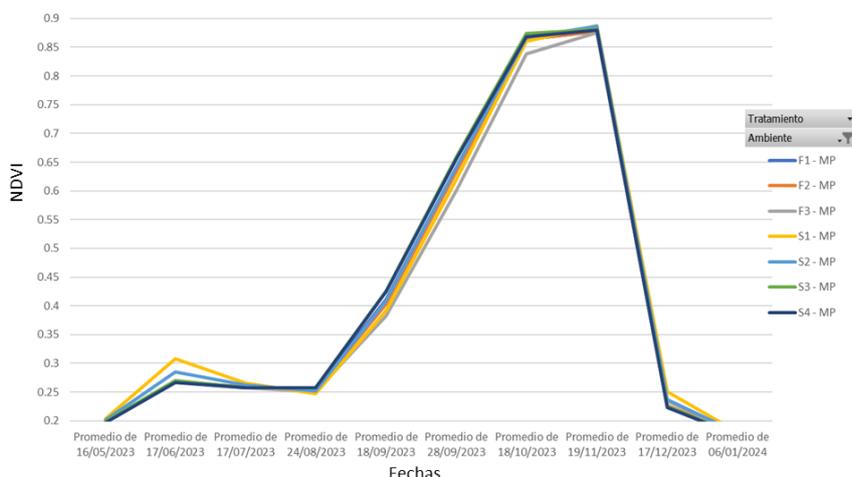


Figura 20. Valores de NDVI del ciclo del cultivo en los tratamientos de media productividad.

En el ambiente de media productividad (Figura 18) la curva de NDVI siguió creciendo hasta el 19/11 a diferencia de la de baja productividad que se observa que su pico se da el 18/10 y luego disminuye (Figura 19).

Esta curva obtiene un pico máximo de 0,87 siendo este el valor del tratamiento S2, seguido de este se observa el tratamiento S1 con un máximo de 0,86. Con respecto al rendimiento para este ambiente el tratamiento que presentó el mayor rinde fue el S1 (6,62 t ha⁻¹).

[Escriba aquí]

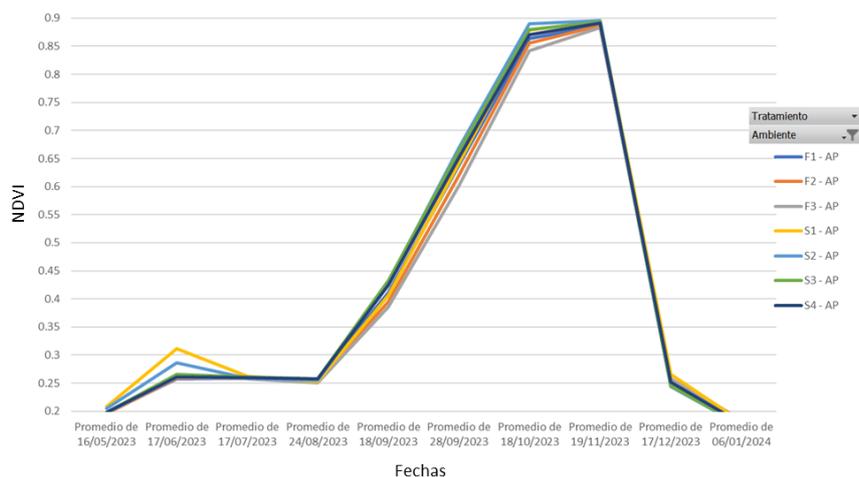


Figura 21. Valores de NDVI del ciclo del cultivo en los tratamientos de alta productividad.

Al igual que en el ambiente de media productividad (Figura 20) se puede observar que en el ambiente de alta productividad los valores de NDVI siguen creciendo hasta el 19/11 el cual se encuentra el punto máximo (0,89) el cual corresponde al tratamiento S1.

En el análisis de NDVI se puede observar que a lo largo del cultivo se tiene valores similares para los distintos tratamientos en un rango de valores máximos que va desde 0,83 para las zonas de baja productividad, 0,86 para zona de mediana productividad y 0,89 para las zonas de alta productividad. A su vez el ambiente de mediana y alta productividad continúa aumentando el NDVI por más tiempo que en el ambiente de baja productividad, esto se debe a una mayor retención de agua de los ambientes de mejor productividad. En el análisis mencionado, se observa rangos específicos para diferentes niveles de productividad, estos es un indicativo que nos sirve para ver el comportamiento del suelo con las densidades planteadas en los tratamientos, y evaluar distintos manejos posibles para cada ambiente.

Conclusiones:

Se observo que el incremento de la dosis de semilla aumenta el rendimiento en la zona de mediana productividad y alta productividad, mientras que en la zona de baja productividad presentó un comportamiento inverso. Estos valores que se utilizaron para ver cómo era el rendimiento del cultivo fueron tomados del mapa de prescripción de siembra de todo el campo, incluyendo la zona de secano. Lo cual se pudo corroborar que los parámetros establecidos previamente son aptos para cada ambiente

[Escriba aquí]

La zona de baja productividad se obtienen los mejores rendimientos con dosis de 120 a 150 kg ha⁻¹ de semilla, la zona de mediana productividad de 150 a 166 kg ha⁻¹ y la zona de alta productividad de 166 a 178 kg ha⁻¹, todos estos tratamientos fueron analizados con una dosis fija de 100 kg ha⁻¹ de MAP.

Para el caso de la fertilización (F1, F2 y F3) se vio que la diferencia en el rendimiento entre tratamientos fue inferior a los 200 kg ha⁻¹ en el ambiente de alta productividad, mientras que para los ambientes de menor productividad las diferencias fueron aun menores, llegando a ser de solo 100 kg ha⁻¹. Esto se debe a que la dosis de semilla fue fija para todos los ambientes (166 kg ha⁻¹) lo cual puede considerarse una densidad elevada para utilizar en la zona de baja productividad y no se pudo demostrar esa diferencia de fertilizante, mientras que en la zona de alta productividad la dosis de semilla fue inferior a la óptima, especialmente para el trigo candeal, un cultivo con poca capacidad de macollaje, lo que limitó la manifestación de diferencias de rendimiento más amplias. Otro motivo de la baja respuesta a la fertilización son los buenos niveles de fósforo determinados a la siembra (Pe: 18 mg kg⁻¹) y las altas dosis de MAP ensayadas (>80 kg ha⁻¹) hacen suponer que este nutriente no representaría una limitante para el rendimiento del cultivo.

En cuanto a calidad, se puede ver que no hay grandes variaciones en gluten y proteína, superando la calidad mínima de los estándares de comercialización, siendo esta una mercadería de buena calidad con bonificación tanto para gluten como para proteína. Esto se debe a que el cultivo en presiembra y macollaje tuvo una fertilización variable sin considerar ninguna dosis fija para estos tratamientos, lo cual género que el cultivo tenga una nutrición adecuada en cada ambiente.

Bibliografía:

Acevedo Hinojosa, E., y Silva Candia, P. (2007). Trigo candeal: calidad, mercado y zonas de cultivo. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas.

Servicio meteorológico: www.meteoblue.com.ar

SISA (Sistema de Información Simplificada Agrícola). 2022. INASE. Trigo 2021-2022. Disponible https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021_2022__sisa_if_final_trigo.pdf.

[Escriba aquí]

- Nachit, M.M., Baum, M., Impiglia, A. and Ketata, H. 1993. Studies on some grain quality traits in Durum Wheat grown in Mediterranean environments. In: Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region, Di Fonzo, N., Kaan, F., and Nachit, M. (eds.), CIHEAM/ICARDA/CIMMYT, Zaragoza (Spain), 17-19.
- Gandrup, M. E., García, F. O., Fabrizzi, K. P., & Echeverría, H. E. (2004). Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 33(3), 105-121.
- Sainz Rozas H., Echeverria H.E. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo del maíz y el rendimiento en grano. Rev. Fac. Agron., La Plata 103: 37-44.
- García, F.O.; Picone, L.I.; Ciampitti, I.A. 2015. Fósforo. Pp. 229-264. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.

Anexo I I:

Figura 1. Recorrida a campo de los tratamientos en macollaje.



Figura 2. Recorrida de tratamientos en espigazón.

Anexo II:

Resultados de los análisis de calidad del trigo candeal en los distintos tratamientos.

[Escriba aquí]

Medidas resumen

Tabla 1. Valores de gluten de los tratamientos.

Muestra	Variable	n	Media	DE	Var(n-1)	Var(n)	CV	Mín.	Máx.
F1	Gluten	3	28,47	1,85	3,42	2,28	6,50	27,30	30,60
F2	Gluten	3	27,63	1,10	1,21	0,81	3,99	26,50	28,70
F3	Gluten	3	30,00	1,59	2,52	1,68	5,29	28,80	31,80
S1	Gluten	3	28,90	0,80	0,64	0,43	2,77	28,10	29,70
S2	Gluten	3	27,93	0,84	0,70	0,47	3,00	27,40	28,90
S3	Gluten	3	27,47	0,68	0,46	0,31	2,48	26,70	28,00
S4	Gluten	3	28,47	0,42	0,17	0,12	1,46	28,00	28,80
VARIABLE Bajo potencial	Gluten	1	27,90	0	0	0	0	27,90	27,90
VARIABLE Medio potencial	Gluten	1	27,30	0	0	0	0	27,30	27,30
VARIABLE VERDE	Gluten	1	29,30	0	0	0	0	29,30	29,30

Tabla 2. Valores de proteína de los tratamientos

Muestra	Variable	n	Media	DE	Var(n-1)	CV	Mín.	Máx.
F1	Proteína	3	14.00	0.78	0.61	5.58	13.5	14.9
F2	Proteína	3	13.67	0.45	0.2	3.90	13.2	14.1
F3	Proteína	3	14.63	0.68	0.4	4.65	14.1	15.4
S1	Proteína	3	14.20	0,30	2.1	2.11	13.9	14.5
S2	Proteína	3	13.80	0.35	2.5	2.51	13.6	14.2
S3	Proteína	3	13.60	0.26	1.95	1.95	13.3	13.8
S4	Proteína	3	14.03	0,21	1.4	1.48	13.8	14.2
VARIABLE Bajo potencial	Proteína	1	13.80	0	0	0	13.8	13.8
VARIABLE Medio potencial	Proteína	1	13.50	0	0	0	13.5	13.5
VARIABLE Alto potencial	Proteína	1	14.40	0	0	0	14.4	14.4

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]