

## **Modelos de optimización en la planeación de la producción: Tendencias de aplicaciones en el sector agroindustrial**

Angie del Rocio Sanchez Marquina<sup>1</sup> y Rocio Soledad Gutierrez Curo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Cercado de Lima, Perú

angie.sanchez4@unmsm.edu.pe, rgutierrezc1@unmsm.edu.pe

**Resumen.** En los últimos años, se ha observado una progresiva competitividad entre las empresas del sector agroindustrial debido a la creciente demanda de productos agroindustriales a nivel nacional e internacional, lo cual ha llevado a las empresas a adoptar modelos de optimización en la planeación de la producción que les ayude a afrontar sus problemas como costos elevados, bajo margen de ganancias, pérdida de clientes y capacidad ociosa.

Sin embargo, seleccionar el modelo más adecuado puede ser un desafío debido a la naturaleza de estos. Por ello, este estudio busca conocer las tendencias de aplicaciones de modelos de optimización que se utilizan en la planeación de la producción en el sector agroindustrial.

Para ello, se realizó una investigación sobre las tendencias de dichos modelos mediante bases de datos online de publicaciones científicas primarias indexadas y tesis de los últimos 10 años en idioma español, inglés y portugués. Los resultados muestran que se obtuvo un total de 240 publicaciones a las que se aplicó criterios de inclusión y exclusión, de las cuales el modelo de optimización más utilizado en este contexto es la Programación Lineal Entera Mixta.

**Palabras clave:** Planeación de la Producción, Modelos de Optimización, Agroindustrial, Agronegocio.

### **1 Introducción**

Actualmente, existe una gran demanda de alimentos por parte de la sociedad y aún, para el 2050, según [1] se espera que se requiera un 70% más de alimentos en comparación con el inicio del siglo. En ese sentido, el sector agroindustrial que representa el 16% del comercio mundial, ya ha experimentado un crecimiento importante en la demanda de productos agroindustriales, lo cual implica mayor competitividad entre las empresas del sector.

Según [2] debido al creciente nivel de competitividad, hoy en día en cualquier empresa del sector agroindustrial, ya sea grande o mediana que no cuente con una adecuada planeación y control de la producción, se enfrenta a problemas como capacidad ociosa, costos elevados, falta de insumos, pérdida de clientes, bajas ganancias, entre otros. Sin embargo, la planeación de la producción puede ser un desafío debido a las particularidades de los modelos de optimización que se emplean, por lo que conocer las tendencias de su aplicación puede ayudar a las empresas del sector a mantener su competitividad y mejorar su toma de decisiones.

En [3] hallaron que entre los modelos de optimización más utilizados en la planeación de la Producción están: Programación difusa, Programación Multiobjetivo, Programación Lineal, Programación Entera y Programación Lineal Entera Mixta en diversos sectores como: textil, automovilística, electrónica, mobiliario y moda. Sin embargo, esta investigación no analiza la literatura desde la perspectiva del sector agroindustrial. Además, según [4] a pesar del incremento de la investigación durante la última década, en el ámbito de la planificación de la producción en el sector agroindustrial, todavía es necesario realizar estudios sobre este campo con el fin de satisfacer la demanda y al mismo tiempo mejorar sus operaciones de producción.

Por ello, este estudio busca tiene como objetivo conocer las tendencias de aplicaciones de modelos de optimización que se utilizan en la planeación de la producción en el sector agroindustrial. Para ello, se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos online de publicaciones científicas primarias indexadas y tesis de los últimos 10 años en idioma español, inglés y portugués. Además, se señala oportunidades de investigación para ser consideradas en un futuro

Finalmente, la presente investigación se divide en 4 secciones: En la sección 2, se realiza una revisión general de las bases teóricas. En la sección 3, se describe la metodología de investigación utilizada en este estudio. En la sección 4, se muestran los resultados de la selección de las investigaciones y en la sección 5, se discuten los resultados y se presentan las conclusiones de la investigación.

## **2 Referencial teórico**

En esta sección se presenta información preliminar para entender el contexto de la investigación. Se inicia con una descripción de la planeación de la producción y su relevancia en las empresas, seguido de una explicación de los modelos de optimización en la producción y su relación con el sector agroindustrial.

En las últimas décadas, gracias al interés del sector empresarial y la comunidad científica, los modelos de optimización en la planeación de la producción han mostrado un crecimiento significativo [3]. En este contexto, la planeación de la producción es una tarea esencial en cualquier industria, y más aún en las empresas del sector agroindustrial, puesto que les permite equilibrar los niveles de producción y las restricciones de capacidades para satisfacer la demanda. Además, les permite mejorar sus operaciones de producción, reducir costos e incrementar su competitividad.

En [5], se afirma que la planeación de la producción brinda una guía sobre los objetivos a alcanzar en la producción, además de los modelos y recursos necesarios para llevarlos a cabo. Además, implica seleccionar la alternativa óptima que permita obtener mayores beneficios. Sin embargo, en [6] sostienen que la planeación de la producción adecuada puede ser muy compleja debido a que se debe tener en cuenta factores como mano de obra, cantidad de productos, materia prima, demanda, entre otros.

Según [7], los modelos de optimización matemática pueden ser muy útiles para enfrentar desafíos en la planeación de la producción. En consecuencia, es posible utilizar modelos de optimización cuantitativos tales como la programación matemática para formular planes de producción. En este sentido, [8] indica que la adopción cada vez más amplia de sistemas de producción intensivos ha impulsado al desarrollo de modelos de planeación de la producción más estructurados basados en la construcción y análisis de modelos matemáticos.

Según [4], los modelos de optimización se han utilizado ampliamente para proporcionar información a los responsables de la toma de decisiones sobre cuestiones relacionadas con la planificación de la producción en las cadenas de suministro agroalimentarias. Además, durante la última década, se ha dedicado una cantidad significativa de investigación al desarrollo de modelos de optimización para apoyar a los tomadores de decisión en la cadena de suministro agroalimentaria.

Por tanto, los modelos de optimización como herramientas de planificación de la producción son indispensables para las empresas del sector agroindustrial, ya que les permite mantener su competitividad y mejorar su toma de decisiones en sus operaciones de producción. Es así como, [9] afirma que la planificación de la producción en los sistemas agroalimentarios se ocupa de la asignación y utilización de los recursos limitados para satisfacer la demanda. Sin embargo, según [10] uno de los desafíos clave en la planeación de la producción en el sistema agroalimentario es abordar la demanda con una asignación mínima de recursos limitados para lograr el máximo beneficio.

El sector agroindustrial como parte del sistema agroalimentario debe enfrentar el desafío de satisfacer la creciente demanda de alimentos a nivel global de manera sostenible. Aparte de esto, la globalización y la urbanización están provocando una rápida transición dietética desde el consumo de alimentos frescos al consumo de alimentos procesados [11]. Esto ha llevado a la agro industrialización, en la que los cultivos cosechados se transforman en productos agroindustriales. Estos productos agroindustriales son obtenidos por las industrias alimentarias para fabricar productos alimenticios de consumo envasados [10].

### **3 Metodología**

En esta sección, se describe el proceso de búsqueda y selección de las investigaciones científicas relevantes de la literatura. Se inicia con la definición de palabras clave, seguido de la selección de bases de datos, además se explican los criterios de inclusión y exclusión utilizados para la selección de las investigaciones. Finalmente, se detallan las consultas en la literatura.

A partir de lo explicado en la sección anterior, el alcance de la investigación es descriptiva con diseño no experimental de tipo transversal. De esta manera, en este estudio se investiga las tendencias de aplicaciones en la literatura para responder a la pregunta ¿Qué modelos de optimización se utilizan para la planeación de la producción en el sector agroindustrial?

#### **3.1 Definición de palabras clave**

Las investigaciones científicas recolectadas se ajustan a los siguientes términos de búsqueda en español: Planeación de la Producción, Modelo de Optimización, Mezcla de productos, Agroindustrial, Agronegocio. Asimismo, se consideraron los siguientes términos de búsqueda en inglés: Production planning, Optimization Model, Product Mix, Agroindustry, Agribusiness.

Además, se incorporó a la búsqueda, operadores booleanos como “AND” y “OR”, por lo que la cadena de búsqueda en español en las bases de datos digitales fue: (“Planeación de Producción”) OR (“Modelo de Optimización”) OR (“Mezcla de productos”) AND (“Agroindustrial”) OR (“Agronegocio”). Por otro lado, la cadena de búsqueda en idioma inglés fue: (“Production Planning”) OR (“Optimization Model”) OR (“Product mix”) AND (“Agroindustry”) OR (“Agribusiness”).

#### **3.2 Selección de bases de datos**

La búsqueda se realizó entre publicaciones científicas indexadas y tesis almacenadas en bases de datos. Las bases de datos seleccionadas en este estudio fueron cuatro: SCOPUS, Web Of Science (WOS), SPRINGER y Acceso Libre a Información Científica para la Innovación (ALICIA), desde 2012 al 2022. Estas bases de datos fueron consideradas debido a que presentaban una mayor cantidad de investigaciones relacionadas a la planeación de la producción en el sector agroindustrial.

#### **3.3 Definición de criterios de inclusión y exclusión**

Para realizar las consultas en la literatura, se definió criterios de inclusión y exclusión con el fin de seleccionar las investigaciones más relevantes para este estudio. En la Tabla 1 se presentan los criterios de inclusión y exclusión utilizados para la búsqueda bibliográfica del presente artículo.

**Tabla 1.** Tabla de criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión	Criterios de Exclusión
- Estudios primarios	- Estudios secundarios
- Artículos y tesis disponibles online.	- Artículos y tesis que no estén disponibles online.
- Utilizar o proponer modelos matemáticos de programación lineal. - Se incluyen estudios en tres idiomas: inglés, portugués y español. - Se incluyen estudios desde el 2012 al 2022.	- Artículo cuyo idioma no es el inglés, portugués o español. - Se excluyen los estudios duplicados. - Artículo corto (<4 páginas). - No utiliza herramientas de Investigación Operativa. - Estudios no relevantes para la investigación - Artículo con más de 10 años de antigüedad (antes del 2012).

### 3.4 Consultas en la literatura científica

La cadena de búsqueda definida se ajustó a los formatos de cada base de datos, obteniendo un total de 240 investigaciones a revisar. En la Tabla 2 se observa que, se encontró 42 en SCOPUS, 38 en Web Of Science, 37 en ALICIA y 123 en SPRINGER, además, se muestra el detalle de la cadena de búsqueda por cada base de datos y la fecha en que realizó dichas búsquedas.

**Tabla 2.** Tabla de consultas

Base de datos	Cadena de búsqueda	Resultado	Fecha de búsqueda
<b>SCOPUS</b>	Title, Abs, Key: (“Production Planning” OR “Optimization Model” OR “Product mix”) AND (Agroindustry OR Agribusiness)	42	29/11/2022
<b>WOS</b>	Topic: (“Production Planning” OR “Optimization Model” OR “Product mix”) AND (Agroindustry OR Agribusiness)	38	21/11/2022
<b>ALICIA</b>	Título, contenido: (“Planeación de la Producción” OR “Modelo de Optimización” OR “Mezcla de productos”) AND (Agroindustria OR Agronegocio)	37	22/11/2022
<b>SPRINGER</b>	Title, content: (“Production Planning” OR “Optimization Model” OR “Product mix”) AND (Agroindustry OR Agribusiness)	123	21/11/2022
Total		240	

### 3.5 Conducta de búsqueda:

Para la selección de las investigaciones, se aplicaron dos filtros, en primer lugar, se excluyeron estudios con más de 10 años de antigüedad, que no se encontraran en idioma inglés, portugués o español, duplicados y aquellos que no eran de libre acceso online. En segundo lugar, con la lectura de las publicaciones se excluyó estudios secundarios, artículos cortos e investigaciones no relevantes para el estudio.

A continuación, se detalla los filtros utilizados para la selección de las investigaciones en cada una de las bases de datos:

- SCOPUS: Como primer filtro (1F), se seleccionaron los artículos publicados del año 2012 al año 2022, cuyo idioma sea el español, inglés y portugués. Como segundo filtro (2F), dichas publicaciones se sometieron a lectura y análisis del título, resumen y contenido.
- WOS: Como primer filtro (1F), se seleccionaron los artículos publicados del año 2012 al año 2022 en idioma inglés. Como segundo filtro (2F), las publicaciones se sometieron a lectura de título, resumen y contenido.
- ALICIA: Como primer filtro (1F), se seleccionaron las tesis disponibles online publicadas del año 2012 al año 2022, en idioma español. Luego, como segundo filtro (2F), se sometieron a lectura de título, resumen y metodología.
- SPRINGER: Como primer filtro (1F), se seleccionó estudios publicados del año 2012 al año 2022 en idioma inglés. Luego, como segundo filtro (2F), se sometieron a lectura de título, resumen y contenido

A partir de la aplicación de los filtros en cada base de datos se obtuvo 1 artículo en SCOPUS, 2 artículos en WOS, 3 tesis en ALICIA y 4 artículos en SPRINGER. En la Fig N° 1 se muestra el resultado de la aplicación de los filtros, para cada una de las bases de datos.

### 3.6 Definición de criterios de análisis:

Para realizar el análisis de los trabajos seleccionados se definió una serie de criterios, los cuales se utilizaron como guía para caracterizar y comparar las investigaciones entre sí.

A continuación, se detalla los criterios de análisis empleados para la caracterización de las investigaciones:

- Tipo de investigación: Se señaló el tipo de investigación, ya sea tesis o artículos con el fin de comparar las tendencias de aplicaciones entre ellos.
- Año de publicación: Se indicó el año de las publicaciones para establecer un contexto temporal y evaluar la evolución del tema de interés a lo largo del tiempo.
- Modelo de optimización: Se precisó el modelo de optimización utilizado en las investigaciones para conocer cuáles son modelos que se utilizan en la planeación de la producción y cuál es el más utilizado.

Por otro lado, los siguientes criterios fueron utilizados para realizar una comparación entre las investigaciones seleccionadas:

- Problema: Se señaló cual es el problema que afronta la investigación para comprender los problemas específicos resueltos en estos estudios.
- Objetivo: Se precisó el objetivo de las investigaciones con el fin de conocer si hay un enfoque en común entre estas investigaciones.
- Resultados: Se indicó los resultados obtenidos en cada una de las investigaciones para comparar los hallazgos obtenidos por los diferentes autores.

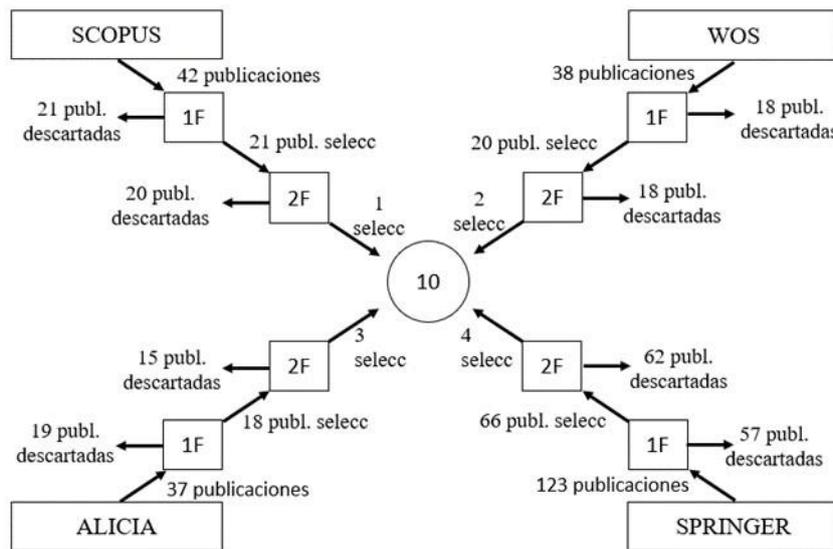


Fig 1. Proceso de filtros en la selección de investigaciones

## 4 Análisis de resultados

En esta sección se presentarán los resultados de las tendencias de aplicaciones en el sector agroindustrial aplicando modelos de optimización en la planeación de la producción. En primer lugar, se llevó a cabo una caracterización de las investigaciones seleccionadas. Seguidamente, se realizó una comparación entre estas investigaciones con el fin de responder al objetivo planteado en este estudio.

### 4.1 Resultados de la búsqueda

Como resultado de la búsqueda de investigaciones en las bases de datos, se obtuvo un total de 10 estudios primarios publicados en el periodo de tiempo de 2012 a 2022. En la Tabla 3 se puede visualizar el material de análisis, el cual fue organizado de acuerdo

con el tipo de investigación, año de publicación, país – ciudad y modelo de optimización.

**Tabla 3.** Tabla de caracterización de las investigaciones seleccionadas

Referencia	Tipo	Año	País - Ciudad	Modelo de Optimización
[12]	Artículo	2022	Indonesia	Programación Lineal Entera Mixta
[13]	Artículo	2020	Brasil - Rio Largo	Programación Lineal Entera Mixta
[14]	Artículo	2020	Emiratos Árabes Unidos - Abu Dhabi	Programación Lineal
[6]	Tesis	2017	Perú - Lambayeque	Programación Lineal Entera
[15]	Tesis	2021	Perú - Lambayeque	Programación Lineal
[16]	Tesis	2022	Perú - Lambayeque	Programación Lineal
[17]	Artículo	2016	España - Cataluña	Programación Estocástica
[18]	Artículo	2018	Londres - Cambridge	Programación Lineal Entera Mixta
[19]	Artículo	2014	España	Programación Lineal Entera Mixta
[20]	Artículo	2021	Chile	Programación Lineal Entera Binaria

Con respecto al tipo de investigaciones recolectadas, se evidencia que los artículos predominan sobre las tesis, es decir, la mayor cantidad de investigaciones son artículos frente a las tesis que representan la menor cantidad de investigaciones. Además, el modelo de optimización más utilizado en las tesis es la Programación Lineal, mientras que el modelo de optimización más utilizado en los artículos científicos es la Programación Lineal Entera Mixta.

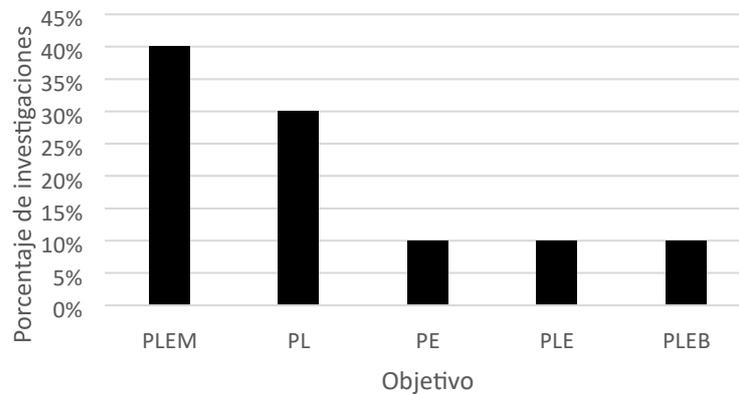
Seguidamente, con respecto al año de publicación de las investigaciones, en la Fig 3 se muestra el porcentaje de investigaciones de acuerdo con el año en que se publicaron.



**Fig 3.** Cantidad de Investigaciones de acuerdo con el año de publicación

En la Fig 3, se evidencia que estos estudios son recientes. Asimismo, se podría decir que la cantidad de estudios primarios va en aumento ya que la mayor cantidad de investigaciones se publicaron dentro del rango de los últimos tres años (2020-2022), mientras que las demás investigaciones se publicaron en años inferiores (2014-2018).

Por otro lado, con respecto a los modelos de optimización utilizados en las investigaciones, en la Fig 4 se muestra el porcentaje de estudios primarios de acuerdo con el modelo de optimización de utilizan.



**Fig 4.** Porcentaje de Investigaciones de acuerdo con el modelo de optimización

Nota: PLEM: Programación Lineal Entera Mixta, PL: Programación Lineal, PE: Programación Estocástica, PLE: Programación Lineal Entera, PLEB: Programación Lineal Entera Binaria.

Como se puede visualizar en la Fig 4, se pudo identificar que el modelo de optimización más utilizado en las publicaciones seleccionadas es la Programación Lineal Entera Mixta (40%), ya sea para optimizar el nivel de productividad, maximizar

beneficios o minimizar costos. Además, en cuanto al país en el que se desarrollaron las investigaciones, se observa que la Programación Lineal Entera Mixta fue aplicada en el contexto de la planeación de la producción en países como Indonesia, Brasil, Londres y España. Esto, seguido de la programación Lineal aplicada en Perú y Emiratos Árabes Unidos.

A partir de los resultados se encontró que los modelos de optimización que se utilizan para la planeación de la producción en el sector agroindustrial son la Programación Lineal, Programación Lineal Entera, Programación Lineal Entera Mixta, Programación Entera Binaria y Programación Estocástica.

#### 4.2 Resultados de estudios individuales

Con respecto a la comparación entre las investigaciones seleccionadas, en la Tabla 4 se muestra los hallazgos individuales de acuerdo con el modelo de optimización, problema afrontado, objetivo y resultados de cada investigación.

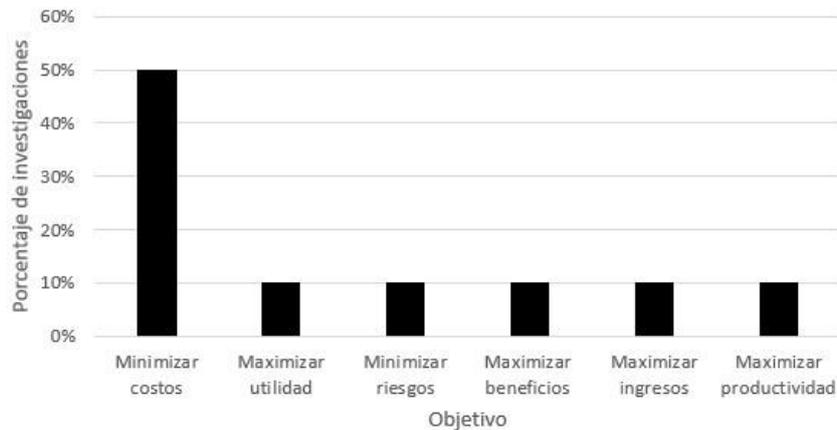
**Tabla 4.** Tabla de hallazgos individuales

Ref	Problema	Modelo de Optimización	Objetivo	Resultados
[12]	Inadecuado plan de producción y distribución	Programación Entera Mixta Difusa	Elaborar un plan de producción y distribución para la cadena de suministro de camarones, minimizar costos y maximizar el nivel de servicio.	La mejor solución permite optimizar los costos a 267,938,562,000 IDR y 1,487,944.40 kg en nivel de servicio
[13]	Inadecuada planeación de producción reflejado en la insatisfacción de la demanda	Programación lineal Entera Mixta	Elaborar un plan de producción para maximizar beneficios, primer nivel: niveles de producción, segundo nivel: selección de procesos y compra de materia prima	Incremento de 0.5% en los beneficios de la empresa
[14]	Inadecuado plan de producción de hortalizas de invernadero	Programación Lineal	Elaborar un plan de producción que minimice riesgos	Reducción de riesgos en 0.2%

[6]	Baja productividad en el área de producción	Programación Lineal Entera	Elaborar un plan y programa de producción de azúcar, para mejorar la productividad en el área de elaboración.	Aumento de la productividad en un 11.61%
[15]	Inadecuada planeación de la producción	Programación Lineal	Elaborar un plan de producción para optimizar costos de producción	Reducción de costos de horas extras en un 39%
[16]	Inadecuada planeación de la producción	Programación Lineal	Planear la producción para maximizar la utilidad de la empresa	Incremento de 5.63 % en el margen de utilidad de la empresa
[17]	Plan de producción inadecuado.	Programación Estocástica	Seleccionar un conjunto de fincas de producción de hortalizas para minimizar costos totales	Se minimiza el costo total en 132.973 euros
[18]	Inadecuado plan de producción de semillas	Programación lineal entera mixta	Elaborar un plan de producción de semillas para minimizar costos	Reducción de 16 % del costo total y de 9 % en el costo de uso de la tierra
[19]	Inadecuado plan de producción reflejado en altos costos de producción	Programación Lineal Entera Mixta	Elaborar un plan de producción para minimizar costos de insumos	Reducción de costos de insumos de producción en 6.57%
[20]	Inadecuada planificación de cultivos	Programación Lineal Entera Binaria	Elaborar un plan de cultivos para maximizar ingresos, sujeto a restricciones de zonificación	Mejora promedio de 6% en los ingresos

En la Tabla 4 se observa que la mayor cantidad de investigaciones afronta el problema de un inadecuado plan de producción, seguido del problema de la baja productividad, esto reflejado en los altos costos de producción, insatisfacción de la demanda o bajo margen de ganancias.

Por otra parte, con respecto al objetivo de las investigaciones, en la Fig 5 se muestra el porcentaje de investigaciones de acuerdo con el objetivo del modelo de optimización que utilizaron.



**Fig 5.** Porcentaje de Investigaciones de acuerdo con el objetivo del modelo

Según se muestra en la Fig 5, la mayoría de ellas se enfocaron en minimizar costos, seguido de aquellas que se enfocaron en maximizar utilidades, minimizar riesgos, maximizar beneficios o ingresos.

Además, a partir del análisis de los principales resultados de cada investigación, detallados en la Tabla 4, se encontró que los estudios que aplican modelos de optimización de costos con Programación Lineal o Programación Lineal Entera Mixta obtienen una reducción de costos superior al 5%. Mientras que aquellos que aplican Programación Lineal Entera o Programación Lineal para optimizar beneficios, obtienen un incremento superior al 0.5% en las utilidades.

## 5 Discusión y conclusiones

A partir del análisis de los estudios incluidos en esta revisión se evidencia que los modelos de optimización que se utilizan para la planeación de la producción en el sector agroindustrial son la Programación Lineal, Programación Lineal Entera, Programación Lineal Entera Mixta, Programación Entera Binaria y Programación Estocástica. Asimismo, se pudo identificar que el modelo de optimización más utilizado en este contexto es la Programación Lineal Entera Mixta.

Esto coincide con la revisión de [4], quienes encontraron que la Programación Lineal Entera Mixta es el modelo de optimización más utilizado en la Planeación de la Producción en las cadenas de suministro agroalimentarias. Por otro lado, los resultados encontrados en esta investigación son similares a los encontrados en [21] donde encontraron que MILP y LP son los enfoques dominantes de modelado y optimización para la planificación en los agronegocios. Sin embargo, difiere de lo encontrado en [3],

donde hallaron que la programación difusa y la programación multiobjetivo son los enfoques más utilizados, seguidos de la Programación Lineal, Programación Entera y Programación Entera Mixta.

Finalmente, se sugiere como trabajo futuro, explorar criterios de análisis adicionales tales como la cantidad de productos, horizonte de tiempo y método de solución como heurísticas o método exacto. Además, sería relevante analizar la eficiencia de estos modelos en diferentes países y contextos ya que puede haber variaciones en los resultados debido a factores tecnológicos o sistemas de mercado.

## Referencias Bibliográficas

1. N Alexandratos, "How to feed the world in 2050" in Proceedings of a Technical Meeting of Experts, Roma, 2009, pp. 1–32.
2. J. C. Amado y J. M. Castilla, "Implementación de un modelo de planificación y control de la producción en una empresa agroindustrial, mediante la aplicación de herramientas de manufactura esbelta" Tesis de grado, Universidad Antonio Ruiz de Montoya, Lambayeque, Perú, 2019
3. M. Demartini, F. Tonelli, M Pacella y Papadia, G.: A Review of Production Planning Models: Emerging features and limitations compared to practical implementation. *Procedia CIRP*, 2, 588-593 (2021).
4. T. Taşkıner y B. Bilgen.: Optimization Models for Harvest and Production Planning in AgriFood Supply Chain: A Systematic Review. *Logistics*, 5(3), 1-27 (2021).
5. O. Solaja, J. Abiodun, M. Abioro, J. Ekpudu, y O. Olasubulumi.: Application of linear programming techniques in production planning. *Int. J. Appl. Oper. Res* 2019, 9(3), 11-19 (2019).
6. M. Monja y M. Sedán.: "Aplicación de Programación Lineal en la Planeación y Programación de la Producción de azúcar para mejorar la productividad de la empresa agroindustrial Pomalca S.A.A.", Tesis de Grado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, 2016.
7. E. dos S. Teixeira, S. Rangel, H. de O. Florentino, y S. A. de Araujo.: A review of mathematical optimization models applied to the sugarcane supply chain. *Intl. Trans. in Op. Res.*, 30(4), 1755-1788 (2023).
8. Rajni Jain, L Malangmeih, S S Raju, S K Srivastava, Kingsly Immaneulraj y Amrit Pal Kaur.: Optimization techniques for crop planning: A review. *Indian J. Agricultural Sci*, 88(12), 1826–35 (2018).
9. N.A. Sofi, A. Ahmed, M. Ahmad y B.A. Bhat.: Decision making in agriculture: a linear programming approach. *Int. J. Modern Math. Sci.*,13(2), 160–169 (2015).
10. Rajakal, J.P., Tan, R.R., Andiappan, V. et al.: A Hybrid Optimisation Model for Land Allocation and Storage Sizing in Agro-Food System. *Process Integr Optim Sustain*, 5(4), 729–743 (2021).
11. P Liu.: "The future of food and agriculture: trends and challenges", Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.
12. L. Herlina, M. Machfud, E. Anggraeni, y S. Sukardi.: An Integrated Production and Distribution Planning Model in Shrimp Agroindustry Supply Chain. *Ind. Eng. & Manage. Syst.*, 21(1), 1-19 (2022).

13. R. P. Paiva, C. D. Rocco, y R. Morabito.: A hierarchical supply chain model for the sugar–alcohol energy sector with robust optimization analysis. *Int Trans Operational Res*, 30(4), 1789-1818 (2023).
14. E. Fathelrahman, M. Gheblawi, S. Muhammad, E. Dunn, J. C. Ascough, y T. Green.: Optimum Returns from Greenhouse Vegetables under Water Quality and Risk Constraints in the United Arab Emirates. *Sustainability*, 9(5), 719 (2017).
15. V. Cieza.: “Planeación de la Producción aplicando Programación Lineal para la optimización de costos en la empresa Producciones Nacionales TC E.I.R.L.”, Tesis de Grado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Perú, 2021.
16. J. Collantes y E. Liza.: “Aplicación de la programación lineal para maximizar la utilidad de una empresa molinera lambayecana, 2020”, Tesis de Grado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Perú, 2022.
17. J. Mateo, L. M. Pla, F. Solsona, y A. Pagès.: A production planning model considering uncertain demand using two-stage stochastic programming in a fresh vegetable supply chain context. *SpringerPlus*, 5(1), 1-16 (2016)
18. Y. Zhu, N. Shah, G. Carré, S. Lemaire, E. Gatignol, y P. M. Piccione.: Continent-wide planning of seed production: mathematical model and industrial application. *Optim Eng*, 20(3), 881-906 (2019).
19. S. Lozano.: Company-wide production planning using a multiple technology DEA approach. *Journal of the Operational Research Society*, 65(5), 723-734 (2014).
20. V. M. Albornoz y G. E. Zamora.: Decomposition-based heuristic for the zoning and crop planning problem with adjacency constraints. *TOP*, 29(1), 248-265 (2021).
21. P. Paam, R. Berretta, M. Heydar, R. H. Middleton, R. García-Flores, y P. Juliano.: Planning Models to Optimize the Agri-Fresh Food Supply Chain for Loss Minimization: A Review. *Reference Module in Food Science*, 19-54 (2016)