

Universidad de Belgrano

Licenciatura en Gestión de Agroempresas



“Evaluación comparativa del rendimiento y la viabilidad económica de fungicidas y cultivares resistentes para el control de la roya en trigo”

Tutora: Ing. Agr. Dra. Civeira Gabriela

Alumno: Desch Mauro Iván

ID: P000188345

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y amigos, por haberme apoyado y acompañado de diversas maneras a lo largo de este trayecto académico.

Al Lic. Santiago Morgantini, Director de la Carrera, por su profesionalismo y por brindar el marco institucional y académico necesario para el desarrollo de este trabajo final. Agradezco su excelente predisposición ante cada una de mis consultas.

A la Ing. Agr. Gabriela Civeira, tutora de este trabajo, por su guía constante, su compromiso profesional y su valioso asesoramiento en la organización y sistematización de los contenidos de esta tesis. Su apoyo técnico y humano en cada etapa de este proceso fue fundamental para alcanzar este logro.

A mi sitio de estudios, la Universidad de Belgrano, por brindarme una formación integral y por ser el espacio donde nació la inquietud profesional que dio origen a esta investigación.

A todas aquellas personas que, con su aporte de información, datos, sugerencias y aliento, colaboraron desinteresadamente en cada instancia de este proyecto. Sus contribuciones fueron una guía invaluable para concretar con éxito esta etapa de formación.

RESUMEN

En el sector agropecuario argentino, el cultivo de trigo enfrenta un desafío creciente debido al avance de la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), una enfermedad que ha incrementado el riesgo productivo y obliga a reevaluar las estrategias de manejo tradicional. Los productores demandan soluciones que no solo sean técnicamente eficaces, sino que garanticen la viabilidad económica y la sostenibilidad del sistema frente a la volatilidad de costos y precios.

Este trabajo evalúa la viabilidad económica de dos estrategias de manejo: el control químico y la resistencia genética. El estudio se realizó en tres localidades bonaerenses (Barrow, Pergamino y Plá-Klein) durante la campaña 2020/2021, utilizando dos cultivares comerciales con comportamiento sanitario contrastante: D.M. Algarrobo (susceptible) y Buck Cumelén (moderadamente resistente).

Mediante una investigación descriptiva y comparativa, se analizaron datos de la Red de Evaluación de Cultivares de Trigo (RET-INASE), calculando Márgenes Brutos y proyecciones financieras a 5 años (VAN, TIR y Payback).

Los resultados demuestran que la resistencia genética es la estrategia más robusta y rentable. En la localidad de Plá-Klein, el escenario sin fungicida alcanzó una TIR del 126%, un VAN de 1.916,40 U\$S/ha y un periodo de recupero (Payback) inferior a un año. En Barrow y Pergamino, la rentabilidad sin químicos también fue superior, con una TIR cercana al 45%.

Se concluye que la sanidad desde la semilla permite prescindir de aplicaciones innecesarias, optimizando el uso del capital y garantizando la viabilidad financiera del sistema bajo los lineamientos de sostenibilidad de la FAO.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	4
JUSTIFICACIÓN	6
OBJETIVOS	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
HIPÓTESIS	8
Hipótesis General	8
Hipótesis Específicas	8
MARCO TEÓRICO	9
El complejo de royas en el cultivo de trigo e importancia de la roya amarilla	9
Cambio en el escenario epidemiológico argentino	9
Estrategias de manejo disponibles en la actualidad	10
Fundamentos económicos del manejo sanitario	11
Integración productiva y económica en la toma de decisiones	11
MATERIALES Y MÉTODOS	12
Fuentes de información, sitios experimentales y cultivares evaluados	12
Diseño del estudio y evaluación de indicadores sanitarios, productivos, económicos y financieros	15
Organización y procesamiento de la base de datos	19
RESULTADOS	21
Análisis del desempeño productivo en relación con la presión sanitaria	21
Evaluación del desempeño económico: Márgenes Brutos	22
Viabilidad financiera y robustez de la estrategia de resistencia genética (VAN y TIR)	26
Análisis comparativo entre sitios	28
Análisis comparativo entre escenarios dentro de cada sitio	29
DISCUSIÓN	30
CONCLUSIÓN FINAL	32
REFERENCIAS	33
ANEXOS	36
Anexo I: Red de Evaluación de Cultivares de Trigo (RET-INASE): descripción general	36
Anexo II: Información sanitaria de los cultivares	38
Anexo III: Variables climáticas de las localidades evaluadas	39
Anexo IV: Desglose de Costos Directos y Cálculo de Márgenes Brutos por Localidad	41
Anexo V: Proyecciones Detalladas de Flujos de Fondos por Escenario	51

INTRODUCCIÓN

El cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) constituye uno de los principales cereales a nivel mundial y cumple un rol estratégico en la seguridad alimentaria global. Su producción se ve condicionada por diversos factores bióticos y abióticos que afectan tanto el rendimiento como la estabilidad productiva, entre los cuales las enfermedades foliares representan una de las principales limitantes. Dentro de este grupo, las royas del trigo, causadas por hongos del género *Puccinia*, se destacan por su elevada capacidad de dispersión, variabilidad genética y potencial impacto sobre la productividad del cultivo (Roelfs, Singh & Saari, 1992; Schwessinger, 2016). En particular, la roya amarilla o estriada (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) ha adquirido relevancia creciente en distintas regiones productoras del mundo debido a la emergencia de nuevas razas de mayor virulencia y capacidad de adaptación a diversos ambientes. Este proceso ha modificado el escenario epidemiológico tradicional de la enfermedad (originalmente restringido a regiones frías del hemisferio norte y al sudeste de la provincia de Buenos Aires) al permitir que el patógeno prospere a temperaturas más elevadas y se desarrolle en zonas históricamente consideradas marginales o desfavorables, incrementando, además, su incidencia y severidad (Schwessinger, 2016; Campos & Dietz, 2024; Lyon & Broders, 2017).

En Argentina, el trigo ocupa anualmente entre 5 y 6 millones de hectáreas, con una producción que oscila entre 15 y 20 millones de toneladas, posicionando al país como un actor relevante en el comercio internacional de cereales (MAGyP, 2024). Si bien la roya amarilla fue durante décadas una enfermedad de importancia secundaria, restringida principalmente al sudeste de la provincia de Buenos Aires, a partir de la campaña 2016/2017 se registró un aumento significativo de su frecuencia e intensidad, pasando de ser una afección esporádica a una amenaza constante. Este cambio se asocia a la introducción de nuevas razas virulentas, identificadas por el INTA en campañas recientes y a una mayor variabilidad climática, factores que favorecieron su expansión hacia otras subregiones trigueras del país (Campos, 2024; Carmona & Sautua, 2018; Schwessinger, 2016). La mayor incidencia de la roya amarilla ha generado un replanteo de las estrategias de manejo sanitario del cultivo y de la selección varietal en los programas de mejoramiento y entre los productores. Tradicionalmente, el control químico mediante la aplicación de fungicidas ha sido la herramienta más utilizada para mitigar los daños causados por la enfermedad, ofreciendo una respuesta rápida y efectiva en situaciones de alta presión de inóculo. Sin embargo, esta estrategia implica costos recurrentes asociados a insumos y labores cuyo recupero depende fuertemente del nivel de infección, del rendimiento alcanzado y de las condiciones ambientales de cada campaña; además implica riesgos vinculados al desarrollo de resistencia del patógeno y al impacto ambiental del uso intensivo de agroquímicos (Alberione et al., 2020; Campos & Dietz, 2024).

Una alternativa estratégica frente al uso intensivo de agroquímicos y otros esquemas de manejo de menor sustentabilidad es la utilización de cultivares con resistencia genética. Este recurso

permite reducir significativamente la dependencia del control químico y los costos asociados al mismo, aportando además una mayor estabilidad al rendimiento biológico. No obstante, la durabilidad de la resistencia puede verse comprometida por la evolución constante del patógeno, lo que introduce incertidumbre respecto de su eficacia a mediano y largo plazo (Alberione et al., 2020; Campos & Dietz, 2024). En este contexto, la elección entre aplicar fungicidas o utilizar cultivares con diferente comportamiento sanitario no solo tiene implicancias agronómicas, sino también económicas, ya que determina el nivel de inversión, el riesgo productivo y la rentabilidad del sistema. Por lo tanto, la evaluación de estrategias de manejo de la roya amarilla requiere un enfoque que integre el impacto sobre el rendimiento con un análisis económico que permita determinar la viabilidad de cada alternativa en condiciones productivas reales. La toma de decisiones basada únicamente en criterios técnicos puede resultar insuficiente si no se consideran los costos involucrados y los beneficios económicos esperados.

En este marco, el presente trabajo aborda el análisis comparativo del rendimiento observado y la viabilidad económica de dos estrategias de manejo de la roya amarilla del trigo: la aplicación de fungicidas y la utilización de cultivares con diferente comportamiento sanitario. A partir de información experimental generada en condiciones productivas reales, se integran datos de rendimiento con costos e indicadores económicos, con el objetivo de aportar criterios cuantitativos para la toma de decisiones económicas en el manejo sanitario del cultivo.

JUSTIFICACIÓN

La elección de este tema se fundamenta en la necesidad de aportar información económica confiable que permita optimizar la toma de decisiones en el manejo sanitario del cultivo de trigo frente al avance de la roya amarilla. En las últimas campañas, esta enfermedad ha incrementado el riesgo productivo en diversas regiones trigueras, obligando a los productores a definir estrategias que no sólo resulten eficaces desde el punto de vista técnico, sino también viables en términos económicos. Si bien existen distintas alternativas para el control de la roya amarilla, su adopción implica diferentes niveles de inversión, costos directos y exposición a la variabilidad productiva, cuyos resultados económicos no siempre son evidentes en condiciones productivas reales. La decisión entre aplicar fungicidas o utilizar cultivares con distinto comportamiento sanitario requiere ser evaluada más allá de su eficacia agronómica, incorporando criterios de rentabilidad, estabilidad económica y recuperación de la inversión.

El análisis comparativo de la rentabilidad de las estrategias arriba mencionadas adquiere, por lo tanto, especial relevancia. Disponer de evaluaciones económicas basadas en datos reales de rendimiento y en estructuras de costos representativas permite reducir la incertidumbre asociada a las decisiones de manejo sanitario y contribuye a una asignación más eficiente de los recursos productivos. Asimismo, este tipo de estudios resulta de utilidad tanto para productores como para técnicos y asesores, al brindar criterios objetivos para seleccionar estrategias de control acordes a distintos escenarios productivos y sanitarios. En síntesis, el presente trabajo busca aportar herramientas de análisis económico que contribuyan a mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción triguera, fortaleciendo los procesos de toma de decisiones en un contexto de creciente complejidad productiva, económica y ambiental.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el rendimiento y la viabilidad económica de dos estrategias de manejo de la roya amarilla en cultivos de trigo: control químico y uso de cultivares con diferente comportamiento sanitario, a fin de generar fundamentos técnicos y económicos que contribuyan a la toma de decisiones en el manejo sanitario del cultivo, en tres sitios de la provincia de Buenos Aires.

Objetivos Específicos

1. Comparar los rendimientos observados en cultivos de trigo bajo esquemas con aplicación de fungicidas y esquemas sin aplicación de fungicidas, como base para el análisis económico, a partir de datos experimentales de tres sitios representativos de la RET-INASE (Red de Evaluación de Trigo - Instituto Nacional de Semillas).
2. Cuantificar y comparar los costos directos y los ingresos asociados a cada estrategia de manejo de la roya amarilla, en función de la aplicación de fungicidas y del comportamiento sanitario de los cultivares de trigo.
3. Evaluar la viabilidad económica de las alternativas analizadas mediante el cálculo de márgenes brutos y flujos de fondos, incorporando indicadores económicos como valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y período de repago, a partir de la información productiva y económica obtenida en los distintos sitios de evaluación, para establecer criterios técnicos y económicos objetivos que orienten la toma de decisiones racionales ante distintos escenarios de presión sanitaria.

HIPÓTESIS:

Hipótesis General

La elección de la estrategia de control de la roya amarilla (aplicación de fungicidas o utilización de cultivares con diferente comportamiento sanitario) genera diferencias en los rendimientos observados que se traducen en resultados económicos diferenciados bajo distintas condiciones ambientales y productivas.

Hipótesis Específicas:

- 1. Los esquemas productivos basados en la utilización de cultivares con mejor comportamiento sanitario frente a la roya amarilla presentan rendimientos equivalentes o superiores a aquellos que incorporan la aplicación de fungicidas.*
- 2. La utilización de cultivares con distinto comportamiento sanitario se asocia a menores costos directos de producción en comparación con esquemas que requieren la aplicación de fungicidas.*
- 3. Las estrategias productivas basadas en la selección de materiales genéticos más adaptados presentan una mayor viabilidad económica que aquellas sustentadas principalmente en el control químico, reflejándose en diferencias significativas en indicadores económicos como el margen bruto, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), lo que permitiría optimizar la rentabilidad y disminuir el riesgo económico de la producción.*

MARCO TEÓRICO

El complejo de royas en el cultivo de trigo e importancia de la roya amarilla

Las royas del trigo constituyen un complejo de enfermedades fúngicas que acompañan al cultivo desde sus orígenes y continúan representando una de las principales limitaciones sanitarias de su producción a nivel mundial. Son causadas por hongos del género *Puccinia*, los cuales son biotróficos obligados que requieren de tejidos vegetales vivos para completar su ciclo de vida y reproducirse (Campos, 2024; Roelfs, Singh & Saari, 1992; Schwessinger, 2016). Existen tres especies principales que afectan a este cereal: la roya de la hoja (*Puccinia triticina*), la roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) y la roya amarilla o estriada (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). Entre ellas, la roya amarilla ha adquirido relevancia creciente debido a su elevada capacidad de dispersión, variabilidad genética y potencial impacto sobre la productividad. Esta enfermedad se manifiesta mediante pústulas amarillas dispuestas en estrías paralelas a las nervaduras foliares, liberando urediniosporas responsables de infecciones secundarias sucesivas. Esta naturaleza policíclica le permite completar varios ciclos de infección dentro de una misma campaña, generando un aumento exponencial del inóculo que puede transformarse rápidamente en una epidemia (Roelfs et al., 1992; Schwessinger, 2016). El hongo prospera bajo temperaturas entre 0 y 23°C (óptima de 11°C) y alta humedad relativa, cuando hay agua libre en la superficie foliar por rocío, neblina o llovizna. El impacto sobre el rendimiento puede ser muy elevado, afectando directamente el peso de los granos y reduciendo la eficiencia fotosintética; mientras que a nivel internacional se reportan pérdidas superiores al 50% (Lyon & Broders, 2017; Roelfs et al., 1992; Schwessinger, 2016), en Argentina, particularmente Campos (INTA Bordenave) en entrevistas técnicas reporta que los daños típicos en campañas de alta presión se ubican entre el 15 y el 40%, especialmente en cultivares susceptibles según severidad y oportunidad de control (La Nueva, 2018).

Cambio en el escenario epidemiológico argentino

A partir de la campaña 2016/2017 se registró un aumento abrupto en la frecuencia e intensidad de la enfermedad, vinculado con la introducción de nuevas razas virulentas capaces de superar la resistencia genética de cultivares locales (Campos, 2024). Entre ellas se destaca la detección del grupo denominado “tipo Warrior”, caracterizado por un mayor espectro de virulencia y un rango ampliado de hospederos (Alberione et al., 2020; Carmona & Sautua, 2018). La alta capacidad de migración de esporas, facilitada por corrientes de aire, junto con la elevada tasa de mutación y recombinación del patógeno, señalada como una de las más altas entre los fitopatógenos (Schwessinger, 2016), explica su rápida expansión territorial. Este escenario epidemiológico dinámico exige un monitoreo permanente del perfil poblacional del hongo para ajustar las recomendaciones varietales. En este contexto, las redes de vigilancia sanitarias coordinadas por el INTA cumplen un rol estratégico, particularmente a través de las

prospecciones anuales realizadas desde la EEA (Estación Experimental Agropecuaria) Bordenave en las principales subregiones trigueras, las cuales permiten detectar cambios en la composición racial y orientar el manejo integrado (Alberione et al., 2020; Campos, 2024). En consecuencia, la roya amarilla ha dejado de ser una problemática regional para convertirse actualmente en un factor sanitario estructural dentro del sistema triguero argentino.

Estrategias de manejo disponibles en la actualidad

Dado que las royas son hongos biotróficos obligados, la rotación de cultivos resulta inefectiva como herramienta de control, ya que el patógeno requiere tejidos vegetales vivos para completar su ciclo de vida. Asimismo, el uso de curasemillas presentan una eficacia limitada; aunque existen actualmente formulaciones a base de carboxamidas con residualidad de 45 a 60 días, donde su acción se restringe principalmente a infecciones tempranas (Campos, 2024; Schwessinger, 2016). En este sentido, el manejo de la roya amarilla se basa fundamentalmente en dos estrategias: la resistencia genética y el control químico. La utilización de cultivares con resistencia genética constituye la herramienta más eficiente y sostenible para el control a largo plazo de la enfermedad (Campos & Dietz, 2024; Carmona & Sautua, 2018; Lyon & Broders, 2017; Schwessinger, 2016). Esta protección puede deberse a genes mayores que confieren inmunidad específica, o a la acción de múltiples genes menores que confieren una resistencia parcial y más durable conocida como *slow rusting* (Alberione et al., 2020; Chen et al., 2024; Schwessinger, 2016). Según criterios de la EEA Marcos Juárez (Alberione et al., 2017), el enfoque de sanidad desde la semilla asegura la sustentabilidad productiva al representar una alternativa de bajo costo operativo en comparación con el control químico sistemático. La rápida evolución del patógeno hace necesario un monitoreo permanente del perfil racial y una actualización anual de los cultivares (variedades comerciales inscriptas y vigentes en cada campaña agrícola) recomendados (Campos & Dietz, 2024; Lyon & Broders, 2017; Schwessinger, 2016), tarea que en Argentina se coordina a través de la Red de Evaluación de Cultivares de Trigo (RET-INASE), marco institucional que permite comparar materiales bajo condiciones agronómicas y sanitarias estandarizadas (Ver Anexo I).

El uso de fungicidas en trigo representa la estrategia de intervención más difundida, comenzó a expandirse en Argentina a mediados de la década de 1990 con la introducción de triazoles, intensificándose a partir del año 2000 con la difusión de cultivares de alto rendimiento pero menor sanidad foliar, lo que llevó a incorporar tratamientos fungicidas de manera programada, integrando, a su vez, evaluaciones con y sin fungicida en la Red de Ensayos de Cultivares de Trigo (RET-INASE) (Abbate et al., 2021; Campos, 2024; Campos & Dietz, 2024). Los productos más utilizados pertenecen a los grupos triazoles (inhibidores de la demetilación, como tebuconazole), estrobilurinas (inhibidores de la respiración mitocondrial) y carboxamidas (SDHI), clasificados según el sistema de códigos del Fungicide Resistance Action Committee (FRAC), que identifica los fungicidas por su modo de acción y riesgo de resistencia (FRAC, 2023). La

eficacia del tratamiento depende del momento de aplicación, la presión de enfermedad y las condiciones ambientales. Aplicaciones preventivas en años de baja presión pueden resultar antieconómicas, mientras que intervenciones tardías pueden no evitar el daño ya causado (Campos, 2024; Roelfs et al., 1992). En consecuencia, ambas estrategias (resistencia genética y control químico) presentan ventajas y limitaciones cuya conveniencia depende del ambiente, el cultivar y la dinámica interanual de la enfermedad, lo que justifica su evaluación comparativa.

Fundamentos económicos del manejo sanitario

La decisión de intervenir debe sustentarse en un análisis económico racional que considere la relación entre el costo del tratamiento y el beneficio esperado en rendimiento. De acuerdo con Abbate et al. (2021), el uso de fungicidas se justifica únicamente cuando el ingreso marginal generado por su aplicación supera el costo total del tratamiento (CTA), expresado mediante la ecuación: $(RTOCF - RTO) \times P > CTA$.

donde RTOCF es el rendimiento con fungicida, RTO el rendimiento sin fungicida, P el precio del grano ($\text{U\$S tn}^{-1}$) y CTA el costo total del tratamiento fungicida. Este criterio, formulado a partir de ensayos realizados en la EEA Balcarce del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, constituye una referencia práctica para evaluar la rentabilidad del control químico frente a enfermedades foliares en trigo. Sin embargo, para que una aplicación de fungicida se considere atractiva o económicamente satisfactoria en términos empresariales, el ingreso marginal generado debe superar ampliamente el costo incurrido. Según criterios de la EEA Marcos Juárez (Alberione et al., 2017), se estima que la mejora del ingreso debería duplicar el costo de la práctica (alcanzando, por ejemplo, un umbral de 80 u\$s/ha para un costo de 40 u\$s/ha) para ser considerada una opción de manejo rentable en términos de gestión de riesgo.

En el marco económico la resistencia genética influye directamente en el análisis, debido a que los cultivares resistentes presentan menores pérdidas potenciales y menor probabilidad de alcanzar umbrales donde el fungicida sea rentable; en estos casos, el CTA representa un costo fijo que rara vez se recupera. Para el análisis a corto plazo a nivel de campaña de producción, el margen bruto constituye una herramienta ampliamente utilizada para analizar el impacto económico de decisiones de manejo, definido como la diferencia entre el ingreso bruto generado por el cultivo y los costos directos de producción (incluyendo semilla, fertilizantes, agroquímicos, labores, cosecha y comercialización) sin considerar los costos fijos de estructura (Ghida Daza et al., 2009). En evaluaciones de carácter estratégico o plurianual, se incorporan indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de repago, herramientas adecuadas para integrar los flujos de fondos en el tiempo y considerar el costo de oportunidad del capital (Sapag Chain, 2014).

Integración productiva y económica en la toma de decisiones

El manejo de la roya amarilla demanda una estrategia integral que contemple simultáneamente factores biológicos, climáticos, genéticos y económicos. Desde la perspectiva del productor, las distintas estrategias no representan únicamente alternativas técnicas, sino decisiones económicas que condicionan la rentabilidad y el nivel de riesgo del sistema. La integración de información agronómica y sanitaria con el análisis económico se convierte en una herramienta central para orientar decisiones racionales, evitando aplicaciones innecesarias o la adopción de estrategias ineficientes bajo determinadas condiciones. Sobre esta base conceptual, el presente trabajo adopta un enfoque orientado a la comparación económica de dos estrategias (control químico y resistencia genética) para cuantificar su impacto bajo distintas condiciones ambientales y aportar elementos objetivos para la toma de decisiones en sistemas productivos de trigo.

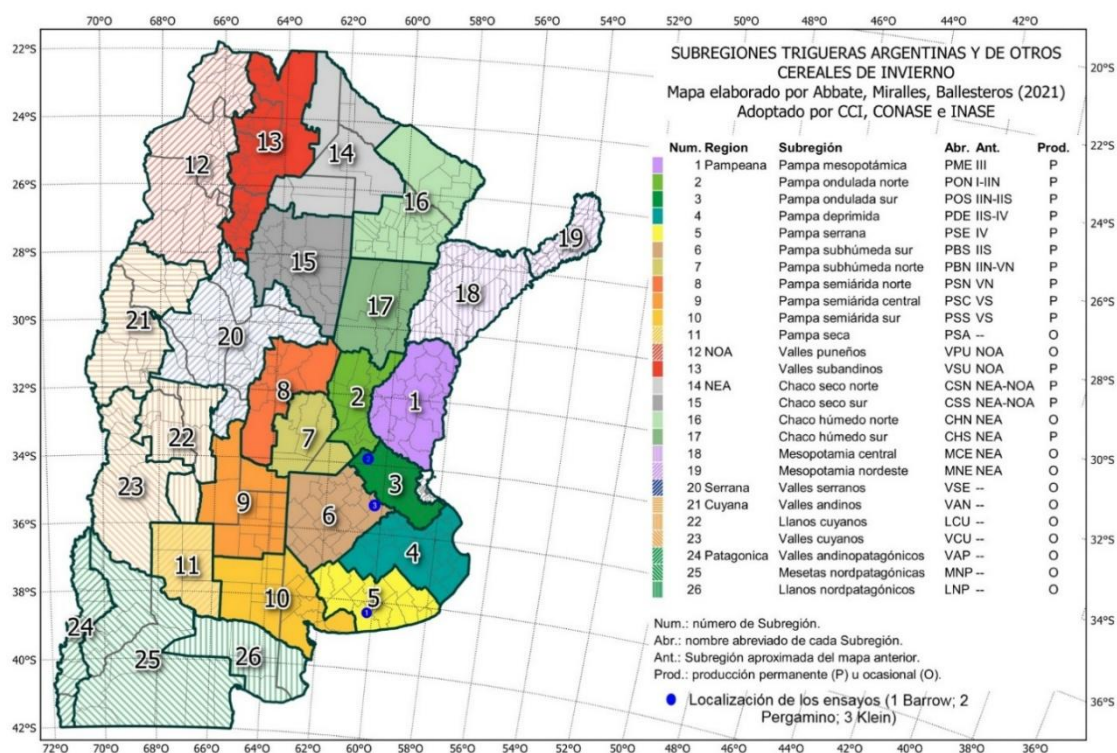
MATERIALES Y MÉTODOS

Fuentes de información, sitios experimentales y cultivares evaluados

El presente estudio se basó en el análisis de datos productivos y sanitarios obtenidos en ensayos comparativos de cultivares de trigo pertenecientes a la Red de Evaluación de Cultivares de Trigo (RET-INASE), correspondientes a la campaña agrícola 2020/2021. Los datos utilizados son de acceso público y se encuentran disponibles en su sitio web (INASE, 2021). La campaña 2020/2021 fue seleccionada debido a la elevada presión de roya amarilla registrada en distintas regiones trigueras del país, permitiendo obtener resultados representativos bajo condiciones de severidad significativa. La RET-INASE constituye el sistema oficial de referencia para la evaluación de cultivares en Argentina, aplicando protocolos homogéneos de manejo y registro de variables en múltiples ambientes (Ver Anexo I).

La información analizada provino de tres localidades representativas de distintas subregiones trigueras de la provincia de Buenos Aires: CEI Barrow (Subregión V), INTA Pergamino (Subregión III) y Criadero Klein (Subregión VI). Estas localidades presentan características agronómicas y edafoclimáticas contrastantes, lo que permitió evaluar el desempeño sanitario, productivo y económico de los cultivares bajo diferentes condiciones ambientales (Ver Anexos I, II, y III).

Figura 1: Mapa de Subregiones trigueras argentinas y de otros cultivos de invierno, adoptado en el año 2021 por el Comité de Cereales de Invierno (CCI), la Comisión Nacional de Semillas (CONASE) y el Instituto Nacional de Semillas (INASE), mostrando la ubicación de las estaciones experimentales estudiadas



Fuente: Elaboración propia en base al mapa de subregiones trigueras de Abbate, Miralles y Ballesteros (2021).

Se seleccionaron dos cultivares comerciales de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) representativos de ciclos intermedio-largos y contrastantes frente a roya amarilla: D.M. Algarrobo, perteneciente a Don Mario Semillas (Don Mario Semillas, 2021), y Buck Cumelén, perteneciente a Buck Semillas (Semillas Buck, 2021). Las principales características agronómicas y sanitarias de ambos materiales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características agronómicas y sanitarias de los cultivares evaluados

Característica	D.M. Algarrobo	Buck Cumelén
Empresa	DON MARIO SEMILLAS S.A.	BUCK SEMILLAS S.A.
Ciclo	Intermedio-largo	Intermedio-largo
Porte vegetativo	Semierecto	Semierecto

Altura	80 cm (*) / 75 cm (**)	85 cm
Macollaje	Medio	—
Desgrane	Muy bueno	Resistente
Vuelco	Muy bueno	Moderadamente resistente
Heladas en pasto	Regular	—
Requerimiento de frío	Medio	Medio
Roya del tallo	Tolerante	Moderadamente resistente
Roya de la hoja	Moderadamente susceptible	Moderadamente susceptible
Roya amarilla	Susceptible	Moderadamente resistente
Mancha amarilla (Dreschlera)	Moderadamente tolerante	Moderadamente resistente
Septoriosis	Moderadamente tolerante	Moderadamente resistente
Fusariosis	Moderadamente tolerante	Tolerante
Grupo de calidad	2	2
Proteína (%)	—	Medio

Aptitud molinera	—	Muy buena
Aptitud panadera	—	Muy buena

(*) Datos provenientes de la subregión II sur.

(**) Datos provenientes de la región IV.

Fuente: catálogos oficiales de Don Mario Semillas (Don Mario Semillas, 2021), y Buck Semillas (Semillas Buck, 2021).

Diseño del estudio y evaluación de indicadores sanitarios, productivos, económicos y financieros

El presente trabajo se desarrolló bajo un enfoque metodológico observacional y comparativo, orientado a evaluar el impacto productivo y económico de dos estrategias de manejo sanitario: la aplicación de fungicidas y la utilización de cultivares con diferente comportamiento frente a enfermedades foliares. En la Red de Evaluación de Cultivares de Trigo (RET-INASE), la genética y el comportamiento sanitario constituyen características intrínsecas de cada cultivar, mientras que el manejo sanitario (aplicación o no de fungicidas) representa la principal variable de intervención. Esta estructura experimental permitió comparar el desempeño de los cultivares manteniendo homogeneidad metodológica entre localidades y ambientes (Abbate et al., 2021). El comportamiento sanitario de los cultivares fue analizado a partir de los registros disponibles en los ensayos correspondientes a la campaña 2020/2021, realizados bajo los protocolos de evaluación establecidos por la red.

Los ensayos se desarrollaron bajo un esquema factorial cultivar × manejo sanitario, evaluado de manera independiente en cada localidad. Los tratamientos químicos consistieron en mezclas de fungicidas pertenecientes a los grupos triazoles, estrobilurinas y carboxamidas (FRAC, 2023), aplicados mayoritariamente mediante un esquema de doble aplicación debido a la elevada agresividad de la roya amarilla durante la campaña analizada. Los productos y dosis utilizados en cada sitio fueron los siguientes (Ver más detalles en el Anexo I): en Barrow se aplicó Cripton X Pro (dosis de marbete); en Pergamino, 1,2 L/ha de Orquesta Ultra + 0,5 L/ha de Nimbus; y en Plá-Klein, Miravis Triple Pack (150–200 cc/ha de MIRAVIS® + 500–600 cc/ha de ELATUS® ACE). Las observaciones sanitarias se efectuaron mediante estimaciones visuales basadas en las escalas de Peterson et al. (1948) y la escala Cobb modificada, registradas en el estado fenológico Zadoks 7.8–8.3 (Zadoks, Chang & Konzak, 1974) (Ver Anexo II). El análisis se centró principalmente en roya amarilla del trigo, enfermedad que presentó alta presión durante la campaña y constituyó el principal criterio de comparación entre cultivares susceptibles y moderadamente resistentes. Complementariamente, también se consideró la presencia de roya de la hoja y roya del tallo. La información sanitaria fue utilizada para interpretar las diferencias de rendimiento observadas entre cultivares y estrategias de manejo sanitario.

Los rendimientos de grano (kg ha^{-1}) utilizados en el análisis se obtuvieron de los registros oficiales de la RET-INASE para cada combinación de cultivar, localidad y tratamiento sanitario. Las variables climáticas (precipitación y temperatura) fueron consideradas únicamente como información contextual para la caracterización ambiental de cada sitio durante la campaña (Ver Anexo III).

El análisis económico se estructuró a partir del cálculo de márgenes brutos (U\$/ha) para cada combinación de cultivar, localidad y tratamiento sanitario. Los márgenes brutos se calcularon integrando información productiva observada y datos económicos correspondientes a la campaña analizada. Los costos directos incluidos abarcaron aquellos directamente atribuibles a la producción del cultivo, tales como semilla, fertilizantes, agroquímicos, labores, cosecha, flete y gastos de comercialización, de acuerdo con la metodología habitual empleada en análisis económicos agrícolas. El margen bruto se definió como la diferencia entre los ingresos brutos generados por la producción de grano y los costos directos asociados al proceso productivo, constituyendo un indicador adecuado para comparar alternativas de manejo en el corto plazo (Margen Bruto (U\$/ha) = Ingreso Bruto - Costos Directos) (Ghida Daza et al., 2009).

Los precios de insumos y labores se obtuvieron de la Revista Márgenes Agropecuarios actualizados a mayo de 2025, de portales comerciales de agroinsumos y de consultas con informantes calificados. Se asumió que se utiliza semilla comprada en su totalidad, a una densidad de siembra de 80 kg/ha. Para la estimación de los costos laborales se adoptó un valor de la Unidad de Trabajo Agrario (UTA) de USD 39,5 por unidad, correspondiente a mayo de 2025, según lo informado por la revista Márgenes Agropecuarios (2025). El precio de referencia del trigo se estableció en USD 205,9 por tonelada, correspondiente a la cotización de la posición julio 2025 en el mercado de futuros, registrada el 28 de mayo de 2025 (A3 Mercados, 2025). Todos los valores fueron expresados en dólares estadounidenses (U\$), utilizando el tipo de cambio oficial vigente en mayo de 2025; cuyo valor fue de \$1.216. Los valores considerados se expresan en la Tabla 2.

Tabla 2: Cuadro de costos directos fijos para la producción de trigo

Insumo / Labor	Valor
Trigo fiscalizado	0,46 u\$/tn
Urea granulada	560 u\$/tn
Azufre granulado	230 u\$/tn
Fosfato monoamónico	880 u\$/tn
Glifosato Roundup full II	6,1 u\$/lt
2,4 D etilhexílico 97%	6 u\$/lt
Finesse	330 u\$/lt

Paraquat	2,8 u\$s/lt
aceite	3 u\$s/lt
Orquesta ultra	32 u\$s/lt
Nimbus	7,4 u\$s/lt
Merit WG pack p/ 66 ha	18,64 u\$s/ha
Cripton Xpro	54,32 u\$s/lt
Miravis triple pack (Syngenta)	28 u\$s/ha
pyroxasulfone (Yamato TOP)	94 u\$s/lt
flumioxazin (Gemmit TOP)	30 u\$s/lt
Fertilizadora urea	0,35 UTA
Siembra directa grano fino con fertilización	1,25 UTA
Fumigada terrestre	0,15 UTA

Fuente: Elaboración propia en base a Revista Márgenes Agropecuarios mayo 2025 y sitios de comercialización on-line de agroinsumos

Para el análisis económico se consideraron dos modalidades de tenencia de la tierra: producción en campo propio y producción bajo arrendamiento. Los valores de arrendamiento utilizados para cada localidad fueron estimados a partir de consultas realizadas a informantes calificados del sector, tomando como referencia los cánones vigentes en mayo de 2025. Los valores considerados fueron de 250 U\$S ha⁻¹ para CEI Barrow, 238,4 U\$S ha⁻¹ para INTA Pergamino y 468 U\$S ha⁻¹ para el Criadero Klein en Plá. Asimismo, la estimación de los gastos comerciales se realizó considerando las condiciones prevalecientes en los acopios de cada zona y dos distancias de transporte representativas de los circuitos habituales de entrega de trigo: 20 km correspondientes a flete corto y 80 km a flete largo. Los costos de comercialización, fletes y cosecha, correspondientes a los costos directos variables de cada localización, se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Cuadro de costos directos variables por localidad para la producción de trigo

Costos directos variables	CEI Barrow	INTA Pergamino	Criadero Klein
Comercialización / comisión	157 u\$s/ha	8,5 u\$s/tn	3 % de los ingresos brutos
Fletes	16,2 u\$s/tn	23,9 u\$s/tn	28,8 u\$s/tn
Cosecha	70 u\$s/ha	96,5 u\$s/ha	106,9 u\$s/ha

Fuente: Elaboración propia en base a consultas con informantes calificados

Como cierre del análisis económico de corto plazo, se procedió al cálculo del rendimiento de indiferencia para cada una de las localidades evaluadas. Este indicador, definido como la productividad mínima necesaria (tn/ha) para cubrir la totalidad de los costos directos fijos y variables del proceso productivo, permite establecer el punto de equilibrio operativo de cada sistema. En el marco de este estudio, su determinación resulta fundamental para cuantificar el margen de seguridad económica de las distintas estrategias de manejo, permitiendo evaluar la resiliencia de cada cultivar frente a las mermas de rendimiento impuestas por la presión sanitaria de la roya amarilla. Cabe aclarar que, para la determinación del mismo, se adoptó un criterio de estandarización regional siguiendo la metodología de Ghida Daza et al. (2009) y los modelos de presupuestación agraria de Gonzalez y Pagliettini (2006). Bajo este esquema, se utilizó un precio neto unificado basado en un coeficiente de gastos variables del 24% sobre el precio bruto, el cual integra los valores técnicos estandarizados para la zona pampeana de 10% para la labor de cosecha y 14% para los gastos comerciales y de logística. Esta decisión metodológica permite establecer un umbral operativo común y comparable entre las tres localidades evaluadas, evitando además inconsistencias matemáticas (precios netos negativos) en escenarios de rendimientos críticos.

Es importante precisar que en el presente análisis económico no se ha contemplado el efecto de pisoteo por maquinaria sobre los rendimientos observados. Esta decisión se fundamenta en que, debido a la reducida dimensión de las parcelas experimentales de la RET-INASE, no se produce el daño mecánico característico de una labor de pulverización a escala comercial. Asimismo, se asume que el cálculo de dicho porcentaje a nivel de producción extensiva resulta altamente variable, debido a que el impacto real sobre el margen neto depende directamente del tipo y configuración del equipo (específicamente el ancho del botalón y de los neumáticos), de las características edafoclimáticas del sitio y del potencial de rendimiento del cultivo al momento de la intervención. Por lo tanto, los resultados aquí expuestos reflejan el potencial biológico y económico de las estrategias de protección, debiendo el productor ajustar estos valores en función de su estructura operativa particular. Este enfoque de análisis se alinea con trabajos regionales como los de Alberione et al. (2017), quienes evalúan la eficiencia económica del control químico en trigo basándose en la respuesta técnica de ensayos en micro-parcelas, sin contemplar las variaciones operativas de la maquinaria comercial como el efecto de pisoteo.

El análisis financiero se realizó exclusivamente para el cultivar Buck Cumelén, seleccionado por presentar el mejor comportamiento productivo y sanitario en los distintos ambientes. A partir de los márgenes brutos obtenidos, se construyeron flujos de fondos proyectados a cinco años bajo tres escenarios diferentes por localidad:

1. Con fungicida y condiciones productivas constantes.
2. Sin fungicida y condiciones productivas constantes.
3. Sin fungicida y condiciones productivas con variabilidad interanual.

El flujo de fondos se estructuró iniciando en el Año 0, entendido como el período de inversión inicial del sistema productivo. En dicho período no se registran ingresos debido a que no existe aún producción comercializable; sin embargo, se incluyen todos los egresos asociados al establecimiento del cultivo (costos directos fijos y variables). A partir del Año 1 comienzan a ingresar los retornos económicos derivados de la venta del trigo, reflejando el ciclo productivo anual típico del cultivo. Esta estructura permite evaluar correctamente la recuperación progresiva de la inversión inicial. Sobre estos flujos se calcularon los indicadores financieros recomendados por Sapag Chain (2014): Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Período de Repago (Payback), utilizando una tasa de descuento del 15 % anual, acorde a estándares de evaluación económica en sistemas agropecuarios. Estos indicadores se calcularon mediante las siguientes fórmulas:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Flujo_t}{(1+i)^t} - Inversión$$

$$TIR : \sum_{t=1}^n \frac{Flujo_t}{(1+r)^t} = Inversión$$

Donde i es la tasa de descuento (15 % anual), r es la tasa interna de retorno buscada, $Flujo_t$ representa el flujo neto de caja en cada período, e $Inversión$ corresponde al desembolso inicial del proyecto. El período de repago (Payback) se definió como el número de años necesarios para recuperar la inversión inicial a partir de los retornos obtenidos por el proyecto.

El análisis se complementó con criterios de sostenibilidad económica y ambiental en consonancia con los lineamientos de la FAO (2023), considerando no sólo la rentabilidad inmediata, sino también la estabilidad productiva, los costos operativos asociados a cada estrategia de manejo y su contribución al uso eficiente de insumos. Este enfoque permitió integrar la dimensión técnica y sanitaria del manejo de la roya amarilla con una evaluación financiera robusta y orientada a la toma de decisiones del productor. En conjunto, esta metodología posibilitó cuantificar de manera objetiva los beneficios productivos y económicos de ambas estrategias (control químico y resistencia genética) bajo distintos escenarios agronómicos y económicos, ofreciendo un marco integral para evaluar la viabilidad y sustentabilidad de cada alternativa.

Organización y procesamiento de la base de datos

Los datos fueron procesados mediante planillas electrónicas (Microsoft Excel) para el cálculo de indicadores productivos y económicos. Los resultados se presentaron en tablas y gráficos

comparativos de rendimiento, costos, márgenes brutos y de los principales indicadores financieros (VAN y TIR), diferenciados por localidad, cultivar y tratamiento sanitario. Dentro de esta metodología de visualización, se integró el análisis de los márgenes brutos y de los indicadores financieros mediante herramientas de síntesis gráfica, las cuales se utilizaron como soporte fundamental para facilitar la comparación directa entre las estrategias evaluadas en los distintos ambientes. Este procesamiento permitió cuantificar de manera objetiva los beneficios de ambas estrategias (control químico y resistencia genética) bajo distintos escenarios, ofreciendo un marco integral para evaluar la viabilidad y sustentabilidad de cada alternativa analizada. A modo de síntesis de los componentes del diseño experimental y las variables descriptas en los apartados precedentes, se presenta la Tabla 4.

Tabla 4: Síntesis de la metodología de evaluación técnica, económica y financiera.

Categoría	Descripción y Detalles
Sitios Experimentales	Barrow (Subregión V), Pergamino (Subregión III) y Plá-Klein (Subregión VI).
Materiales evaluados	D.M. Algarrobo (Susceptible) y Buck Cumelén (Resistente).
Manejo Sanitario	Estrategia A: Control químico mediante aplicación de fungicida (Triazoles, Estrobilurinas y Carboxamidas). Estrategia B: Resistencia genética (Sin aplicación de fungicida).
Escenarios Financieros	Escenario 1: Con fungicida (proyección constante). Escenario 2: Sin fungicida (proyección constante). Escenario 3: Sin fungicida (variabilidad de costos y precios).
Variables analizadas y procesadas	Severidad de roya amarilla, rendimiento (kg/ha), margen bruto, e indicadores financieros (VAN, TIR y Payback).

RESULTADOS

Análisis del desempeño productivo en relación con la presión sanitaria

La campaña agrícola 2020/2021 se caracterizó por presentar una alta presión de roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en diversas regiones trigueras del país, configurando un escenario epidemiológico relevante para evaluar las estrategias de manejo. El desarrollo del patógeno se vio favorecido por las condiciones ambientales registradas en las localidades de estudio, donde las temperaturas moderadas y los períodos prolongados de humedad foliar permitieron que la enfermedad se manifestara con una severidad significativa, afectando el área foliar fotosintéticamente activa de los materiales. Al respecto, los registros específicos de precipitaciones y temperaturas para cada sitio se presentan de forma descriptiva en el Anexo IV para contextualizar el ambiente bajo el cual se desarrollaron los ensayos.

Los rendimientos de grano (kg/ha) obtenidos para cada cultivar, localidad y tratamiento sanitario constituyen la base productiva del presente. Estos datos, provenientes de la Red de Evaluación de Cultivares de Trigo (RET-INASE), reflejan la productividad observada bajo condiciones de manejo agronómico protocolizado y homogéneo entre los distintos sitios evaluados durante dicho ciclo y se encuentran detallados a continuación, presentando los promedios de las 2-4 repeticiones por cada manejo (Tabla 5).

Tabla 5. Rendimientos promedio (kg ha⁻¹) con y sin aplicación de fungicida para los cultivares evaluados en las localidades de Barrow, Pergamino y Plá-Klein.

Localidad	Cultivar	Rendimiento promedio con fungicida (kg ha ⁻¹)	Rendimiento promedio sin fungicida (kg ha ⁻¹)
Barrow	D.M. Algarrobo	3.631	992
	Buck Cumelén	5.661	5.789
	D.M. Algarrobo	5.032	4.463

Pergamino	Buck Cumelén	5.289	5.364
Plá-Klein	D.M. Algarrobo	6.307	3.800
	Buck Cumelén	6.560	6.440

Fuente: Elaboración propia en base a datos de RET INASE 2020/21.

Al analizar los resultados obtenidos en las tres localidades evaluadas, se establecen diferencias claras en el desempeño productivo y sanitario entre los cultivares y las estrategias adoptadas. En términos generales, la utilización del cultivar con mejor comportamiento sanitario, Buck Cumelén, se asoció a rendimientos más estables en comparación con el cultivar susceptible, D.M. Algarrobo, especialmente bajo condiciones de alta presión de enfermedad. En la localidad de Barrow, caracterizada por una elevada presión de roya amarilla (100% de severidad en el testigo susceptible), el rendimiento de D.M. Algarrobo cayó de 3.631 kg/ha (con fungicida) a solo 992 kg/ha sin tratamiento; esta brecha evidencia que la vulnerabilidad genética no puede ser compensada completamente mediante el control químico, tal como lo señalan Roelfs, Singh y Saari (1992). Por el contrario, Buck Cumelén mantuvo rendimientos superiores a los 5.600 kg/ha en ambos esquemas, demostrando que la resistencia genética actúa como la primera línea de defensa efectiva ante epidemias severas.

En Pergamino, donde la presión de enfermedad fue menor (70-80% de severidad en el susceptible), las diferencias de rendimiento fueron reducidas y la respuesta a la aplicación de fungicidas fue marginal, lo que sugiere que en regiones con condiciones ambientales menos favorables para la infección, el incremento de rendimiento no siempre compensa la intervención técnica. Finalmente, en Plá-Klein, si bien se registraron los rendimientos más altos (superando los 6.300 kg/ha con fungicida), el cultivar susceptible mostró una caída brusca de rendimiento (3.800 kg/ha) ante la falta de protección química, mientras que el cultivar resistente mantuvo su estabilidad productiva.

Evaluación del desempeño económico: Márgenes Brutos

El análisis de la rentabilidad estacional ratificó la brecha económica entre las estrategias evaluadas, evidenciando que el comportamiento biológico de los cultivares tuvo una traducción directa en la utilidad líquida del productor. En este sentido, los resultados demuestran que el

rendimiento biológico no siempre se correlaciona positivamente con el beneficio económico neto, especialmente cuando se incurre en costos de protección química innecesarios para materiales con buen perfil sanitario. Al analizar los resultados económicos resumidos en la Tabla 6, se observa que Buck Cumelén obtuvo mayores márgenes que D.M. Algarrobo en todos los ambientes, destacándose su rentabilidad especialmente en escenarios sin aplicación de fungicida.

Tabla 6: Resumen de márgenes brutos (U\$/ha) por estación, cultivar y manejo

Estación	Cultivar	Manejo	Margen bruto (U\$/ha)	Margen con arrendamiento (U\$/ha)
Barrow	D.M. Algarrobo	Con fungicida	-109.21	-359.21
		Sin fungicida	-489.34	-739.34
	Buck Cumelén	Con fungicida	275.88	25.88
		Sin fungicida	420.65	170.65
Pergamino	D.M. Algarrobo	Con fungicida	231.69	-6.71
		Sin fungicida	229.02	-9.38
	Buck Cumelén	Con fungicida	276.28	37.88
		Sin fungicida	385.34	146.94
Plá-Klein	D.M. Algarrobo	Con fungicida	654.42	186.42
		Sin fungicida	293,77	-174,23
	Buck Cumelén	Con fungicida	697.67	229.67
		Sin fungicida	745.01	277.01

Fuente: elaboración propia en base a Márgenes brutos calculados.

Al analizar los datos de la Tabla 6, se destaca que, en Barrow, la diferencia entre tratamientos fue crítica para el cultivar susceptible, evidenciando márgenes brutos con arrendamiento significativamente negativos (-739,34 U\$/ha) en el testigo sin tratar. En contraste, Buck

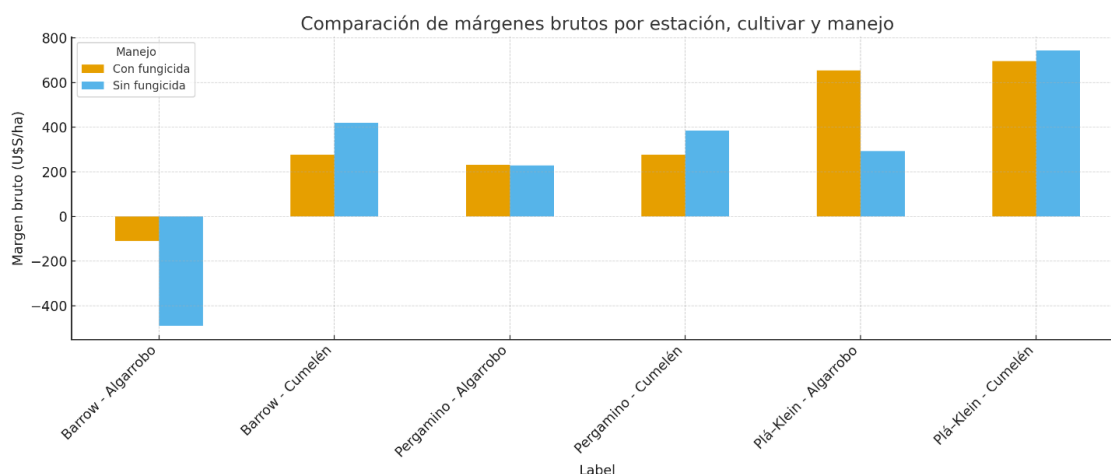
Cumelén alcanzó márgenes positivos (170,65 U\$S/ha con arrendamiento) aun sin la aplicación de fungicidas. Esta diferencia se explica porque en cultivares resistentes, el costo del tratamiento químico (CTA) que incluyó productos como Cipton X Pro o Miravis Triple Pack no genera un ingreso marginal suficiente que supere el costo de los insumos y labores, contraviniendo el criterio de decisión económica propuesto por Abbate et al. (2021).

En la localidad de Pergamino, ambos materiales arrojaron márgenes aceptables debido a la menor presión sanitaria, aunque la ligera ventaja económica de Cumelén persistió. Finalmente, en Plá-Klein, la alta productividad del ambiente permitió que Algarrobo mostrara un alto margen con fungicida, pero una caída drástica sin su aplicación; mientras que Cumelén mantuvo márgenes equilibrados y superiores en ambos manejos (229,67 y 277,01 U\$S/ha con arrendamiento). Estos resultados refuerzan la idea de que la resistencia genética evita costos innecesarios de manejo y maximiza el beneficio económico neto.

La estructura de costos pormenorizada, incluyendo el desglose de labores, precios de insumos y gastos comerciales que sustentan el cálculo de estos márgenes para cada localidad y manejo, se presenta para su consulta técnica en el Anexo IV. Como complemento al análisis numérico, la Figura 2 sintetiza la información volcada en la Tabla 6 y permite visualizar la brecha de rentabilidad entre los materiales evaluados en cada ambiente. Es importante aclarar que esta representación visual se ha realizado en base a los valores de márgenes brutos sin arrendamiento, con el fin de comparar el potencial productivo neto y la eficiencia técnica de cada combinación de cultivar y manejo sanitario.

Los resultados evidenciaron diferencias marcadas en la estabilidad productiva y económica entre los cultivares evaluados frente a escenarios de mayor presión sanitaria. D.M. Algarrobo presentó una fuerte disminución de los márgenes brutos en ausencia de aplicación de fungicida, alcanzando incluso valores negativos en las localidades de Barrow y Pergamino, lo que refleja una elevada vulnerabilidad frente al estrés sanitario. En contraste, Buck Cumelén mantuvo márgenes brutos más estables y superiores en todas las localidades analizadas, tanto con como sin aplicación de fungicida. Estos resultados confirman el aporte de la resistencia genética a la estabilidad económica del cultivo, actuando como un mecanismo de reducción de riesgo y de resguardo de la renta del productor en ambientes con alta presión de enfermedades.

Figura 2. Márgenes brutos sin arrendamiento por estación, cultivar y manejo.



Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos

Como cierre del análisis económico de corto plazo, se determinó el rendimiento de indiferencia para cada localidad evaluada. Los valores fueron calculados utilizando un precio neto estandarizado. Siguiendo los criterios de Gonzalez y Pagliettini (2006) para modelos de planificación regional, se aplicó un coeficiente unificado del 24% de gastos variables (cosecha y comercialización) sobre el precio bruto. Este procedimiento asegura la consistencia del análisis financiero frente a los distintos potenciales productivos de las localidades evaluadas, independientemente de los costos específicos de cada parcela experimental. Estos valores detallados en la Tabla 7 para cada sitio experimental, establecen el punto de equilibrio operativo de los sistemas evaluados. Dicho análisis evidenció diferencias significativas entre localidades en relación con la capacidad de los sistemas para absorber variaciones productivas y sanitarias. En CEI Barrow, el rendimiento de indiferencia fue de $3,65 \text{ t ha}^{-1}$, valor ampliamente superior al alcanzado por el cultivar susceptible sin aplicación de fungicida ($0,992 \text{ t ha}^{-1}$), lo que explica las pérdidas económicas registradas bajo dicho escenario. En contraste, Buck Cumelén superó ese umbral tanto con como sin aplicación de fungicida, manteniendo resultados económicamente viables aún bajo elevada presión de enfermedades. En INTA Pergamino, el umbral de indiferencia se ubicó en $3,48 \text{ t ha}^{-1}$ y, aunque ambos cultivares lograron superarlo, la menor diferencia entre el rendimiento obtenido y el punto de equilibrio explica los márgenes brutos reducidos, e incluso negativos bajo arrendamiento, observados en el material susceptible. Esto indica una mayor sensibilidad económica del sistema frente a cambios en el rendimiento y en la estructura de costos en la Subregión III. Por su parte, Plá-Klein presentó el menor rendimiento de indiferencia del estudio ($2,02 \text{ t ha}^{-1}$), asociado a un ambiente de alto potencial productivo donde los rendimientos superaron las 6 t ha^{-1} en los materiales protegidos o resistentes. Esta combinación de bajo umbral de equilibrio y elevada productividad generó el mayor margen de

seguridad económica y sustentó los mejores indicadores financieros obtenidos en el estudio, reflejados en los valores más altos de VAN y TIR.

Tabla 7. Parámetros económicos y rendimiento de indiferencia para las localidades evaluadas.

Variable	CEI Barrow	INTA Pergamino	Criadero Klein
Precio bruto del trigo (U\$S t ⁻¹)	205,9	205,9	205,9
Precio neto (U\$S t ⁻¹)	156,48	156,48	156,48
Costos directos fijos (U\$S ha ⁻¹)	571,01	544,86	316,69
Rendimiento de indiferencia (t ha ⁻¹)	3,65	3,48	2,02

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación de la seguridad económica de corto plazo fue complementada mediante un análisis de la robustez financiera del sistema en el mediano plazo, a partir de la elaboración de flujos de fondos proyectados. Para ello, se muestran en la subsección siguiente los principales indicadores de evaluación financiera, incluyendo el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Repago (Payback), considerando distintos escenarios de manejo sanitario y variabilidad productiva. Este enfoque permitió comparar la capacidad de cada sistema para generar rentabilidad, recuperar el capital invertido y mantener estabilidad económica frente a cambios en los costos, el rendimiento y las condiciones ambientales entre localidades.

Viabilidad financiera y robustez de la estrategia de resistencia genética (VAN y TIR)

El análisis de factibilidad económica de la inversión a mediano plazo parte de un Año 0 que refleja el desembolso inicial en implantación y protección, recuperándose progresivamente a partir del Año 1 con los ingresos por venta de grano. Como se detalla en la Tabla 8, los indicadores de rentabilidad de largo plazo confirman la viabilidad estratégica del material resistente, presentando en la mayoría de los casos Valores Actuales Netos (VAN) positivos y Tasas Internas de Retorno (TIR) superiores a la tasa de descuento del 15% anual:

Tabla 8. Indicadores financieros del flujo de fondos por estación y escenario

Estación	Escenario	VAN (U\$S/ha)	TIR	Payback (años)
Barrow	Escenario 1	35,07	0,17	3,23

Estación	Escenario	VAN (U\$S/ha)	TIR	Payback (años)
	Escenario 2	638,82	0,46	1,83
	Escenario 3	423,22	0,39	1,76
Pergamino	Escenario 1	113,45	0,21	2,94
	Escenario 2	572,65	0,45	1,87
	Escenario 3	372,19	0,38	1,79
Plá–Klein	Escenario 1	1685,62	1,04	0,94
	Escenario 2	1916,40	1,26	0,78
	Escenario 3	1719,77	1,25	0,78

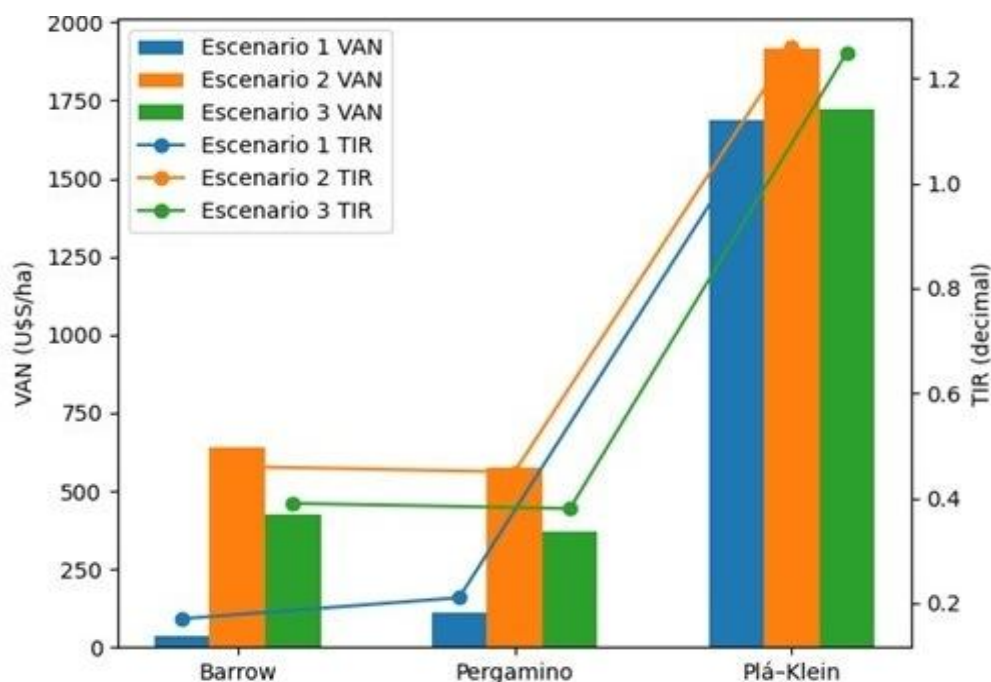
Fuente: Elaboración propia en base a Flujos de fondos e Indicadores financieros calculados (Ver detalle en Anexo VI)

Al analizar los resultados, los indicadores mostraron diferencias marcadas según el sitio experimental. La localidad de Plá–Klein se destacó como el sitio de mayor rentabilidad, con valores de TIR excepcionalmente altos (entre 1,04 y 1,26) y períodos de repago (Payback) extremadamente cortos de 0,78 años, lo que implica que la inversión se recupera íntegramente en el primer ciclo productivo. Por su parte, Barrow y Pergamino presentaron una rentabilidad moderada pero sólida, con períodos de repago de entre 1,7 y 3,2 años. Un hallazgo consistente en los tres sitios evaluados al contrastar el Escenario 1 frente al Escenario 2 es que la aplicación de fungicida no maximiza el VAN en ninguno de los ambientes para el cultivar resistente. Esto demuestra que la resistencia genética y el perfil sanitario de Buck Cumelén reducen la necesidad de aplicaciones preventivas, otorgando una mayor robustez económica ante fluctuaciones externas. En términos de sostenibilidad, esta menor dependencia de insumos químicos no solo mejora la rentabilidad inmediata al evitar costos que el sistema no devuelve en rinde marginal, sino que contribuye a un sistema productivo ambientalmente responsable, alineado con los lineamientos de la FAO (2023). Los flujos de fondos pormenorizados año por año que sustentan estos indicadores se presentan para su consulta en el Anexo V. Como síntesis de estos indicadores, la Figura 3 representa los valores de VAN y TIR detallados en la Tabla 8, permitiendo una lectura rápida de la viabilidad financiera del cultivar Buck Cumelén.

El análisis financiero evidenció marcadas diferencias regionales en el desempeño económico de los sistemas evaluados. La localidad de Plá–Klein presentó los indicadores financieros más elevados del estudio, con valores que duplicaron e incluso triplicaron a los registrados en las restantes estaciones experimentales, reflejando un contexto de mayor productividad y eficiencia económica. Asimismo, la comparación entre escenarios mostró de manera consistente que los esquemas sin aplicación de fungicida (Escenarios 2 y 3) alcanzaron mejores resultados financieros que el escenario con aplicación de fungicida (Escenario 1) en todas las localidades analizadas. Estos resultados indican que la utilización sistemática de fungicidas en cultivares con

resistencia genética reduce la eficiencia del capital invertido y limita la maximización del valor económico generado por el sistema productivo.

Figura 3. Indicadores financieros por estación y escenario.



Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos de la Tabla 10

Análisis comparativo entre sitios

Los indicadores financieros evaluados, Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Período de Repago (Payback), evidenciaron diferencias marcadas entre las localidades analizadas, reflejando la interacción entre el rendimiento alcanzado, los costos directos y las condiciones agroambientales particulares de cada sitio. En CEI Barrow se registró una rentabilidad moderada, con valores de VAN comprendidos entre 35,07 y 638,82 U\$S ha⁻¹ y períodos de repago de hasta 3,23 años, indicando recuperaciones relativamente lentas del capital invertido. Asimismo, el escenario con aplicación de fungicida presentó el menor desempeño financiero, sugiriendo una capacidad limitada para cubrir los costos descontados a una tasa del 15 %. En INTA Pergamino, los indicadores mostraron una situación intermedia, con valores de VAN entre 113,45 y 572,65 U\$S ha⁻¹ y TIR entre 0,21 y 0,45, manteniendo resultados económicamente aceptables, aunque con una mayor sensibilidad a variaciones en la estructura de costos respecto de Plá-Klein. Por su parte, Plá-Klein se destacó como la localidad de mayor rentabilidad del estudio, presentando los valores más elevados de VAN y TIR, junto con los

períodos de repago más reducidos. Los valores de TIR oscilaron entre 1,04 y 1,26, duplicando o triplicando los obtenidos en las restantes localidades, mientras que el Payback se ubicó entre 0,78 y 0,94 años. Estos resultados evidencian una elevada productividad y estabilidad económica del sistema en dicha localidad frente a los distintos escenarios evaluados.

Análisis comparativo entre escenarios dentro de cada sitio

El análisis de los escenarios proyectados evidenció patrones consistentes entre localidades en relación con el efecto de la aplicación de fungicida sobre los indicadores financieros. En los tres ambientes evaluados, el Escenario 2 (sin aplicación de fungicida) presentó sistemáticamente los mayores valores de VAN respecto al Escenario 1 (con aplicación), indicando que el incremento de rendimiento asociado al uso del fungicida no compensó plenamente el costo adicional de la práctica. Estos resultados sugieren que, en cultivares con resistencia genética como Buck Cumelén, el perfil sanitario del material reduce la necesidad de aplicaciones preventivas y mejora la eficiencia económica del sistema productivo.

Al comparar el Escenario 2 con el Escenario 3 (condición variable), se observaron diferencias asociadas a la estabilidad económica de cada ambiente. En CEI Barrow y en INTA Pergamino, el Escenario 3 mostró una reducción del VAN respecto al Escenario 2, evidenciando una mayor sensibilidad frente a fluctuaciones climáticas, variaciones de precios y cambios en la estructura de costos. En contraste, Plá-Klein mantuvo valores de VAN similares entre ambos escenarios, reflejando una mayor robustez económica frente a condiciones externas variables.

En términos generales, los mayores valores de VAN y TIR se registraron en Plá-Klein, con retornos superiores al 100 % y períodos de repago inferiores a un año, mientras que Barrow y Pergamino presentaron los indicadores más bajos, asociados a menores niveles de rendimiento. Sin embargo, en todas las localidades los valores positivos de VAN y las TIR superiores a la tasa de corte indicaron la viabilidad económica de los sistemas evaluados. Asimismo, los períodos de repago relativamente cortos reforzaron la sustentabilidad económica de los planteos analizados. En conjunto, los resultados demostraron que la aplicación de fungicida en Buck Cumelén no mejoró los indicadores financieros en ninguno de los ambientes estudiados, por lo que su utilización no resultaría económicamente justificada bajo las condiciones evaluadas.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en Barrow, Pergamino y Plá–Klein permiten validar que la resistencia genética no es solo una barrera biológica, sino el pilar de la eficiencia financiera (reflejada en una TIR del 126% y un periodo de repago de solo 0,78 años en Plá-Klein, Tabla 8) y la sostenibilidad en el actual escenario epidemiológico de la roya amarilla en Argentina. La expansión de *Puccinia striiformis* hacia el norte de la región pampeana, desplazándose de su zona endémica tradicional en el sudeste bonaerense, responde al surgimiento de nuevas razas virulentas y más agresivas ante temperaturas más elevadas. Carmona & Sautua (2018) destacan que linajes como el PstS13 y el grupo 'tipo Warrior' han quebrado la resistencia de numerosos cultivares, elevando las pérdidas potenciales a niveles internacionales por encima del 50%. En este estudio, la localidad de Barrow actuó como un ambiente crítico donde el material susceptible (D.M. Algarrobo) sufrió pérdidas extremas (72% de merma, Tabla 5), validando los reportes de caídas de rendimiento masivas ante una alta carga de inóculo (Carmona & Sautua, 2018).

Un resultado relevante de esta tesis es que los incrementos de rendimiento biológico (Kg/ha) no siempre se traducen en beneficios netos para el productor (Ver Tabla 6). Este fenómeno se observa nítidamente en el caso de Buck Cumelén en Barrow, donde el cultivar mantuvo un rendimiento estable sin necesidad de químicos, pero la aplicación de fungicida redujo el margen neto de 170,65 US/ha a tan solo 25,88 US/ha (Tabla 6). Estos resultados concuerdan con antecedentes nacionales que señalan la importancia de integrar criterios económicos en las decisiones de manejo sanitario, evitando aplicaciones preventivas que no resultan rentables en función del ambiente, el cultivar y el contexto de precios (Campos & Dietz, 2024; Abbate et al., 2021). A nivel internacional, esta discrepancia es respaldada por investigaciones que documentan que la rentabilidad del control químico es a menudo errática y dependiente de la relación de precios y el costo del tratamiento más que de la respuesta técnica, especialmente cuando se utilizan materiales con buen comportamiento sanitario (Wegulo et al., 2011).

Esta ineficiencia se verificó en este trabajo para el modelo resistente, donde el costo total del tratamiento (CTA) actuó como una inversión innecesaria. A nivel regional, esta tendencia se alinea con los relevamientos de la Red Oficial (RET) en Marcos Juárez, donde Alberione et al. (2017) demostraron que en cultivares con alta protección genética, la aplicación de fungicida generó ingresos marginales negativos de hasta -130 U\$/ha, comportándose el gasto en insumos como una detracción directa de la utilidad.

Para complementar la información técnica y orientar estrategias de manejo más eficientes, el análisis económico debe trascender el margen bruto estacional. En este sentido, la utilización de indicadores financieros permite validar la robustez de las decisiones de inversión en el mediano plazo (Sapag Chain, 2014). En la presente investigación, el empleo del VAN y la TIR permitió verificar que la genética resistente constituye un "piso de rendimiento" que maximiza el valor

generado y reduce drásticamente el periodo de recuperación del capital (Payback) (Ver Tabla 8 y Figura 3), manteniendo la viabilidad incluso ante fluctuaciones de costos (Escenario 3).

La estabilidad financiera observada para Buck Cumelén en los tres sitios valida la eficacia de los genes de resistencia. Al respecto, investigaciones internacionales demuestran que en líneas de trigo con genes de Resistencia en Planta Adulta (APR), las diferencias de rendimiento entre parcelas tratadas y no tratadas no suelen ser estadísticamente significativas, permitiendo prescindir del control químico sin comprometer la productividad biológica (Chen et al., 2024). Los resultados obtenidos en este trabajo confirman la superioridad de los escenarios sin fungicida (Escenario 2) en términos de VAN y TIR para el modelo resistente, lo cual ratifica que la sanidad desde la semilla es la herramienta más segura para proteger la viabilidad financiera del sistema triguero (Tabla 8). Esta afirmación se sustenta en que el Escenario 2 superó financieramente al uso sistemático de químicos (Escenario 1) en todas las localidades, alcanzando tasas de retorno de hasta el 126% en Plá–Klein, 46% en Barrow y 45% en Pergamino.

En términos de sostenibilidad, la menor dependencia de fungicidas observada en los esquemas más rentables contribuye a reducir costos de producción y a disminuir la carga de insumos químicos en el sistema, alineándose con los principios de una agricultura económicamente eficiente y ambientalmente responsable de la FAO (2023). Esta eficiencia se manifiesta en la robustez de los escenarios basados en la genética, los cuales no solo optimizaron la renta líquida alcanzando márgenes bajo arrendamiento de hasta 277,01 U\$S/ha (Ver Tabla 6), sino que garantizaron la recuperación del capital en tiempos extremadamente cortos, registrándose un período de repago (Payback) de solo 0,78 años en la localidad de Plá–Klein (Tabla 8 y Figura 3). Esta estrategia disminuye los riesgos de generación de resistencia del patógeno a las moléculas actuales (triazoles, estrobilurinas y carboxamidas). Al respecto, gestionar programas de Manejo Integrado de Enfermedades (MIE) es la vía más recomendable para preservar la vida útil de los fungicidas y favorecer la estabilidad y competitividad de los sistemas trigueros de la región pampeana a largo plazo.

CONCLUSIÓN FINAL

El análisis integrado de la información sanitaria disponible, los rendimientos observados y los indicadores económicos realizados en esta tesis permite concluir que, bajo las condiciones productivas y sanitarias evaluadas, el cultivar Buck Cumelén constituye la alternativa más eficiente y rentable para los sistemas trigueros de Barrow, Pergamino y Plá-Klein. Su comportamiento sanitario estable, caracterizado por mantenerse dentro de los umbrales sanitarios de resistencia frente a las principales royas, permitió sostener el rendimiento sin dependencia de fungicidas, incluso en ambientes con alta presión de enfermedad. En contraste, DM Algarrobo evidenció una dependencia marcada del control químico, sufriendo pérdidas sustanciales de productividad en ausencia de tratamientos.

Desde el punto de vista productivo, Buck Cumelén mostró una mayor estabilidad entre localidades y esquemas de manejo, manteniéndose dentro de los parámetros de rendimiento esperados para cada ambiente. Por el contrario, DM Algarrobo evidenció una dependencia marcada de los tratamientos fungicidas y una pérdida sustancial de productividad bajo presión sanitaria elevada.

En términos económicos, los indicadores financieros calculados para Buck Cumelén (VAN, TIR y período de repago) confirmaron la viabilidad del sistema en los tres ambientes analizados, destacándose especialmente los escenarios sin aplicación de fungicidas, donde se obtuvieron los mayores retornos y los menores tiempos de recuperación del capital invertido. Estos resultados indican que, en cultivares con adecuado comportamiento sanitario, la aplicación sistemática de fungicidas no necesariamente se traduce en una mejora de la rentabilidad. En este sentido, el trabajo aporta evidencia económica concreta que respalda la conveniencia de priorizar la resistencia genética como estrategia central de control de la roya amarilla, complementada por decisiones de manejo sanitario ajustadas a las condiciones ambientales y al riesgo productivo, permitiendo armonizar la rentabilidad económica con la sostenibilidad ambiental al reducir la carga química en el sistema. Los resultados obtenidos constituyen un soporte técnico-científico sólido para la toma de decisiones de productores y asesores, además de representar una base clave para la selección de progenitores en programas de mejoramiento genético. Finalmente, este trabajo sienta las bases para futuros estudios que profundicen este enfoque incorporando nuevos escenarios de variabilidad productiva y económica.

REFERENCIAS

- A3 Mercados. (2025, mayo). *Datos de mercado: Trigo posición julio 2025*. Recuperado el 28 de mayo de 2025, de <https://a3mercados.com.ar/mercado/datos-de-mercado/>
- Abbate, P. E., Di Pane, F., Villafañe, M., Gieco, L. C., & Lanzillotta, J. J. (2021). *Respuesta a la aplicación de fungicida en los cultivos de trigo más rendidores, en las principales subregiones trigueras argentinas*. INTA EEA Balcarce. Publicación digital, 17 de junio de 2021.
- Abbate, P. E., Miralles, D. J., & Ballesteros, A. H. (2021). *Mapa de subregiones trigueras argentinas y de otros cereales de invierno* (Documento técnico). Gobierno de la República Argentina.
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/subregiones_trigueras_2021-06-18_final.pdf
- Alberione, E., Bainotti, C., Donaire, G., Ghida Daza, C., Frascina, J., Salines, N., Salines, J., Gómez, D., & Conde, B. (2017). *Resultados productivos y económicos del manejo de enfermedades en cultivos de trigo. Año 2016*. En: Trigo 2017: Informe de Actualización Técnico en línea N° 7 (pp. 47-54). INTA EEA Marcos Juárez.
<https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/1513>.
- Alberione, E. J., Campos, P. E., Couretot, L. A., & Schutt, L. S. (2020). *Comportamiento sanitario de variedades de trigo campaña 2019–2020*. EEA INTA Marcos Juárez.
- Buck Semillas S.A. (2021). *Catálogo 2021*. Criadero de Semillas, La Dulce (Bs. As.). Obtenido de <https://semillasbuck.com.ar/productos/trigo/>
- Campos, P. E. (2024, agosto). *Hacia un trigo libre de royas*. Revista Aapresid, (232), 74–79.
https://issuu.com/aapresid/docs/revista_aapresid_232/74
- Campos, P. E., & Dietz, J. I. (2024). *Actualización racial de las royas de trigo en Argentina y perfil sanitario de cultivos 2024*. EEA INTA Bordenave.
- Carmona, M., & Sautua, F. (2018). *Epidemias de roya amarilla del trigo: nuevas razas en el mundo, monitoreo y decisión de uso de fungicidas*. Agronomía & Ambiente, 38(1), 37-58.
<http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/agronomiayambiente/2017carmonamarcelo.pdf>.
- Chen, H., Zhang, L., Ding, C., Luo, Y., Jia, G., Feng, J., Wang, S., Wu, J., Huang, L., Kang, Z., & Zhou, X. (2024). *Comparisons of stripe rust response, grain yield and quality between fungicide sprayed and non-sprayed treatments for newly developed wheat lines carrying different genes for adult-plant resistance to stripe rust*. Crop Protection, 184, 106713.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106713>.

- Don Mario Semillas S.A. (2021). *Catálogo 2021: más opciones para crecer*. Chacabuco (Bs. As.). Obtenido de <https://www.donmario.com/argentina/biblioteca-tecnica/>
- FAO. (2023). *Sustainable food and agriculture: Integrated approaches to sustainability*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fungicide Resistance Action Committee. (2023). *FRAC Code List: Fungicides sorted by mode of action (including FRAC Code numbering)*. <https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2023-final.pdf>
- Ghida Daza, C. A. F., Alvarado, P. A., Castignani, H. A., Caviglia, J. A., & Engler, P. L. (2009). *Indicadores económicos para la gestión de empresas agropecuarias bases metodológicas*. Marcos Juárez INTA. EEA Marcos Juárez. <http://ceiba.agro.uba.ar/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=21340>.
- González, M. d. C., & Pagliettini, L. L. (2006). *Los costos agrarios y sus aplicaciones*. Buenos Aires. Editorial Facultad de Agronomía UBA. 78 p.
- Instituto Nacional de Semillas (INASE). (2021). *Red de Ensayos Comparativos de Variedades de Trigo*. Presidencia de la Nación. [Red de Ensayos Comparativos de Variedades de Trigo | Argentina.gob.ar](http://www.argentina.gob.ar/inase/red-de-ensayos-comparativos-de-variedades-de-trigo)
- Instituto Nacional de Semillas (INASE). (2021). *Campaña 2020/2021*. Red de Ensayos Comparativos de Variedades de Trigo. Presidencia de la Nación. <https://www.argentina.gob.ar/inase/red-de-ensayos-comparativos-de-variedades-de-trigo/campana-20202021>
- La Nueva. (14 de abril de 2018). *Trigo: la roya amarilla afecta hasta el 40 % de la superficie sembrada*. <https://www.lanueva.com/nota/2018-4-14-6-30-56-trigo-la-roya-amarilla-afecta-hasta-el-40-de-la-superficie-sembrada>
- Lyon, B., & Broders, K. (2017). *Impact of climate change and race evolution on the epidemiology and ecology of stripe rust in North America*. Canadian Journal of Plant Pathology, 39(4), 1–8. <https://doi.org/10.1080/07060661.2017.1368713>
- Márgenes Agropecuarios. (2025, mayo). *Márgenes Agropecuarios* (Año 40, N° 479)
- Peterson, R. F., Campbell, A. B., & Hannah, A. E. (1948). *A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals*. Canadian Journal of Research, 26, 496–500.
- Roelfs, A. P., Singh, R. P., & Saari, E. E. (1992). *Rust diseases of wheat: Concepts and methods of disease management*. CIMMYT.
- Sapag Chain, N; Sapag Chain, R. y Sapag P., J. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. (6° edición). México. Mc Graw-Hill Interamericana.
- Schwessinger, B. (2016). *Fundamental wheat stripe rust research in the 21st century*. New Phytologist, 213(4), 1625–1631. <https://doi.org/10.1111/nph.14159>
- Wegulo, S. N., Breathnach, J. A., & Baenziger, P. S. (2009). *Effect of hard red winter wheat cultivar and Nebraska-adapted Puccinia striiformis f. sp. tritici isolates on stripe rust*

development and yield loss. Crop Protection, 28(11), 937-944.

<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.07.001>.

Wegulo, S. N., Zwingman, M. V., Jhala, A. J., & Baenziger, P. S. (2011). *Economic profitability of fungicide application to control foliar diseases in winter wheat*. Crop Protection, 30(11), 1451-1456. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.07.013>

Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). *A decimal code for the growth stages of cereals*. Weed Research, 14, 415–421.

ANEXOS

Anexo I: Red de Evaluación de Cultivares de Trigo (RET-INASE): descripción general

La información agronómica, sanitaria y productiva utilizada en el presente trabajo proviene de la Red Oficial de Ensayos Comparativos de Variedades de Trigo (RET-INASE), coordinada por el Instituto Nacional de Semillas (INASE). Esta red constituye el sistema nacional de referencia para la evaluación objetiva de cultivares de trigo, al integrar ensayos conducidos bajo protocolos metodológicos homogéneos en múltiples campañas y localidades representativas de las principales subregiones trigueras del país.

Los ensayos de la RET-INASE se realizan anualmente e incluyen el conjunto de cultivares comerciales inscriptos y vigentes en cada campaña agrícola. Los materiales evaluados no se definen como tratamientos experimentales diseñados específicamente para este estudio, sino que se agrupan según su ciclo fenológico (largo, intermedio o corto), con fechas de siembra diferenciadas y acordes a dicha clasificación, a fin de representar condiciones productivas reales y comparables entre ambientes.

En cada sitio experimental se registran variables productivas (rendimiento, peso hectolítrico, etc.), sanitarias (incidencia y severidad de las principales enfermedades) y ambientales (precipitaciones, temperaturas, manejo agronómico y características generales del suelo), siguiendo metodologías estandarizadas que permiten comparaciones interanuales y entre localidades.

La estructura general de la red contempla las siguientes fechas de siembra:

- **Primera fecha:** cultivares de ciclo largo e intermedio-largo, evaluados con y sin control químico de enfermedades.
- **Segunda fecha:** cultivares de ciclo intermedio-largo, evaluados sin control químico.
- **Tercera fecha:** cultivares de ciclo intermedio-corto, evaluados con y sin control químico.
- **Cuarta fecha:** cultivares de ciclo corto, evaluados sin control químico.

Abbate et al. (2021) destacan que los datos provenientes de esta red constituyen la fuente más robusta disponible a nivel nacional para comparar cultivares bajo condiciones de manejo protocolizado y fechas de siembra acordes a su ciclo, lo cual respalda la utilización de esta base experimental en estudios comparativos como el presente.

Diseño experimental y tratamientos:

Cada ensayo se condujo bajo un diseño en bloques completos al azar, con parcelas independientes para tratamientos con y sin fungicida. Aunque la aplicación no fue aleatorizada dentro de cada bloque, la continuidad histórica de los ensayos y la homogeneidad de manejo permiten asumir resultados válidos y comparables entre cultivares y años (Abbate et al., 2021).

Se establecieron 2 a 4 repeticiones por tratamiento, siguiendo el protocolo de la RET-INASE (Abbate et al., 2021).

Las aplicaciones se realizaron en el estado fenológico de hoja bandera visible (Zadoks 37–39), según el sistema decimal de Zadoks, Chang y Konzak (1974).

Inicialmente, se realizaba una única aplicación cuando el 50 % de las parcelas alcanzaba la aparición de hoja bandera (Zadoks DC 3.7), utilizando una mezcla de estrobilurina + triazol (tebuconazole).

Desde la campaña 2017/2018, ante la expansión de la roya amarilla, se implementó un esquema de doble aplicación en la mayoría de las estaciones de la red, mejorando la homogeneidad de los tratamientos y la efectividad del control (Abbate et al., 2021).

Características de cada sitio en la campaña 2020 (INASE, 2021):

a) Localidad Barrow (CEI Barrow, Subregión V)

- Ensayo de 5 m × 1 m, con 7 hileras a 0,20 m de distancia.
- **Suelo:** Argiudol franco.
- **Cultivo antecesor:** Avena.
- **Fertilización:** N (412 kg/ha) y P (150 kg/ha).
- **Herbicida:** Merit (dosis marbete)
- **Fungicida aplicado:** Cipton X Pro (dosis marbete).

b) Localidad Pergamino (INTA Pergamino, Subregión III)

- Ensayo de 5 m × 1,4 m, 7 hileras a 0,205 m.
- **Suelo:** Argiudol típico franco-limoso.
- **Antecesor:** Soja de primera.
- **Fertilización:** 120 kg/ha MAP a la siembra + 200 kg/ha UREA después siembra, + 200 kg/ha UREA en macollaje.
- **Herbicidas:** Barbecho: 2,5 l/ha glifosato Roundup full II + 500 cc/ha 2,4 D + 15 g/ha Finesse; Pre siembra: Paraquat 2,0 l/ha+ 500cc/ha aceite metilado.
- **Fungicida aplicado:** 1,2 L/ha Orquesta Ultra (BASF) + 0,5 L/ha Nimbus, aplicado el 28/09 y 27/10.

c) Localidad Plá (Criadero Klein, Subregión VI)

- Ensayo de 5,5 m × 1,4 m, 7 hileras a 0,20 m.
- **Suelo:** Argiudol franco-limoso.
- **Antecesor:** Soja de primera.
- **Fertilización:** 230 kg/ha N en presembrado + 20 kg/ha S y Zn.
- **Herbicidas:** preemergencia glifosato (2,5 l/ha dosis marbete) + pyroxasulfone (200 cc/ha dosis marbete) (<https://summit-agro.com/ar/es/wp->

content/uploads/2023/03/YAMATO-TOP-Pdm-302-y-367.pdf) + flumioxazin (110 cc dosis marbete) (<https://summit-agro.com/ar/es/wp-content/uploads/2023/03/GEMMIT-TOP-Pdm-302-y-367.pdf>); repaso 2,4D (500 cc/ha dosis marbete).

- **Fungicida aplicado:** Miravis Triple Pack (Syngenta) dosis de marbete (150 a 200 cc/ha de MIRAVIS® + 500 a 600 cc/ha de ELATUS® ACE) en dos momentos (fin de macollaje y espigazón).

Anexo II: Información sanitaria de los cultivos

En los ensayos considerados se registró la información sanitaria correspondiente a las principales enfermedades foliares del cultivo de trigo, con énfasis en la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. tritici), la roya de la hoja (*Puccinia triticina*) y la roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. tritici).

La evaluación de enfermedades se realizó siguiendo el protocolo oficial del Instituto Nacional de Semillas (INASE), utilizando las escalas de Peterson et al. (1948) para estimar severidad media (%) y la escala Cobb modificada para el tipo de reacción:

- **R** (resistente),
- **MR** (moderadamente resistente),
- **MS** (moderadamente susceptible),
- **S** (susceptible),

considerando $MS \leq 30\%$ como límite de resistencia (Roelfs, Singh & Saari, 1992).

Los registros sanitarios se efectuaron en el estado fenológico Zadoks 7.8–8.3 (grano acuoso final–pastoso inicial), coincidente con el máximo desarrollo foliar (Zadoks, Chang & Konzak, 1974) en el marco del monitoreo de razas de roya como parte de los viajes de prospección anuales de la red nacional, con identificación de razas y virulencias en laboratorio (Alberione et al., 2020; Campos, 2024).

Esta información permite caracterizar el comportamiento sanitario relativo de los cultivos, sin constituir un análisis epidemiológico específico, y es utilizada en el presente trabajo como soporte para interpretar las diferencias observadas en rendimiento y desempeño económico.

Las tablas sanitarias completas correspondientes a cada localidad y campaña se presentan en este anexo con carácter complementario, a fin de no sobrecargar el cuerpo principal del trabajo, dado que el foco del análisis se centra en la evaluación económica de las estrategias de control.

Anexo II.1. Tabla 9. Localidad Barrow (CEI Barrow – Subregión V)

CULTIVAR	ROYA AMARILLA	ROYA DE LA HOJA	ROYA DEL TALLO
D.M. Algarrobo	100 S	**	0
Buck Cumelén	0	10-20 S	0

** Dato inexistente a raíz de la alta severidad de roya amarilla.

Fuente: Elaboración propia en base a evaluaciones propias realizadas.

Anexo II.2. Tabla 10. Localidad Pergamino (INTA Pergamino – Subregión III)

CULTIVAR	ROYA AMARILLA	ROYA DE LA HOJA	ROYA DEL TALLO
D.M. Algarrobo	70-80 S	10 S	0
Buck Cumelén	0	0	0

Fuente: Elaboración propia en base a evaluaciones propias realizadas.

Anexo II.3. Tabla 11. Localidad Plá–Klein (Criadero Klein – Subregión VI)

CULTIVAR	ROYA AMARILLA	ROYA DE LA HOJA	ROYA DEL TALLO
D.M. Algarrobo	80 S	5-10 S	0
Buck Cumelén	0-T MR	0	0

Fuente: Elaboración propia en base a evaluaciones propias realizadas.

Anexo III: Variables climáticas de las localidades evaluadas

Se incluyen los registros de precipitación anual, distribución mensual de lluvias y temperaturas medias correspondientes a cada localidad durante la campaña 2020/2021, con el objetivo de contextualizar las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrollaron los ensayos, sin realizar un análisis climático detallado.

Anexo III.1. Barrow

- **Precipitación anual:** 913 mm
- **Precipitación distribución mensual en mm:**

Enero:	80,8
Febrero:	50,6
Marzo:	81,2
Abril:	109,5
Mayo:	45,2
Junio:	153
Julio:	62,9
Agosto:	20,6
Setiembre:	37,1
Octubre:	83,8
Noviembre:	118,4
Diciembre:	70,6
Suma del año:	913

- **Temperatura media anual:** 15,3 °C.
- **Temperatura media mensual en °C:**

Enero:	22,2
Febrero:	20,9
Marzo:	21,9
Abril:	14,4
Mayo:	12
Junio:	9,1
Julio:	7,1
Agosto:	9,9
Setiembre:	11
Octubre:	13,7
Noviembre:	19,6
Diciembre:	21,3

Anexo III.2. Pergamino

- **Precipitación anual:** 282 mm.
- **Precipitación distribución mensual en mm:**

Enero	
Febrero	
Marzo	
Abril	
Mayo	1,8
Junio	9,1
Julio	4,2
Agosto	4,0
Setiembre	62,4
Octubre	85
Noviembre	77,4
Diciembre	38,4
Suma del año	282,3

- **Temperatura media:** No se registraron datos

Anexo III.3. Plá–Klein

- **Precipitación anual:** 1087 mm.
- **Precipitación distribución mensual en mm:**

Enero	105,7
Febrero	123,5
Marzo	339,2
Abril	115,7
Mayo	6,9
Junio	44,1
Julio	4,8
Agosto	33,1
Setiembre	80,9
Octubre	134,7
Noviembre	47,2
Diciembre	51,9
Suma del año	1087,7

- **Temperatura media anual:** 15,7 °C.
- **Temperatura media mensual en °C:**

Enero	21,4
Febrero	20,2
Marzo	21,5
Abril	16,0
Mayo	12,8
Junio	10,3
Julio	7,6
Agosto	11,0
Setiembre	12,0
Octubre	15,0
Noviembre	20,0
Diciembre	20,9

Anexo IV. Desglose de Costos Directos y Cálculo de Márgenes Brutos por Localidad

Localidad Barrow (CEI Barrow, Subregión V)

En la localidad de Barrow, el cultivar susceptible D.M. Algarrobo evidenció el impacto económico más severo de la roya amarilla debido a la altísima presión sanitaria registrada (100% de severidad). Al comparar los resultados de las Tablas 12 y 13, se desprende que la falta de control químico redujo el rendimiento a niveles críticos (992 kg/ha), generando un margen bruto con arrendamiento de -739,34 U\$S/ha incluso con la aplicación de dos dosis de fungicida (CriptonXPro), el margen se mantuvo negativo en -359,21U\$S/ha, demostrando que, en años de epidemias severas, el control químico por sí solo no logra revertir la vulnerabilidad genética del material para alcanzar el punto de equilibrio.

Tabla 12: Margen bruto para D. M. Algarrobo con aplicación de fungicida en CEI Barrow

TRIGO D.M. Algarrobo con fungicida	Coeficiente UTA/ha	Cantidad	Total
Fertilizadora urea	0,35	1	0,35
Siembra Directa con fertilización	1,25	1	1,25
Pulverización terrestre	0,15	3	0,45
Subtotal Labores			2,05
COSTOS DIRECTOS	Unidades	u\$S/unidad	Total u\$S/ha
Labores y servicios	2,05	39,5	80,975
Insumos			
Merit WG			18,64
Cripton X Pro (2 aplicaciones)	2	54,32	108,64
Fosfato monoamónico	0,15	880	132
Urea granulada	0,412	560	230,72
Semilla	0,08	0,46	0,04
Costos Directos Fijos			571,01
	Tn/ha	Precio u\$S/tn	Ingreso Bruto u\$S/ha
Rendimiento	3,631	205,9	747,62
Cosecha			70,00
Comerciales			157,00
Fletes		16,2	58,82
Costos Directos Variables			285,82
MARGEN BRUTO U\$S/ha			-109,21
Arrendamiento u\$S/ha	250		
MARGEN BRUTO con arrendamiento U\$S/ha			-359,21

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Margen bruto para D. M. Algarrobo sin aplicación de fungicida en CEI Barrow

TRIGO D.M. Algarrobo sin fungicida	Coeficiente UTA/ha	Cantidad	Total
Fertilizadora urea	0,35	1	0,35
Siembra Directa con fertilización	1,25	1	1,25
Pulverización terrestre	0,15	1	0,15

Subtotal Labores			1,75
COSTOS DIRECTOS	Unidades	u\$/unidad	Total u\$/ha
Labores y servicios	1,75	39,5	69,125
Insumos			
Merit WG			18,64
Cripton X Pro			0
Fosfato monoamónico	0,15	880	132
Urea granulada	0,412	560	230,72
Semilla	0,08	0,46	0,04
Costos Directos Fijos			450,52
	Tn/ha	Precio u\$/tn	Ingreso Bruto u\$/ha
Rendimiento	0,992	205,9	204,25
Cosecha			70,00
Comerciales			157,00
Fletes		16,2	16,07
Costos Directos Variables			243,07
MARGEN BRUTO U\$/ha			-489,34
Arrendamiento u\$/ha	250		
MARGEN BRUTO con arrendamiento U\$/ha			-739,34

Fuente: Elaboración propia

A diferencia del material susceptible, los resultados de Buck Cumelén en Barrow (Tablas 14 y 15) reflejan la eficiencia de la resistencia genética como estrategia de manejo. El cultivar mantuvo rendimientos estables por encima de los 5.600 kg/ha independientemente del tratamiento, logrando un margen bruto con arrendamiento de 170,65 U\$/ha en el escenario sin fungicida. Se destaca que la aplicación de fungicida en este cultivar redujo el margen a 25,88 U\$/ha, ya que el costo total del tratamiento (CTA) actuó como un gasto adicional que no se tradujo en un incremento de rendimiento significativo, confirmando el criterio de Abbate et al. (2021) sobre la ineficiencia económica de aplicar en materiales resistentes.

Tabla 14: Margen bruto para Buck Cumelén con aplicación de fungicida en CEI Barrow

TRIGO Buck Cumelén con fungicida	Coefficiente UTA/ha	Cantidad	Total
Fertilizadora urea	0,35	1	0,35
Siembra Directa con fertilización	1,25	1	1,25
Pulverización terrestre	0,15	3	0,45
Subtotal Labores			2,05
COSTOS DIRECTOS	Unidades	u\$/unidad	Total u\$/ha
Labores y servicios	2,05	39,5	80,975
Insumos			
Merit WG			18,64
Cripton X Pro (2 aplicaciones)	2	54,32	108,64

Fosfato monoamónico	0,15	880	132
Urea granulada	0,412	560	230,72
Semilla	0,08	0,46	0,04
Costos Directos Fijos			571,01
	Tn/ha	Precio u\$s/tn	Ingreso Bruto u\$s/ha
Rendimiento	5,661	205,9	1165,60
Cosecha			70,00
Comerciales			157,00
Fletes		16,2	91,71
Costos Directos Variables			318,71
MARGEN BRUTO U\$S/ha			275,88
Arrendamiento u\$s/ha	250		
MARGEN BRUTO con arrendamiento U\$S/ha			25,88

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Margen bruto para Buck Cumelén sin aplicación de fungicida en CEI Barrow

TRIGO Buck Cumelén sin fungicida	Coeficiente UTA/ha	Cantidad	Total
Fertilizadora urea	0,35	1	0,35
Siembra Directa con fertilización	1,25	1	1,25
Pulverización terrestre	0,15	1	0,15
Subtotal Labores			1,75
COSTOS DIRECTOS	Unidades	u\$s/unidad	Total u\$s/ha
Labores y servicios	1,75	39,5	69,125
Insumos			
Merit WG			18,64
Cripton X Pro			0
Fosfato monoamónico	0,15	880	132
Urea granulada	0,412	560	230,72
Semilla	0,08	0,46	0,04
Costos Directos Fijos			450,52
	Tn/ha	Precio u\$s/tn	Ingreso Bruto u\$s/ha
Rendimiento	5,789	205,9	1191,96
Cosecha			70,00
Comerciales			157,00
Fletes		16,2	93,78
Costos Directos Variables			320,78
MARGEN BRUTO U\$S/ha			420,65
Arrendamiento u\$s/ha	250		
MARGEN BRUTO con arrendamiento U\$S/ha			170,65

Fuente: Elaboración propia

1.2. Localidad Pergamino (INTA Pergamino, Subregión III)

En Pergamino, donde la presión de la enfermedad fue moderada, los resultados de D.M. Algarrobo (Tablas 16 y 17) muestran una brecha económica mucho más estrecha. El rendimiento sin fungicida (4.463 kg/ha) permitió alcanzar un margen bruto de 229,02 U\$S/ha, valor que apenas varió con la aplicación química (231,69 U\$S/ha). No obstante, al incorporar el costo del arrendamiento, ambos escenarios resultaron en márgenes negativos cercanos a los -9 U\$S/ha, lo que sugiere que en esta subregión el éxito económico depende de una combinación de menor presión sanitaria y una estructura de costos más ajustada.

Tabla 16: Margen bruto para D. M. Algarrobo con aplicación de fungicida en INTA Pergamino

TRIGO D.M. Algarrobo con fungicida	Coeficiente UTA/ha	Cantidad	Total
Fertilización	0,35	2	0,7
Siembra Directa con fertilización	1,25	1	1,25
Pulverización terrestre	0,15	4	0,6
TOTAL			2,55
COSTOS DIRECTOS	Unidades	u\$S/unidad	Total u\$S/ha
Labores y servicios	2,55	39,5	100,725
Insumos			
Glifosato Roundup full II	2,5	6,1	15,25
2,4 D	0,5	6	3
Finesse	0,015	330	4,95
Paraquat	2	2,8	5,6
Aceite	0,5	3	1,5
Orquesta ultra (2 aplicaciones)	1,2	32	76,8
Nimbus (2 aplicaciones)	0,5	7,4	7,4
Fosfato monoamónico	0,12	880	105,6
Urea granulada	0,4	560	224
Semilla	0,08	0,46	0,04
Costos Directos Fijos			544,86
	Tn/ha	Precio u\$S/tn	Ingreso Bruto u\$S/ha
Rendimiento	5,032	205,9	1036,09
Cosecha			96,50
Comisiones y otros gastos		8,5	42,77
Fletes		23,9	120,26
Costos Directos Variables			259,54
MARGEN BRUTO U\$S/ha			231,69
Arrendamiento u\$S/ha	238,4		
MARGEN BRUTO con arrendamiento U\$S/ha			-6,71

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Margen bruto para D. M. Algarrobo sin aplicación de fungicida en INTA Pergamino

TRIGO D.M. Algarrobo sin fungicida	Coeficiente UTA/ha	Cantidad	Total
Fertilización	0,35	2	0,7
Siembra Directa con fertilización	1,25	1	1,25
Pulverización terrestre	0,15	2	0,3
TOTAL			2,25
COSTOS DIRECTOS	Unidades	u\$/unidad	Total u\$/ha
Labores y servicios	2,25	39,5	88,875
Insumos			
Glifosato Roundup full II	2,5	6,1	15,25
2,4 D	0,5	6	3
Finesse	0,015	330	4,95
Paraquat	2	2,8	5,6
Aceite	0,5	3	1,5
Orquesta ultra	0	0	0
Nimbus	0	0	0
Fosfato monoamónico	0,12	880	105,6
Urea granulada	0,4	560	224
Semilla	0,08	0,46	0,04
Costos Directos Fijos			448,81
	Tn/ha	Precio u\$/tn	Ingreso Bruto u\$/ha
Rendimiento	4,463	205,9	918,93
Cosecha			96,50
Comisiones y otros gastos		8,5	37,94
Fletes		23,9	106,67
Costos Directos Variables			241,10
MARGEN BRUTO U\$/ha			229,02
Arrendamiento u\$/ha	238,4		
MARGEN BRUTO con arrendamiento U\$/ha			-9,38

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de Buck Cumelén en Pergamino (Tablas 18 y 19) confirman su superioridad económica en la subregión III. El margen bruto con arrendamiento fue notablemente superior en el escenario sin fungicida, alcanzando 146,94 US/ha, frente a los 37,88 US/ha obtenidos con aplicación. Esta diferencia de más de 100 U\$/ha refuerza la idea de que la resistencia genética permite al productor capturar una mayor proporción del ingreso bruto al eliminar costos de protección química que no devuelven beneficios marginales bajo presiones de roya amarilla de grado medio.

Tabla 18: Margen bruto para Buck Cumelén con aplicación de fungicida en INTA Pergamino

TRIGO Buck Cumelén con fungicida	Coeficiente UTA/ha	Cantidad	Total
Fertilización	0,35	2	0,7
Siembra Directa con fertilización	1,25	1	1,25
Pulverización terrestre	0,15	4	0,6
TOTAL			2,55
COSTOS DIRECTOS	Unidades	u\$s/unidad	Total u\$s/ha
Labores y servicios	2,55	39,5	100,725
Insumos			
Glifosato Roundup full II	2,5	6,1	15,25
2,4 D	0,5	6	3
Finesse	0,015	330	4,95
Paraquat	2	2,8	5,6
Aceite	0,5	3	1,5
Orquesta ultra (2 aplicaciones)	1,2	32	76,8
Nimbus (2 aplicaciones)	0,5	7,4	7,4
Fosfato monoamónico	0,12	880	105,6
Urea granulada	0,4	560	224
Semilla	0,08	0,46	0,04
Costos Directos Fijos			544,86
	Tn/ha	Precio u\$s/tn	Ingreso Bruto u\$s/ha
Rendimiento	5,289	205,9	1089,01
Cosecha			96,50
Comisiones y otros gastos		8,5	44,96
Fletes		23,9	126,41
Costos Directos Variables			267,86
MARGEN BRUTO U\$S/ha			276,28
Arrendamiento u\$s/ha	238,4		
MARGEN BRUTO con arrendamiento U\$S/ha			37,88

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Margen bruto para Buck Cumelén sin aplicación de fungicida en INTA Pergamino

TRIGO Buck Cumelén sin fungicida	Coeficiente UTA/ha	Cantidad	Total
Fertilización	0,35	2	0,7
Siembra Directa con fertilización	1,25	1	1,25
Pulverización terrestre	0,15	2	0,3
TOTAL			2,25
COSTOS DIRECTOS	Unidades	u\$s/unidad	Total u\$s/ha
Labores y servicios	2,25	39,5	88,875
Insumos			
Glifosato Roundup full II	2,5	6,1	15,25

2,4 D	0,5	6	3
Finesse	0,015	330	4,95
Paraquat	2	2,8	5,6
Aceite	0,5	3	1,5
Orquesta ultra	0	0	0
Nimbus	0	0	0
Fosfato monoamónico	0,12	880	105,6
Urea granulada	0,4	560	224
Semilla	0,08	0,46	0,04
Costos Directos Fijos			448,81
	Tn/ha	Precio u\$/tn	Ingreso Bruto u\$/ha
Rendimiento	5,364	205,9	1104,45
Cosecha			96,50
Comisiones y otros gastos		8,5	45,59
Fletes		23,9	128,20
Costos Directos Variables			270,29
MARGEN BRUTO U\$/ha			385,34
Arrendamiento u\$/ha	238,4		
MARGEN BRUTO con arrendamiento U\$/ha			146,94

Fuente: Elaboración propia

Localidad Plá (Criadero Klein, Subregión VI)

La localidad de Plá presentó el mayor potencial productivo del estudio, pero también una marcada dependencia tecnológica para el cultivar susceptible. Según las Tablas 20 y 21, D.M. Algarrobo alcanzó su rendimiento máximo (6.307 kg/ha) con un margen positivo bajo arrendamiento de 186,42 U\$/ha. Sin embargo, la ausencia de control químico provocó una caída drástica en el rendimiento (3.800 kg/ha), transformando la utilidad en una pérdida de -174,23 U\$/ha. Esto evidencia que, en ambientes de alto potencial, el riesgo económico de sembrar materiales susceptibles sin un esquema rígido de fungicidas es extremadamente elevado.

Tabla 20: Margen bruto para D. M. Algarrobo con aplicación de fungicida en Criadero Klein

TRIGO D.M. Algarrobo con fungicida	Coeficiente UTA/ha	Cantidad	Total
Fertilización	0,35	1	0,35
Siembra Directa con fertilización	1,25	1	1,25
Pulverización terrestre	0,15	4	0,6
TOTAL			2,2

COSTOS DIRECTOS	Unidades	u\$s/unidad	Total u\$s/ha
Labores y servicios	2,2	39,5	86,9
Insumos			
Glifosato Roundup full II	2,5	6,1	15,25
2,4 D	0,5	6	3
Pyroxasulfone (Yamato TOP)	0,2	94	18,8
Flumioxazin (Gemmit TOP)	0,11	30	3,3
Miravis triple pack (2 aplicaciones)	2	28	56
Azufre	0,02	230	4,6
Urea granulada	0,23	560	128,8
Semilla	0,08	0,46	0,04
Costos Directos Fijos			316,69
	Tn/ha	Precio u\$s/tn	Ingreso Bruto u\$s/ha
Rendimiento	6,307	205,9	1298,61
Cosecha			106,90
Comision %IB	3%		38,96
Fletes y paritarias		28,8	181,64
Costos Directos Variables			327,50
MARGEN BRUTO U\$S/ha			654,42
Arrendamiento u\$s/ha	468		
MARGEN BRUTO con arrendamiento U\$S/ha			186,42

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Margen bruto para D. M. Algarrobo sin aplicación de fungicida en Criadero Klein

TRIGO D.M. Algarrobo sin fungicida	Coeficiente UTA/ha	Cantidad	Total
Fertilización	0,35	1	0,35
Siembra Directa con fertilización	1,25	1	1,25
Pulverización terrestre	0,15	2	0,3
TOTAL			1,9
COSTOS DIRECTOS	Unidades	u\$s/unidad	Total u\$s/ha
Labores y servicios	1,9	39,5	75,05
Insumos			
Glifosato Roundup full II	2,5	6,1	15,25
2,4 D	0,5	6	3
Pyroxasulfone (Yamato TOP)	0,2	94	18,8
Flumioxazin (Gemmit TOP)	0,11	30	3,3
Miravis triple pack (2 aplicaciones)			0
Azufre	0,02	230	4,6
Urea granulada	0,23	560	128,8
Semilla	0,08	0,46	0,04
Costos Directos Fijos			248,84
	Tn/ha	Precio u\$s/tn	Ingreso Bruto u\$s/ha

Rendimiento	3,8	205,9	782,42
Cosecha			106,90
Comision %IB	3%		23,47
Fletes y paritarias		28,8	109,44
Costos Directos Variables			239,81
MARGEN BRUTO U\$S/ha			293,77
Arrendamiento u\$S/ha	468		
MARGEN BRUTO con arrendamiento U\$S/ha			-174,23

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, los resultados de Buck Cumelén en Plá (Tablas 22 y 23) representan el escenario de mayor éxito económico y financiero del trabajo. El cultivar alcanzó márgenes brutos superiores a los 740 U\$S/ha (sin arrendamiento) y mantuvo una renta líquida de 277,01 U\$S/ha bajo arrendamiento en el escenario sin fungicida. La estabilidad entre ambos tratamientos (con y sin fungicida) demuestra que el material genético es capaz de expresar su máximo potencial productivo en la zona núcleo sin necesidad de intervenciones químicas adicionales, optimizando la rentabilidad final de la agroempresa.

Tabla 22: Margen bruto para Buck Cumelén con aplicación de fungicida en Criadero Klein

TRIGO Buck Cumelén con fungicida	Coeficiente UTA/ha	Cantidad	Total
Fertilización	0,35	1	0,35
Siembra Directa con fertilización	1,25	1	1,25
Pulverización terrestre	0,15	4	0,6
TOTAL			2,2
COSTOS DIRECTOS	Unidades	u\$S/unidad	Total u\$S/ha
Labores y servicios	2,2	39,5	86,9
Insumos			
Glifosato Roundup full II	2,5	6,1	15,25
2,4 D	0,5	6	3
Pyroxasulfone (Yamato TOP)	0,2	94	18,8
Flumioxazin (Gemmit TOP)	0,11	30	3,3
Miravis triple pack (2 aplicaciones)	2	28	56
Azufre	0,02	230	4,6
Urea granulada	0,23	560	128,8
Semilla	0,08	0,46	0,04
Costos Directos Fijos			316,69
	Tn/ha	Precio u\$S/tn	Ingreso Bruto u\$S/ha
Rendimiento	6,56	205,9	1350,70
Cosecha			106,90
Comision %IB	3%		40,52
Fletes y paritarias		28,8	188,93

Costos Directos Variables			336,35
MARGEN BRUTO U\$S/ha			697,67
Arrendamiento u\$S/ha	468		
MARGEN BRUTO con arrendamiento U\$S/ha			229,67

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Margen bruto para Buck Cumelén sin aplicación de fungicida en Criadero Klein

TRIGO Buck Cumelén sin fungicida	Coeficiente UTA/ha	Cantidad	Total
Fertilización	0,35	1	0,35
Siembra Directa con fertilización	1,25	1	1,25
Pulverización terrestre	0,15	2	0,3
TOTAL			1,9
COSTOS DIRECTOS	Unidades	u\$S/unidad	Total u\$S/ha
Labores y servicios	1,9	39,5	75,05
Insumos			
Glifosato Roundup full II	2,5	6,1	15,25
2,4 D	0,5	6	3
Pyroxasulfone (Yamato TOP)	0,2	94	18,8
Flumioxazin (Gemmit TOP)	0,11	30	3,3
Miravis triple pack (2 aplicaciones)			0
Azufre	0,02	230	4,6
Urea granulada	0,23	560	128,8
Semilla	0,08	0,46	0,04
Costos Directos Fijos			248,84
	Tn/ha	Precio u\$S/tn	Ingreso Bruto u\$S/ha
Rendimiento	6,44	205,9	1326,00
Cosecha			106,90
Comision %IB	3%		39,78
Fletes y paritarias		28,8	185,47
Costos Directos Variables			332,15
MARGEN BRUTO U\$S/ha			745,01
Arrendamiento u\$S/ha	468		
MARGEN BRUTO con arrendamiento U\$S/ha			277,01

Fuente: Elaboración propia

Anexo V. Proyecciones Detalladas de Flujos de Fondos por Escenario

Localidad Barrow (CEI Barrow, Subregión V)

Los indicadores financieros en Barrow reflejan una rentabilidad moderada pero positiva en todos los casos. En el Escenario 1 (con fungicida, Tabla 24), el VAN alcanzó su valor mínimo de 35,07 U\$S/ha, con una TIR del 17%. En contraste, el Escenario 2 (sin fungicida constante, Tabla 25) presentó el mejor desempeño para el sitio, con un VAN de 638,82 U\$S/ha y una TIR del 46%, logrando recuperar la inversión inicial en 1,83 años. Aun bajo condiciones de variabilidad (Escenario 3, Tabla 26), el sistema mantuvo su viabilidad con una TIR del 39%. Estos resultados indican que, si bien el sitio es rentable, la aplicación de fungicidas en este cultivar reduce sensiblemente la eficiencia del capital invertido.

Tabla 24. Escenario 1. Flujo de fondos e indicadores financieros Buck Cumelén sin arrendamiento, con aplicación de fungicida en CEI Barrow. Datos expresados en u\$s/ha.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión inicial	889,72					
Ingresos						
Venta de trigo	0	1165,6	1165,6	1165,6	1165,6	1165,6
Total Ingresos	0	1165,6	1165,6	1165,6	1165,6	1165,6
Egresos						
Costos directos fijos	571,01	571,01	571,01	571,01	571,01	571,01
Costos directos variables	318,71	318,71	318,71	318,71	318,71	318,71
Total Egresos	889,72	889,72	889,72	889,72	889,72	889,72
Saldo	-889,72	275,88	275,88	275,88	275,88	275,88
Saldo acumulado	-889,72	-613,84	-337,96	-62,08	213,8	489,68
Valor futuro	-889,72	275,88	275,88	275,88	275,88	275,88
Valor actual	-889,72	239,90	208,60	181,40	157,74	137,16
Tasa	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Valor actual neto	35,07 U\$S					
TIR	17%					
Payback	Año 3,23					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Escenario 2. Flujo de fondos e indicadores financieros Buck Cumelén sin arrendamiento, sin aplicación de fungicida en CEI Barrow. Datos expresados en u\$s/ha.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión inicial	771,3					
Ingresos						
Venta de trigo	0	1191,96	1191,96	1191,96	1191,96	1191,96
Total Ingresos	0	1191,96	1191,96	1191,96	1191,96	1191,96
Egresos						
Costos directos fijos	450,52	450,52	450,52	450,52	450,52	450,52
Costos directos variables	320,78	320,78	320,78	320,78	320,78	320,78
Total Egresos	771,3	771,3	771,3	771,3	771,3	771,3
Saldo	-771,3	420,66	420,66	420,66	420,66	420,66
Saldo acumulado	-771,3	-350,64	70,02	490,68	911,34	1332
Valor futuro	-771,3	420,66	420,66	420,66	420,66	420,66
Valor actual	-771,30	365,79	318,08	276,59	240,51	209,14
Tasa	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Valor actual neto	638,82 U\$S					
TIR	46%					
Payback	Año 1,83					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Escenario 3. Flujo de fondos e indicadores financieros Buck Cumelén sin arrendamiento, sin aplicación de fungicida en CEI Barrow frente a una proyección de diferentes escenarios. Datos expresados en u\$S/ha.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2 + 8% buen año	Año 3 -15% año seco	Año 4 + 5% año normal	Año 5 -10% bajada de los precios
Inversión inicial	771,3					
Ingresos						
Venta de trigo	0	1191,96	1287,32	1094,22	1148,93	1034,04
Total Ingresos	0	1191,96	1287,32	1094,22	1148,93	1034,04
Egresos	Ajustan año a año por inflación o cambios en		6,90%	6,10%	6,10%	5,80%

	insumos (5-7%)					
Costos directos fijos	450,52	450,52	450,52	450,52	450,52	450,52
Costos directos variables	320,78	320,78	320,78	320,78	320,78	320,78
Total Egresos	771,3	771,3	824,52	818,35	818,35	816,04
Saldo	-771,3	420,66	462,80	275,87	330,58	218,00
Saldo acumulado	-771,3	-350,64	112,16	388,03	718,61	936,61
Valor futuro	-771,3	420,66	462,80	275,87	330,58	218,00
Valor actual	-771,30	365,79	349,94	181,39	189,01	108,39
Tasa	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Valor actual neto	423,22 U\$S					
TIR	39%					
Payback	Año 1,76					

Fuente: Elaboración propia

Localidad Pergamino (INTA Pergamino, Subregión III)

Pergamino presenta una situación financiera intermedia y consistente. El Escenario 1 (Tabla 27) arrojó una TIR del 21%, superando la tasa de corte del 15%, mientras que el Escenario 2 (Tabla 28) elevó dicho indicador al 45%, con un VAN de 572,65 U\$S/ha. El período de repago se ubicó entre 1,79 y 2,94 años según el nivel de intervención química y la estabilidad proyectada. Al igual que en Barrow, se observa que la mayor rentabilidad se alcanza sin el uso de fungicidas, aunque el Escenario 3 (Tabla 29) revela una mayor sensibilidad a las fluctuaciones de costos y precios en comparación con otros sitios, reduciendo el VAN respecto a la proyección constante.

Tabla 27. Escenario 1. Flujo de fondos e indicadores financieros Buck Cumelén sin arrendamiento, con aplicación de fungicida en INTA Pergamino. Datos expresados en u\$S/ha.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión inicial	812,72					
Ingresos						

Venta de trigo	0	1089,01	1089,01	1089,01	1089,01	1089,01
Total Ingresos	0	1089,01	1089,01	1089,01	1089,01	1089,01
Egresos						
Costos directos fijos	544,86	544,86	544,86	544,86	544,86	544,86
Costos directos variables	267,86	267,86	267,86	267,86	267,86	267,86
Total Egresos	812,72	812,72	812,72	812,72	812,72	812,72
Saldo	-812,72	276,29	276,29	276,29	276,29	276,29
Saldo acumulado	-812,72	-536,43	-260,14	16,15	292,44	568,73
Valor futuro	-812,72	276,29	276,29	276,29	276,29	276,29
Valor actual	-812,72	240,25	208,91	181,67	157,97	137,36
Tasa	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Valor actual neto	113,45 U\$S					
TIR	21%					
Payback	Año 2,94					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Escenario 2. Flujo de fondos e indicadores financieros Buck Cumelén sin arrendamiento, sin aplicación de fungicida en INTA Pergamino. Datos expresados en u\$S/ha.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión inicial	719,1					
Ingresos						
Venta de trigo	0	1104,45	1104,45	1104,45	1104,45	1104,45
Total Ingresos	0	1104,45	1104,45	1104,45	1104,45	1104,45
Egresos						
Costos directos fijos	448,81	448,81	448,81	448,81	448,81	448,81

Costos directos variables	270,29	270,29	270,29	270,29	270,29	270,29
Total Egresos	719,1	719,1	719,1	719,1	719,1	719,1
Saldo	-719,1	385,35	385,35	385,35	385,35	385,35
Saldo acumulado	-719,1	-333,75	51,6	436,95	822,3	1207,65
Valor futuro	-719,1	385,35	385,35	385,35	385,35	385,35
Valor actual	-719,10	335,09	291,38	253,37	220,33	191,59
Tasa	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Valor actual neto	572,65 U\$S					
TIR	45%					
Payback	Año 1,87					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Escenario 3. Flujo de fondos e indicadores financieros Buck Cumelén sin arrendamiento, sin aplicación de fungicida en INTA Pergamino frente a una proyección de diferentes escenarios. Datos expresados en u\$/ha.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2 + 8% buen año	Año 3 -15% año seco	Año 4 + 5% año normal	Año 5 -10% bajada de los precios
Inversión inicial	719,1					
Ingresos						
Venta de trigo	0	1104,45	1192,81	1013,89	1064,58	958,12
Total Ingresos	0	1104,45	1192,81	1013,89	1064,58	958,12
Egresos	Ajustan año a año por inflación o cambios en insumos (5-7%)		6,90%	6,10%	6,10%	5,80%
Costos directos fijos	448,81	448,81	448,81	448,81	448,81	448,81

Costos directos variables	270,29	270,29	270,29	270,29	270,29	270,29
Total Egresos	719,1	719,1	768,72	762,97	762,97	760,81
Saldo	-719,1	385,35	424,09	250,92	301,61	197,31
Saldo acumulado	-719,1	-333,75	90,34	341,26	642,87	840,19
Valor futuro	-719,1	385,35	424,09	250,92	301,61	197,31
Valor actual	-719,10	335,09	320,67	164,98	172,45	98,10
Tasa	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Valor actual neto	372,19 U\$S					
TIR	38%					
Payback	Año 1,79					

Fuente: Elaboración propia

Localidad Plá (Criadero Klein, Subregión VI)

Plá-Klein se consolida como el sitio de mayor éxito financiero del estudio. Los indicadores VAN y TIR son excepcionalmente elevados, triplicando en algunos casos los valores de las otras estaciones. En el Escenario 2 (Tabla 31), la TIR alcanzó el 126% con un VAN de 1.916,40 U\$S/ha. El período de repago es extremadamente corto, situándose entre 0,78 y 0,94 años, lo que implica que la inversión inicial se recupera íntegramente dentro del primer ciclo productivo. La robustez económica del sitio queda demostrada en el Escenario 3 (Tabla 32), donde el VAN se mantiene casi inalterado frente a la variabilidad interanual, indicando una alta capacidad de respuesta del sistema ante fluctuaciones externas.

Tabla 30. Escenario 1. Flujo de fondos e indicadores financieros Buck Cumelén sin arrendamiento, con aplicación de fungicida en Criadero Klein. Datos expresados en u\$S/ha.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión inicial	653,04					
Ingresos						
Venta de trigo	0	1350,7	1350,7	1350,7	1350,7	1350,7
Total Ingresos	0	1350,7	1350,7	1350,7	1350,7	1350,7

Egresos						
Costos directos fijos	316,69	316,69	316,69	316,69	316,69	316,69
Costos directos variables	336,35	336,35	336,35	336,35	336,35	336,35
Total Egresos	653,04	653,04	653,04	653,04	653,04	653,04
Saldo	-653,04	697,66	697,66	697,66	697,66	697,66
Saldo acumulado	-653,04	44,62	742,28	1439,94	2137,6	2835,26
Valor futuro	-653,04	697,66	697,66	697,66	697,66	697,66
Valor actual	-653,04	606,66	527,53	458,72	398,89	346,86
Tasa	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Valor actual neto	1685,62 U\$S					
TIR	104%					
Payback	Año 0,94					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Escenario 2. Flujo de fondos e indicadores financieros Buck Cumelén sin arrendamiento, sin aplicación de fungicida en Criadero Klein. Datos expresados en u\$s/ha.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión inicial	580,99					
Ingresos						
Venta de trigo	0	1326	1326	1326	1326	1326
Total Ingresos	0	1326	1326	1326	1326	1326
Egresos						
Costos directos fijos	248,84	248,84	248,84	248,84	248,84	248,84
Costos directos variables	332,15	332,15	332,15	332,15	332,15	332,15
Total Egresos	580,99	580,99	580,99	580,99	580,99	580,99
Saldo	-580,99	745,01	745,01	745,01	745,01	745,01

Saldo acumulado	-580,99	164,02	909,03	1654,04	2399,05	3144,06
Valor futuro	-580,99	745,01	745,01	745,01	745,01	745,01
Valor actual	-580,99	647,83	563,33	489,86	425,96	370,40
Tasa	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Valor actual neto	1916,40 U\$S					
TIR	126%					
Payback	Año 0,78					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Escenario 3. Flujo de fondos e indicadores financieros Buck Cumelén sin arrendamiento, sin aplicación de fungicida en Criadero Klein frente a una proyección de diferentes escenarios. Datos expresados en u\$S/ha.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2 + 8% buen año	Año 3 -15% año seco	Año 4 + 5% año normal	Año 5 -10% bajada de los precios
Inversión inicial	580,99					
Ingresos						
Venta de trigo	0	1326	1432,08	1217,27	1278,13	1150,32
Total Ingresos	0	1326	1432,08	1217,27	1278,13	1150,32
Egresos	Ajustan año a año por inflación o cambios en insumos (5-7%)		6,90%	6,10%	6,10%	5,80%
Costos directos fijos	248,84	248,84	248,84	248,84	248,84	248,84
Costos directos variables	332,15	332,15	332,15	332,15	332,15	332,15
Total Egresos	580,99	580,99	621,08	616,43	616,43	614,69
Saldo	-580,99	745,01	811,00	600,84	661,70	535,63
Saldo acumulado	-580,99	164,02	975,02	1575,86	2237,56	2773,19

Valor futuro	-580,99	745,01	811,00	600,84	661,70	535,63
Valor actual	-580,99	647,83	613,23	395,06	378,33	266,30
Tasa	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Valor actual neto	1719,77 U\$S					
TIR	125%					
Payback	Año 0,78					

Fuente: Elaboración propia