



<https://doi.org/10.47633/86vt6976>

# Planificación agrícola con modelos cuantitativos



Agricultural planning with quantitative models

Planejamento agrícola com modelos quantitativos



Cristina Urbina-Céspedes  
Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica

 <https://ror.org/04zhfrn38>  
 <https://orcid.org/0009-0005-5764-9542>  
[cristinaurbinac20@estudiantec.cr](mailto:cristinaurbinac20@estudiantec.cr)

Mauricio Alonso Campos Cerdas  
Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica

 <https://ror.org/04zhfrn38>  
 <https://orcid.org/0009-0000-6472-2764>  
[maucampos@estudiantec.cr](mailto:maucampos@estudiantec.cr)

Juan Bautista Núñez Parrales  
Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica

 <https://ror.org/04zhfrn38>  
 <https://orcid.org/0009-0003-8834-6494>  
[nunezparralesj@estudiantec.cr](mailto:nunezparralesj@estudiantec.cr)

Recibido 05-08-2025 | Revisado 22-09-2025 | Aceptado 27-10-2025



Nuestros artículos son publicados bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Atribucion-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

## Resumen

Este trabajo presenta un enfoque de planificación agrícola basado en el uso de modelos cuantitativos de pronóstico y optimización para mejorar la asignación de superficie cultivable entre maíz y trigo. Utilizando datos oficiales de la plataforma (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2023), se implementaron métodos de series temporales mediante el modelo Prophet para estimar la evolución de la producción futura (Taylor & Letham, 2018). Asimismo, se aplicó programación lineal clásica para determinar la distribución óptima de hectáreas a cultivar, maximizando el rendimiento esperado bajo condiciones de restricción de recursos (Dantzig, 1963). El análisis sugiere que la integración de técnicas de pronóstico con modelos de optimización permite una toma de decisiones agrícolas más eficiente y sustentada en datos reales. Además, se destaca el potencial de estas herramientas para generar escenarios predictivos que orienten tanto la planificación estratégica como la operativa a nivel nacional o regional. Este estudio aporta evidencia de cómo la tecnología y el análisis de datos pueden transformar positivamente la forma en que se diseñan políticas agrarias sostenibles.

El análisis sugiere que la integración de técnicas de pronóstico con modelos de optimización permite una toma de decisiones agrícolas más eficiente y sustentada en datos reales. Además, se destaca el potencial de estas herramientas para generar escenarios predictivos que orienten tanto la planificación estratégica como la operativa a nivel nacional o regional. Este estudio aporta evidencia de cómo la tecnología y el análisis de datos pueden transformar positivamente la forma en que se diseñan políticas agrarias sostenibles.

Los resultados obtenidos sugieren que integrar técnicas de pronóstico con modelos de optimización mejora significativamente la toma de decisiones en contextos agrícolas, al permitir una planificación más precisa, basada en evidencia y adaptable a cambios en la demanda o en las condiciones climáticas. Asimismo, este enfoque posibilita la generación de escenarios prospectivos que pueden apoyar procesos de formulación de políticas públicas, estrategias de seguridad alimentaria y decisiones operativas tanto a nivel nacional como regional. En conjunto, el estudio demuestra el potencial de la analítica avanzada y la tecnología

para transformar positivamente los modelos tradicionales de gestión agraria, contribuyendo a la construcción de sistemas de producción más eficientes, resilientes y sostenibles.

Palabras clave: FAOSTAT, maíz, planificación agrícola, programación lineal, Prophet, series temporales, trigo

## Abstract

This paper presents an approach to agricultural planning based on the use of quantitative forecasting and optimization models to improve the allocation of arable land between maize and wheat. Using official data from the platform (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2023), time-series methods were implemented using the Prophet model to estimate the evolution of future production (Taylor & Letham, 2018). Furthermore, classic linear programming was applied to determine the optimal distribution of hectares to cultivate, maximizing expected yield under resource constraint conditions (Dantzig, 1963). The analysis suggests that the integration of forecasting techniques with optimization models allows for more efficient and data-driven agricultural decision-making. In addition, the potential of these tools is highlighted for generating predictive scenarios that guide both strategic and operational planning at a national or regional level. This study provides evidence of how technology and data analysis can positively transform the way sustainable agricultural policies are designed. The analysis suggests that the integration of forecasting techniques with optimization models allows for more efficient and data-driven agricultural decision-making. In addition, the potential of these tools is highlighted for generating predictive scenarios that guide both strategic and operational planning at a national or regional level. This study provides evidence of how technology and data analysis can positively transform the way sustainable agricultural policies are designed.

The results suggest that integrating forecasting techniques with optimization models significantly enhances decision-making in agricultural contexts by enabling more precise, evidence-based planning that can adapt to changes in demand or climatic

conditions. Moreover, this approach facilitates the generation of prospective scenarios that can support public policy formulation, food security strategies, and operational decision-making at both national and regional levels. Overall, the study demonstrates the potential of advanced analytics and technology to positively transform traditional agricultural management models, contributing to the development of more efficient, resilient, and sustainable production systems.

Keywords: agricultural planning, FAOSTAT, linear programming, maize, Prophet, time series, wheat

## Resumo

Este trabalho apresenta uma abordagem de planejamento agrícola baseada no uso de modelos quantitativos de previsão e otimização para melhorar a alocação da superfície cultivável entre milho e trigo. Utilizando dados oficiais da plataforma (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2023), foram implementados métodos de séries temporais por meio do modelo Prophet para estimar a evolução da produção futura (Taylor & Letham, 2018). Além disso, aplicou-se programação linear clássica para determinar a distribuição ótima de hectares a serem cultivados, maximizando o rendimento esperado sob condições de restrição de recursos (Dantzig, 1963). A análise sugere que a integração de técnicas de previsão com modelos de otimização permite uma tomada de decisão agrícola mais eficiente e baseada em dados reais. Além disso, destaca-se o potencial dessas ferramentas para gerar cenários preditivos que orientem tanto o planejamento estratégico quanto o operacional em nível nacional ou regional. Este estudo fornece evidências de como a tecnologia e a análise de dados podem transformar positivamente a forma como são elaboradas políticas agrárias sustentáveis.

A análise sugere que a integração de técnicas de previsão com modelos de otimização permite uma tomada de decisão agrícola mais eficiente e baseada em dados reais. Além disso, destaca-se o potencial dessas ferramentas para gerar cenários preditivos que orientem tanto o planejamento estratégico quanto o operacional em nível nacional ou regional. Este estudo fornece evidências de como

a tecnologia e a análise de dados podem transformar positivamente a forma como são elaboradas políticas agrárias sustentáveis.

Os resultados obtidos sugerem que integrar técnicas de previsão com modelos de otimização melhora significativamente a tomada de decisões em contextos agrícolas, ao permitir um planejamento mais preciso, baseado em evidências e adaptável a mudanças na demanda ou nas condições climáticas. Da mesma forma, essa abordagem possibilita a geração de cenários prospectivos que podem apoiar processos de formulação de políticas públicas, estratégias de segurança alimentar e decisões operacionais tanto em nível nacional quanto regional. Em conjunto, o estudo demonstra o potencial da análise avançada e da tecnologia para transformar positivamente os modelos tradicionais de gestão agrária, contribuindo para a construção de sistemas de produção mais eficientes, resilientes e sustentáveis.

Palavras-Chave: FAOSTAT, milho, planejamento agrícola, programação linear, Prophet, séries temporais, trigo

## Introducción

La agricultura representa un sector clave para la seguridad alimentaria global, el desarrollo económico sostenible y la reducción de la pobreza en zonas rurales. Sin embargo, la asignación eficiente de recursos como tierra cultivable enfrenta desafíos crecientes derivados de la variabilidad climática, la urbanización del suelo agrícola, el aumento en los costos de insumos, la volatilidad de precios y la presión por producir más alimentos en menos espacio y con menor impacto ambiental.

En este contexto complejo, las herramientas cuantitativas de análisis y modelado se presentan como una alternativa robusta para fundamentar decisiones estratégicas en agricultura. Mediante la aplicación de modelos estadísticos de pronóstico y de optimización matemática, es posible proyectar escenarios, simular estrategias y tomar decisiones basadas en evidencia, disminuyendo así la incertidumbre que caracteriza al entorno agrícola actual.

Este trabajo se centra en el caso de la planificación agrícola para dos cultivos estratégicos: maíz y trigo. Estos cereales tienen una alta relevancia en la dieta humana y en la economía de muchos países. Se eligieron por su cobertura estadística en la base de datos de (FAO, 2023) y por su importancia histórica en la matriz alimentaria global. El objetivo principal es demostrar cómo la combinación de modelos de pronóstico de series temporales (en particular Prophet) y programación lineal permite optimizar la distribución de recursos agrícolas, mejorando así la planificación productiva.

La presente investigación se divide en dos partes. En esta primera parte, se desarrolla la fundamentación teórica de los modelos empleados, se describe el proceso de recolección de datos, se explora la tendencia 1 histórica de producción de maíz y trigo y se plantean los modelos teóricos que serán implementados posteriormente. La segunda parte, a cargo del segundo integrante del equipo, se enfocará en la implementación del modelo en lenguaje R, la validación de resultados, el análisis técnico de los hallazgos y la discusión crítica de las limitaciones y oportunidades del enfoque propuesto.

## Marco teórico

### Series temporales y pronóstico con prophet

El pronóstico de series temporales constituye una técnica fundamental en múltiples áreas de aplicación como la economía, la ingeniería, la salud pública y la agricultura. Este enfoque busca estimar el comportamiento futuro de una variable a partir del análisis de su comportamiento histórico. En el contexto agrícola, esta técnica permite anticipar la producción de cultivos, analizar estacionalidades, planificar cosechas y evaluar riesgos asociados a cambios estructurales o eventos climáticos.

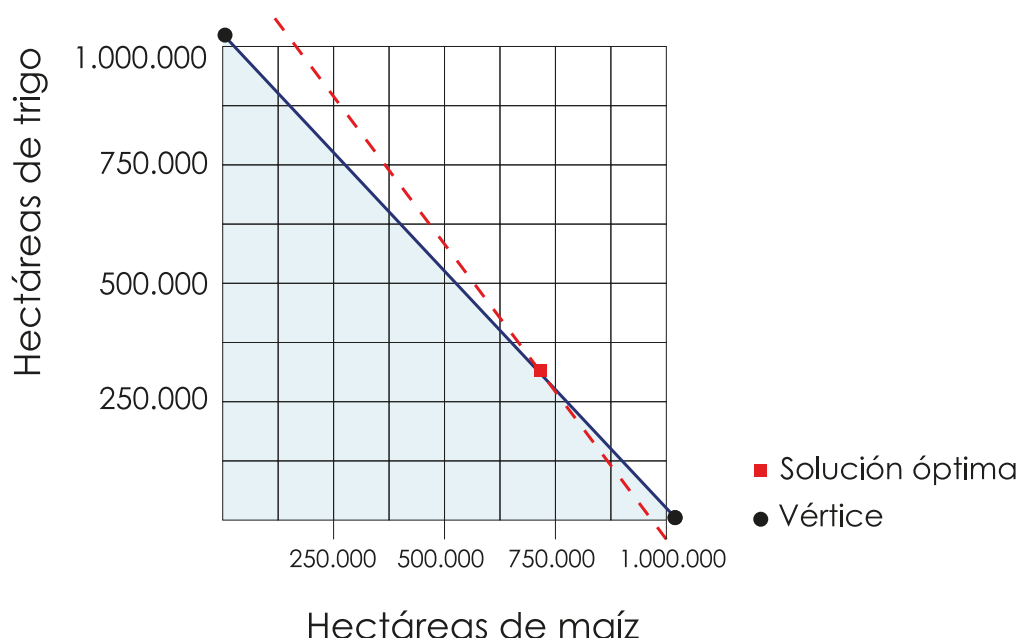
Prophet es un modelo aditivo desarrollado por Facebook que permite descomponer una serie temporal en componentes estructurales interpretables: tendencia, estacionalidad y efectos de eventos irregulares (Taylor & Letham, 2018). Su diseño busca facilitar su uso incluso por personas sin conocimientos avanzados

en estadística. Una de sus principales ventajas es la capacidad de capturar estacionalidades múltiples (por ejemplo, anuales y semanales) sin requerir ajustes manuales complejos. Además, Prophet maneja de forma flexible datos faltantes, cambios estructurales; esto lo convierte en una herramienta ideal para entornos agrícolas donde los datos pueden tener discontinuidades.

En este estudio, Prophet se emplea para estimar la evolución de la producción mundial de maíz y trigo, utilizando series históricas que abarcan más de seis décadas. Esta proyección constituye un insumo clave para alimentar el modelo de programación lineal con información prospectiva, permitiendo una planificación más anticipada y estratégica. Su facilidad de implementación en R y su capacidad de generar intervalos de confianza para las predicciones agregan valor adicional al análisis.

### Figura 1.

*Región factible del modelo de programación lineal. Maximización de la producción agrícola*



Nota. Elaboración propia a partir de datos de la FAO (2023).

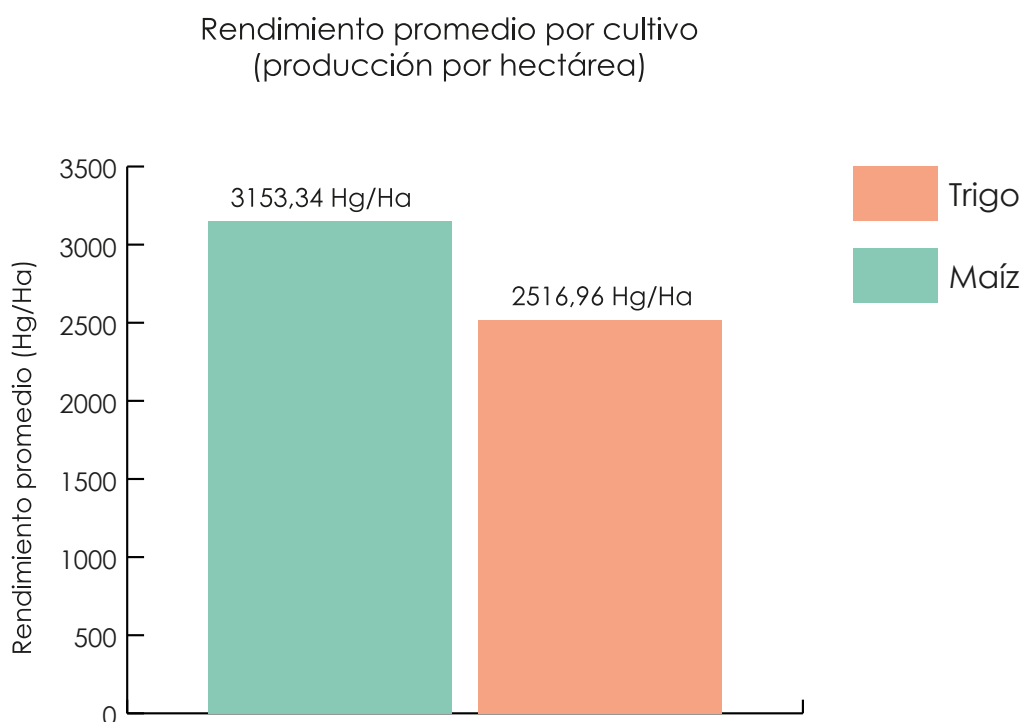


Como se observa en la Figura 1, esta presenta el pronóstico generado por el modelo Prophet para la producción global de maíz, utilizando datos históricos obtenidos de la (FAO, 2023). En la gráfica se observa una tendencia general al alza, lo que es consistente con la creciente demanda mundial de maíz tanto para consumo humano como para alimentación animal e industrias como la producción de etanol. Los intervalos de confianza marcados en gris son cruciales ya que permiten anticipar posibles escenarios futuros bajo condiciones de variabilidad; estos rangos de incertidumbre son particularmente importantes en la agricultura debido a la dependencia de factores climáticos. Esta tendencia proyectada resulta útil para orientar políticas agrícolas que buscan incrementar la superficie cultivada de maíz de manera sostenible para satisfacer la demanda futura. El patrón estacional captado por el modelo también evidencia fluctuaciones anuales consistentes en la producción, lo cual debe considerarse rigurosamente en la planificación de inventarios y logística a lo largo del año. La robustez del pronóstico, a pesar de las discontinuidades o posibles outliers en los datos históricos (que Prophet maneja con flexibilidad), refuerza la base para la planificación estratégica que será integrada en el modelo de programación lineal.



**Figura 2.**

*Pronóstico de producción de trigo utilizando Prophet*



Nota. Elaboración propia a partir de datos de la FAO (2023).

En la Figura 2. se muestra el pronóstico de producción de trigo elaborado mediante Prophet. A diferencia del maíz, la serie histórica del trigo presenta una evolución más moderada, con una ligera pero constante tendencia creciente hacia los años recientes. El modelo logra capturar tanto la tendencia como la estacionalidad de la serie, permitiendo estimaciones robustas a futuro que son esenciales para la seguridad alimentaria global. Estos resultados aportan una base sólida para comparar cultivos en términos de estabilidad y rendimiento esperado. La menor pendiente en la tendencia de crecimiento del trigo, en comparación con el maíz, puede reflejar distintos factores como limitaciones de tierra cultivable en zonas templadas, variabilidad en los precios o distintas prioridades en las políticas agrícolas. Comprender estas proyecciones es relevante al momento de aplicar el modelo de optimización (Programación Lineal), ya que el rendimiento esperado y la estabilidad de la producción influyen directamente en la función objetivo y en la toma de

decisiones sobre la asignación de hectáreas, buscando maximizar el valor total de la producción o la seguridad del suministro.

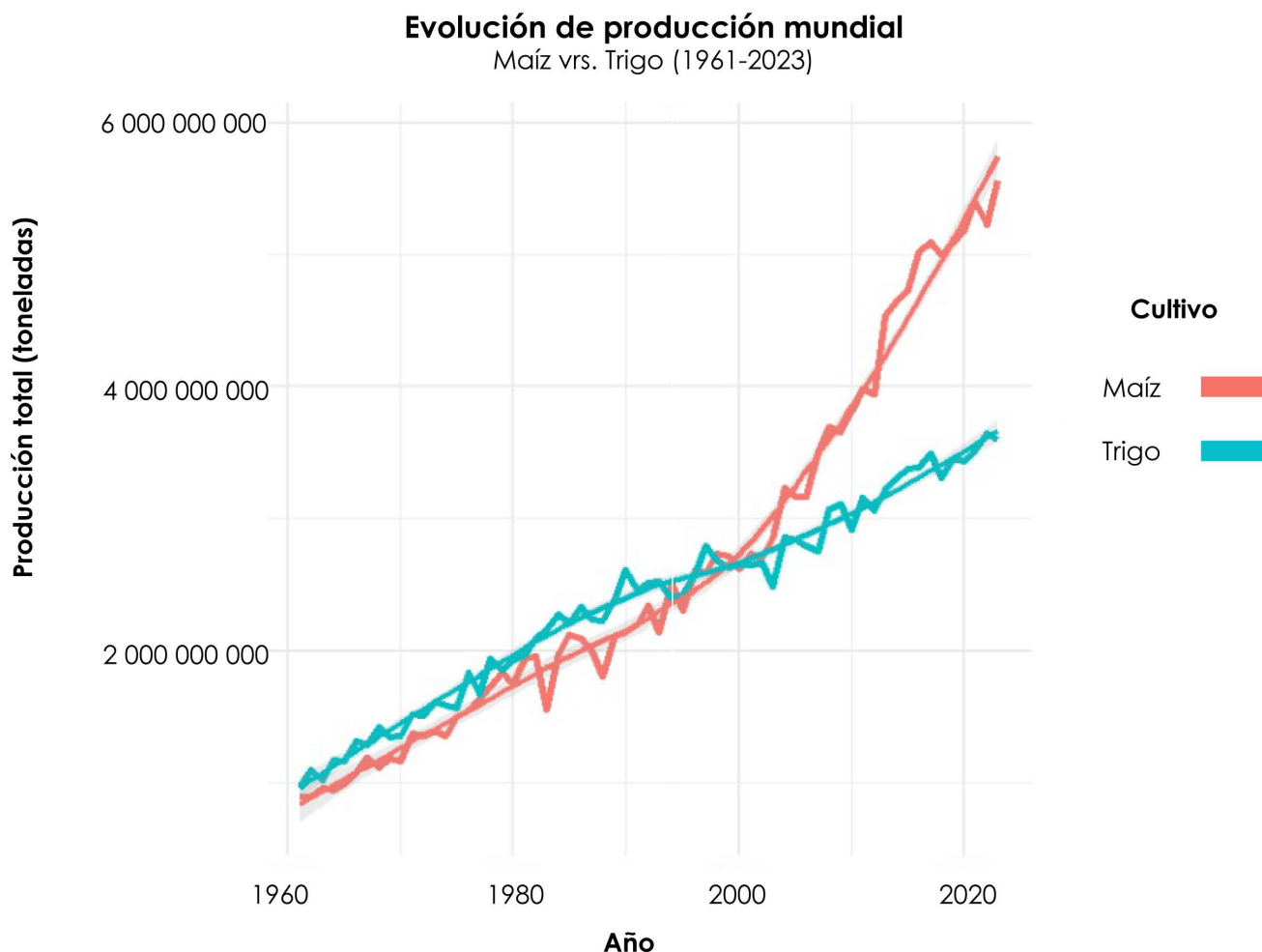
## Programación lineal en agricultura

La programación lineal es una herramienta clásica de la investigación de operaciones que permite resolver problemas de maximización o minimización bajo restricciones lineales. Su aplicación en agricultura se remonta a las décadas de 1950 y 1960, y desde entonces ha sido empleada para resolver problemas de asignación de tierras, rotación de cultivos, distribución de agua, mezcla de insumos y maximización de beneficios o rendimiento (Dantzig, 1963) .

En el presente estudio, se plantea un modelo de PL cuyo objetivo es maximizar la producción agrícola total considerando dos cultivos y una cantidad fija de superficie disponible. Las variables de decisión corresponden a las hectáreas a asignar a maíz y trigo, y los coeficientes de productividad se obtienen a 2 partir de los datos históricos promedio de rendimiento por hectárea. El modelo considera como restricción el área total disponible, lo que refleja un escenario típico en contextos rurales o de política pública.

**Figura 3.**

*Solución gráfica del modelo de programación lineal: combinación óptima de cultivo*



Nota. Elaboración propia a partir de datos de la FAO (2023).

La Figura 3 ilustra la solución gráfica del modelo de programación lineal implementado para maximizar la producción combinada de maíz y trigo bajo una restricción de superficie cultivable. El gráfico representa las regiones factibles delimitadas por las restricciones del modelo y destaca el punto óptimo de asignación de hectáreas para ambos cultivos. Esta solución permite tomar decisiones cuantificables sobre cómo distribuir los recursos disponibles, y demuestra cómo la matemática aplicada puede transformar problemas agrícolas en modelos resolubles y eficientes.

## Metodología

El estudio parte de la base de datos FAOSTAT de la Food and Agriculture Organization of the United Nations, específicamente del dominio Production de cultivos y productos pecuarios. El script descarga el archivo comprimido, lo descomprime y lee el conjunto principal en formato CSV. A continuación, se ejecuta una depuración que selecciona las variables país, producto, elemento, unidad y las columnas anuales. Para construir una serie temporal consistente, las columnas anchas de años se transforman a un formato largo con una fila por observación anual y se tipifican los campos como numéricos, eliminando valores perdidos. La tabla resultante contiene los campos año, país, producto, elemento y valor, lo que permite filtrar por magnitudes clave como producción y rendimiento. El origen y la semántica de las variables, así como las unidades de medida, provienen del diccionario de FAOSTAT y garantizan comparabilidad internacional de las cifras utilizadas en el análisis. (FAO, 2023)

La formulación de programación lineal tiene como objetivo maximizar la producción física combinando maíz y trigo bajo una dotación fija de tierra. Los coeficientes de productividad se estiman con el rendimiento promedio global de cada cultivo en hectogramo por hectárea a lo largo del periodo 1961 a 2023. Con los datos procesados se obtiene un rendimiento medio para maíz de 3153.335 Hg/Ha y para trigo de 2516.957 Hg/Ha. Las variables de decisión son las hectáreas asignadas a maíz y las hectáreas asignadas a trigo. Se impone un límite superior de superficie total disponible igual a 1,026,797 hectáreas y una restricción de diversificación que obliga a dedicar al menos 30% de la superficie al trigo. La función objetivo queda definida como  $Z = 3153.335 \cdot x_1 + 2516.957 \cdot x_2$  sujeta a  $x_1 + x_2 \leq 1,026,797$ ,  $x_2 \geq 308,039.1$  y no negatividad. El problema se resuelve con lpSolve y se valida con un gráfico de la región factible donde se visualizan los vértices y la recta de nivel que pasa por la solución óptima.

El componente de pronóstico utiliza Prophet para modelar la producción mundial anual de maíz. Se construye una serie agregada global con el elemento producción y se formatea como requiere el algoritmo con una columna de fecha ubicada el 1 de enero de cada año y una columna respuesta con la producción anual. Se

entrena el modelo sobre el histórico y se genera un horizonte de 10 años. Se obtienen valores ajustados, proyecciones y descomposición en componentes de tendencia y patrón anual. Para enriquecer la interpretación se derivan dos trayectorias.

La primera es el escenario esperado que corresponde a la proyección original del modelo. La segunda es un escenario optimista que incrementa en 10% la proyección. La integración entre la programación lineal y el pronóstico se realiza a través de una medida de eficiencia que expresa la producción histórica y proyectada como porcentaje de la producción máxima teórica que entrega el modelo de optimización. Todas las series y magnitudes utilizadas para el entrenamiento y la evaluación del pronóstico provienen del mismo repositorio estadístico internacional, lo que preserva coherencia de definiciones y unidades entre módulos del análisis. (FAO, 2023)

## Resultados

Los resultados del diagnóstico muestran diferencias claras entre los rendimientos de maíz y trigo. El maíz presenta un rendimiento promedio estimado de 3153.335 Hg/Ha, superior al del trigo, que es de 2516.957 Hg/Ha. Con un total de 1,026,797 hectáreas disponibles y una cuota mínima obligatoria del 30% para trigo, el modelo de programación lineal encuentra una solución óptima asignando 718,757.9 hectáreas a maíz y 308,039.1 a trigo. Esto produce un máximo teórico de 3,041,805,525 hectogramos, equivalente a 304,181 toneladas. Dado que el maíz rinde más, la geometría del problema empuja la solución hacia el vértice donde se cumple la restricción mínima para trigo y el resto de la tierra se dirige al cultivo más productivo.

El análisis temporal muestra un crecimiento sostenido de la producción de ambos cultivos desde 1961, con el maíz ampliando su ventaja desde finales de los años noventa. Las visualizaciones confirman este patrón: el mapa de calor evidencia el aumento progresivo de la producción de maíz por décadas, y la comparación de rendimientos explica la mezcla óptima cercana al 70% maíz y 30% trigo. El modelo Prophet reproduce correctamente la tendencia global y muestra un aumento más acelerado a partir de mediados de los 2000. Sus proyecciones iniciales indican

eficiencias entre el 28% y 35%, lo que sugiere que la producción histórica avanza gradualmente hacia el óptimo sin alcanzarlo dentro del horizonte analizado.

## Discusión

El resultado del módulo de optimización responde a la estructura de rendimientos observada en los datos. Cuando un cultivo presenta un rendimiento promedio superior, la pendiente de la recta de nivel de la función objetivo favorece su expansión hasta el punto en que otra restricción se vuelve vinculante. En este caso la única restricción adicional es la cuota mínima de 30% para trigo, por lo que la mezcla óptima queda anclada en ese límite. Esta combinación es robusta frente a variaciones en la superficie total, ya que un aumento de tierra desplaza el óptimo a lo largo de la misma dirección sin alterar la proporción 70% maíz y 30% trigo. La sensibilidad crítica reside en los coeficientes de rendimiento. Si el rendimiento de trigo se acercara al del maíz o lo superara, la solución podría migrar hacia un vértice con mayor participación de trigo. Por esa razón, para aplicaciones regionales o de corto plazo, conviene recalcular los rendimientos con ventanas recientes y, de ser posible, con datos específicos por país o región.

La métrica de eficiencia permite conectar el techo técnico simplificado con la trayectoria histórica y la proyección. Aunque el valor óptimo de 304,181 toneladas proviene de un ejercicio de maximización sin costos, sin precios y sin restricciones agronómicas más allá de la diversificación mínima, su uso como referencia ilustra dos ideas. Primero, el histórico de producción global de maíz muestra una tendencia de convergencia relativa, lo que sugiere que mejoras tecnológicas, cambios de área y prácticas de manejo han elevado de forma sostenida la productividad y el volumen. Segundo, el pronóstico mantiene esa inercia y, bajo el escenario optimista, acelera 10% adicional. Sin embargo, la ausencia de variables explicativas en Prophet implica que las proyecciones describen continuidad de patrones y no relaciones causales. Para decisiones de política o de inversión, la recomendación es combinar la programación lineal con una función objetivo de beneficio que incluya precios y costos, añadir restricciones de recursos como agua o requerimientos de rotación y estimar modelos con covariables climáticas y de área cosechada. Esta integración

permitiría pasar de un techo volumétrico a una frontera económicamente eficiente y ambientalmente factible.

El uso de FAOSTAT asegura consistencia de definiciones, cobertura global y trazabilidad temporal de las series. La uniformidad de unidades facilita la comparación cruzada entre rendimiento y producción y evita problemas de incompatibilidad al combinar módulos de optimización y de pronóstico. Esta decisión metodológica agrega transparencia y reproducibilidad al flujo analítico, ya que cualquier investigador puede replicar el pipeline de descarga, limpieza y modelado con el mismo repositorio internacional de referencia (FAO, 2023)

## Conclusiones

A partir del análisis desarrollado en esta primera etapa del trabajo, se concluye que la combinación de fuentes de datos abiertas y modelos cuantitativos ofrece un marco sólido para enfrentar los desafíos actuales de la planificación agrícola. El uso de (FAO, 2023) garantiza el acceso a datos fiables, comparables y de cobertura global, lo cual es fundamental para construir modelos robustos y extrapolables. El modelo Prophet permite capturar las dinámicas temporales complejas de la producción agrícola, generando proyecciones útiles para planificadores y tomadores de decisiones (Taylor & Letham, 2018).

Por otra parte, la formulación del modelo de programación lineal representa una herramienta eficaz para resolver problemas de asignación bajo restricciones, lo cual es especialmente relevante en agricultura, donde los recursos (tierra, agua, insumos) son escasos y las decisiones deben ser óptimas (Dantzig, 1963).

La integración del pronóstico de demanda o producción futura con la optimización de los recursos disponibles permite construir estrategias más coherentes, sostenibles y basadas en evidencia. En este contexto, la combinación del modelo Prophet con programación lineal aparece como una herramienta poderosa para planificar de manera estratégica en sectores caracterizados por alta incertidumbre, como la agricultura. Este enfoque ayuda a anticipar escenarios y a asignar recursos de forma que maximicen el rendimiento esperado.



La eficiencia relativa funciona como un puente entre los resultados del pronóstico y el límite técnico establecido por la optimización. Los hallazgos muestran que el óptimo del modelo lineal se mantiene fijado por la restricción de diversificación y favorece al cultivo con mayor rendimiento, en este caso el maíz, con una mezcla óptima cercana al 70%. Aunque este resultado es consistente, depende de los coeficientes de productividad, por lo que es necesario recalcularlos con datos actualizados para aplicaciones locales. Finalmente, aunque Prophet describe adecuadamente la tendencia general, su falta de causalidad sugiere que, para decisiones de política pública, la integración futura debería considerar modelos de optimización más completos que incluyan precios, costos y limitaciones agronómicas y climáticas, pasando así de un enfoque puramente volumétrico a uno económica y ambientalmente viable.

## Referencias

- Castillo, E., Delgado, O., de León, H., Escartin, L., Saéz, Y., & Collado, E. (2021). Mejoramiento del uso de suelo en la agricultura mediante herramientas basadas en optimización. *I+D Tecnológico*, 17(2), 41–48.  
<https://doi.org/10.33412/idt.v17.2.3144>
- Custodio, J. M., Billones, R. K., Concepcion, R., & Vicerra, R. R. (2024). Optimization of Crop Harvesting Schedules and Land Allocation Through Linear Programming. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 8(1), 123–134.  
<https://doi.org/10.1007/s41660-023-00357-4>
- Dantzig, G. B. (1963). *Linear programming and extensions*. Princeton University Press.
- Desai, M., & Shingala, A. (2023). Time Series Prediction of Wheat Crop based on FB Prophet Forecast Framework. *ITM Web of Conferences*, 53, 02014.  
<https://doi.org/10.1051/itmconf/20235302014>
- Esteso, A., Alemany, M. M. E., Ortiz, Á., & Iannaccone, R. (2022). Crop planting and harvesting planning: Conceptual framework and sustainable multi-objective optimization for plants with variable molecule concentrations and minimum

time between harvests. *Applied Mathematical Modelling*, 112, 136–155.  
<https://doi.org/10.1016/j.apm.2022.07.023>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *Crops and livestock products* [base de datos]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

Hunt, J., Rees, H. van, Hochman, Z., Carberry, P., Holzworth, D., Dalgliesh, N., Poulton, P., Rees, S. van, Huth, N., & Peake, A. (2006). *Yield Prophet ®: An online crop simulation service*. Proceedings of the 13th ASA Conference "Ground Breaking Stuff", January.

Ji, H., He, X., Wang, W., & Zhang, H. (2023). Prediction of Winter Wheat Harvest Based on Back Propagation Neural Network Algorithm and Multiple Remote Sensing Indices. *Processes*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/pr11010293>

Piedra Rivas, M. C., Banegas Campoverde, C. M., & Castillo Ortega, Y. (2021). Modelo de optimización de la cadena de distribución de la agricultura familiar campesina en las parroquias Quingeo y Santa Ana del Cantón Cuenca. *Conciencia Digital*, 4(2), 114–134.  
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i2.1630>

Rambauth Ibarra, G. E. (2022). Agricultura de Precisión: La integración de las TIC en la producción Agrícola. *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 3(1), 34–38. <https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.04>

Rodríguez, A. (2023). *Estrategias de desarrollo económico para el siglo XXI*. Editorial Académica.

Taylor, S. J., & Letham, B. (2018). Forecasting at scale. *The American Statistician*, 72(1), 37–45. <https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1380080>