



ARTÍCULO ORIGINAL

<https://doi.org/10.30545/academo.2026.n2.1415>

Programación lineal en la siembra de girasol, ajonjolí y de sorgo en Agrícola Olivo, C.A.

Linear programming in the planting of sunflower, sesame and sorghum at Agrícola Olivo, C.A.

Amaire Mora Guerrero¹ , Alberto Cadevilla Soto¹ , Adolfo Paredes Bastidas¹

¹ Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Guanare, Portuguesa, Venezuela. <https://ror.org/04382kq29>

Resumen

Determinar los beneficios del uso de la programación lineal y el análisis post-optimal en la mejora de recursos operativos, además de la maximización del beneficio económico de la Unidad de Producción Agrícola Olivo, C.A., a través de la distribución eficiente de la superficie de siembra de girasol, ajonjolí y sorgo. Esto llevó a estudiar los efectos de la integración tanto de la programación lineal como del análisis post-optimal en el afinamiento de recursos en la Unidad de Producción Agrícola Olivo, C.A. Metodológicamente, se recolectaron datos de rendimiento e inversión mediante una entrevista al productor y se diseñó un modelo matemático de maximización ejecutado con el software WinQSB. Los resultados demostraron que la solución óptima inicial exige la siembra de 48 hectáreas de girasol, 36 de ajonjolí y 6 de sorgo; con ello se maximiza la ganancia a 6.621.469,00 Bs. en las 90 hectáreas cultivadas, satisfaciendo la totalidad de las restricciones operativas. La modelación matemática es una herramienta gerencial estratégica que mitiga el riesgo y la incertidumbre, proveyendo certezas científicas para la toma de decisiones en la gestión de la producción agrícola.

Palabras clave: Modelos matemáticos, gestión agrícola, toma de decisiones, producción agrícola, asignación de recursos.

Abstract

This study aimed to determine the benefits of using linear programming and post-optimal analysis to improve operational resources and maximize the economic benefit of the Olivo Agricultural Production Unit, C.A., through the efficient distribution of sunflower, sesame, and sorghum planting areas. This led to an investigation of the effects of integrating both linear programming and post-optimal analysis on resource optimization at the Olivo Agricultural Production Unit, C.A. Methodologically, yield and investment data were collected through an interview with the producer, and a mathematical maximization model was designed and implemented using WinQSB software. The results showed that the initial optimal solution requires planting 48 hectares of sunflower, 36 hectares of sesame, and 6 hectares of sorghum; this maximizes profit to Bs. 6,621,469.00 across the 90 cultivated hectares, satisfying all operational constraints. Mathematical modeling is a strategic management tool that mitigates risk and uncertainty, providing scientific certainty for decision-making in agricultural production management.

Keywords: Mathematical models, agricultural management, decision-making, agricultural production, resource allocation.

Correspondencia: Amaire Mora Guerrero (amairemora@gmail.com).

Artículo recibido: 10 de octubre de 2025. Aceptado para publicación: 3 de agosto de 2026. Publicado: 21 de agosto de 2026.

Conflictos de Interés: Los autores declaramos no tener ningún conflicto de intereses en relación con este manuscrito.

Fuente de financiamiento: Los autores declaramos que los recursos para realizar la investigación son propios.

Editor responsable: Herib Caballero Campos . Universidad Americana. Asunción, Paraguay.

Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una Licencia Creative Commons.

Página web: <http://revistacientifica.uamericana.edu.py/index.php/academo/>

Introducción

La agricultura es entendida, explica el Diccionario de la Lengua Española (Real Academia Española, 2024), como el “conjunto de técnicas y conocimientos relativos al cultivo de la tierra.” (párr. 2). Representa una de las actividades más significativas y de mayor impacto para el afianzamiento del hombre como ser social y cultural; su surgimiento se asocia con el paso del nomadismo al establecimiento de los primeros asentamientos humanos, al desarrollo de los pueblos y de la cultura. Más recientemente, la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) en el año 2024, afirman que la agricultura es una actividad económica, social y ambiental primordial para el hombre; le procura alimentos, vestido, vivienda, esparcimiento, así como, desarrollo humano, económico y social. Es importante acotar que las dinámicas que genera el desarrollo agrario actual demandan un cambio inmediato hacia la sostenibilidad y la seguridad alimentaria global frente al cambio climático, llevando a los productores agrícola a implementar sistemas de gestión de precisión fundados en la *big data* (Benini et al., 2025; Castillo Ortiz et al., 2025).

Las características inherentes de la producción agrícola tienden a comprometer de manera directa su productividad, competitividad y rentabilidad en el mercado global (OCDE/FAO, 2024). Entre estos factores condicionantes destaca la estacionalidad, dado que los periodos de siembra y cosecha se asocian de manera irreductible con los ciclos vegetativos y las variaciones climáticas anuales (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2016), que, aunque se pueden contrarrestar con el uso de tecnologías, es más rentable aprovechar las bondades naturales para producir unos u otros cultivos ajustados a cada ciclo.

A lo anterior, se agrega que la dispersión geográfica característica de las zonas rurales incrementa considerablemente los costes de logística, almacenaje, transporte y distribución comercial; es necesario incluir el riesgo multidimensional, así como la incertidumbre biológica –nacida de plagas o de

volatilidades ambientales–, que terminan generando fluctuaciones dramáticas en los rendimientos y la calidad de la cosecha (SADER, 2016; OCDE/FAO, 2024). Investigaciones recientes argumentan que la relación entre inestabilidad de los precios de mercado y eventos climáticos extremos demandan optar por enfoques proactivos capaces de predecir escenarios adversos antes de que afecten la viabilidad financiera de las fincas (Liu & Hu, 2025; Wang et al., 2025).

De ahí la importancia de la programación lineal como técnica de modelado matemático que, en palabras de Ramírez et al., (2022), busca “obtener una respuesta a los problemas que implican la toma de decisiones que enfrentan los empresarios, considerándola una herramienta clave para las organizaciones en la reducción de costos y maximización de rentabilidad económica.” (p. 3), caso de la agricultura y su producción. La programación lineal metodológicamente busca orientar el proceso de toma de decisión en cuanto la distribución o asignación de, aclaran González y García (2015), “una cantidad fija de recursos a la satisfacción de varias demandas, de tal forma que mientras se optimiza un objetivo, se satisfacen otras condiciones definidas.” (p.18) Estudios aplicados dan cuenta que la modelación lineal destaca en las decisiones fundadas en la intuición o en la heurística tradicional, alcanzando márgenes de rentabilidad superiores a 12% con una distribución concreta de superficies cultivables por hectárea (Sandmann et al., 2025).

Es importante indicar que, el análisis post-optimal y los modelos estocásticos sustentan y fortalecen la resiliencia del sector agrícola bajo el principio *ceteris paribus* –modificando una variable a la vez–, dando la oportunidad al decisor de evaluar la sensibilidad del sistema ante las variaciones financieras o técnicas externas (Alvarado-Boirivant, 2013; Wang et al., 2025). La gestión de las Unidades de Producción Agrícola (UPA) contemporáneas trae aparejada la complejidad computacional y esta, a su vez, implica matrices algorítmicas; por lo cual se justifica la incorporación de herramientas tecnológicas avanzadas y paquetes informáticos de investigación operativa: LINGO o WinQSB (Universidad de Valencia, 2010; Sandmann et al., 2025). El WinQSB (por sus siglas en inglés, *Quantitative Systems for*

Bussiness), es “un sistema interactivo de ayuda a la toma de decisiones que contiene herramientas muy útiles para resolver distintos tipos de problemas en el campo de la investigación operativa.” (Universidad de Valencia, 2010, p. 1)

A la par de este marco científico, la investigación da cuenta de modo práctico de la optimización operativa de la UPA Agrícola Olivo, C.A., una empresa de 90 hectáreas de superficie localizada en el municipio Turén del estado Portuguesa, Venezuela. La gerencia administrativa se ve ante la necesidad de calcular la distribución anual idónea de tierras destinadas a los cultivos de girasol (*Helianthus annuus*), ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.) para maximizar su beneficio económico.

El modelo matemático de maximización utiliza los coeficientes técnicos recogidos en la entrevista de campo realizada el 25 de febrero de 2025 al productor Alfredo Aguin, miembro de la Asociación de Productores Rurales de Turén (ASOPRUAT), Propietario y administrador de Agrícola Olivo C.A.

- Ajonjolí (variedad FONUCLA) reporta un rendimiento de 450 kg/ha y una inversión de Bs. 3.900,00;
- Girasol (variedad Charrúa) rinde 500 kg/ha con un coste de Bs. 1.100,00;
- Sorgo (variedad híbrida) genera 2.700 kg/ha con un requerimiento de Bs. 1.014,00.

El entorno operacional está limitado a de Bs. 200.000,00 neto, proveniente de financiamiento privado. Los precios comerciales regulados por ASOPRUAT –Bs. 120,00/kg para girasol, Bs. 230,00/kg para ajonjolí y Bs. 12,50/kg para sorgo– y las cuotas empresariales mínimas de arrime de 16.000 kg para las agroindustrias estatales actúan como restricciones fundamentales del sistema, determinando la viabilidad en el suministro de insumos críticos de Agropatria.

En virtud de lo cual, el objetivo de este estudio fue determinar los beneficios del uso de la programación lineal y el análisis post-optimal en la mejora de recursos operativos, además de la maximización del beneficio económico de la Unidad de Producción

Agrícola Olivo, C.A., a través de la distribución eficiente de la superficie de siembra de girasol, ajonjolí y sorgo.

Metodología

En aras de lograr la asignación de recursos y maximizar la ganancia de la UPA Agrícola Olivo, C.A., se configuró un modelo matemático de Programación Lineal (PPL) integrado por tres variables de decisión cuantitativas:

W = ha a sembrar de Girasol (*Helianthus annuus*).

X = ha a sembrar de Ajonjolí (*Sesamum indicum* L.).

Y = ha a sembrar de Sorgo (*Sorghum bicolor* L.).

Un resumen de las variables se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Valores de Girasol, Ajonjolí y Sorgo.

Variables	Rendimiento kg/ha	Costos Bs./ha	Precio Bs./kg
Girasol (W)	500	1.100	120
Ajonjolí (X)	450	3.900	230
Sorgo (Y)	2.700	1.014	12,50

Los coeficientes de la función objetivo se calcularon deduciendo los costos operativos de producción por hectárea de los ingresos brutos estimados (producto del rendimiento promedio por el precio de arrime fijado por ASOPRUAT).

La función objetivo de maximización del beneficio (Z) y sus respectivas restricciones institucionales, financieras y espaciales se detallan a continuación:

1^{ra}. Ecuación. Maximizar beneficio

$$\text{Beneficio} = F(w,x,y)$$

$$\text{Ingresos} = 120 \text{ Bs./kg} * 500 \text{ kg/ha} * W(\text{ha}) + 230 \text{ Bs./kg} * 450 \text{ kg/ha} * X(\text{ha}) + 12,50 \text{ Bs./kg} * 2.700 \text{ kg/ha} * Y(\text{ha})$$

$$\text{Egresos} = 1.100 \text{ Bs./ha} * W(\text{ha}) + 3.900 \text{ Bs./ha} * X(\text{ha}) + 1.014 \text{ Bs./ha} * Y(\text{ha})$$

$$\text{Beneficio} = \text{Ingresos} - \text{Egresos}$$

$$F(w,x,y) = 120 * 500W + 230 * 450X + 12,50 * 2.700Y - 1.100W - 3.900X - 1.014Y$$

$$F(w,x,y) = 120 * 500W - 1.100W + 230 * 450X - 3.900X + 12,50 * 2.700Y - 1.014Y$$

Los coeficientes de la función objetivo se calcularon deduciendo los costos operativos de producción por hectárea de los ingresos brutos estimados (producto del rendimiento promedio por el precio de arrime fijado por ASOPRUAT).

La función objetivo de maximización del beneficio Z y sus respectivas restricciones institucionales, financieras y espaciales se detallan a continuación:

2^{da}. Ecuación. Función objetivo

Maximizar Beneficio $Z = F(w,x,y) = 58.900W + 99.600X + 32.736Y$ Bs.

Restricciones:

Área de la UPA (ha)	$W + X + Y \leq 90$
Capital para inversión (Bs.)	$1.100W + 3.900X + 1.014Y \leq 200.000$
Exigencia de producción de Girasol por ASOPRUAT (kg)	$500W \geq 16.000$
Exigencia de producción de Sorgo por ASOPRUAT (kg)	$2.700Y \geq 16.000$
No negatividad	$W; X; Y \geq 0$

Resultados

Luego de aplicar el paquete informático WinQSB y planteada correctamente la función objetivo se obtuvieron resultados que permiten definir con precisión la mejor solución, presentados en la tabla 2.

Obteniendo los siguientes valores de solución:

Girasol (W) = 48 ha

Ajonjolí (X) = 36 ha

Sorgo (Y) = 6 ha

$Z = 6.621.469,00$ Bs.

Datos obtenidos directamente del reporte combinado del Análisis Simplex de WinQSB.

La ejecución del algoritmo arrojó el valor de Z más óptimo –permite obtener una máxima ganancia o beneficio– sería de Bs. 6.621.469,00 si Agrícola Olivo, C.A. siembra 48 ha de Girasol, 36 ha de Ajonjolí y 6 ha de Sorgo. La gerencia administrativa de Agrícola Olivo, C.A., estima que dicha ganancia satisfaría las expectativas de sus accionistas, representando un dividendo de 3.310,73% sobre la inversión neta a realizar de Bs. 200.000,00 para la siembra total de su superficie, 90 ha.

Tabla 2. Reporte Combinado de Análisis Simplex del PPL en WinQSB.

Variable	Cultivo	Solución Óptima (ha)	Costo Unitario (Bs./ha)	Rendimiento Promedio (kg/ha)	Precio de Venta (Bs./kg)	Contribución Neta al Beneficio (Z)
W	Girasol	48	1.100,00	500	120	2.816.636,00 Bs.
X	Ajonjolí	36	3.900,00	450	230	3.610.843,00 Bs.
Y	Sorgo	6	1.014,00	2.700	12,5	193.991,00 Bs.
Objetivo	Función Z	90,00 ha	—	—	—	6.621.469,00 Bs.

Permitiría gastos de mantenimiento de la UPA hasta el próximo periodo de cosecha, pago de impuesto y repartir utilidades.

Valor de Z óptimo equivalente a un beneficio neto de 6.621.469,00 Bs. por las 90 hectáreas sembradas. Desde la perspectiva financiera de la gerencia administrativa, esta utilidad satisface plenamente las expectativas de los accionistas al representar un dividendo del 3.310,73% sobre el capital de inversión

neto inicial (Bs. 200.000,00). Prueba de ello el análisis de sensibilidad presentado en la tabla 3.

Al analizar las variables ha a sembrar de girasol (W), ha a sembrar de ajonjolí (X) y ha a sembrar de sorgo (Y) se observa:

- Para mantener la función de maximización de beneficios obtenida es necesario tener en consideración que la variable ha a sembrar de

girasol (W) con un rendimiento de Bs. 58.900,00 por ha sólo puede ser modificada como mínimo a Bs. 34.728,00 por ha, si disminuye más se perdería el máximo beneficio.

- Con respecto a la variable ha a sembrar de ajonjolí (X) que presenta un rendimiento de Bs. 99.600,00 por ha, la función de maximización de beneficios obtenida se asegura con rendimientos que lleguen como mínimo a Bs. 58.900,00 por ha y como máximo a Bs. 208.827,00 por ha, de lo contrario dicha función de maximización de beneficios se comprometería.

Para estas tres variables, ambas alternativas, minimización y maximización, no resultan plausibles por tratarse de cultivos cuya utilidad en Bs. está relacionada a rendimientos promedio de kg/ha que no se pueden disminuir o aumentar a menos que se vean afectados por factores naturales (lluvia, plagas) o factores técnicos (falta de insumos, cambios tecnológicos), entre otros factores.

La tabla 4 detallada la implementación de las restricciones al análisis de sensibilidad.

Tabla 3. Análisis de sensibilidad por variables.

Variable	Cultivo	Solución Óptima (ha)	Costo Unitario o Beneficio	Mínimo Permitido	Máximo Permitido
W	Girasol	48	58.900,00	34.728,00	99.600,00
X	Ajonjolí	36	99.600,00	58.900,00	208.827,00
Y	Sorgo	6	32.736,00	-M	57.650,00

Tabla 4. Análisis de sensibilidad por restricciones.

Restricción	Precio Sombra	Lado Derecho	Mínimo Permitido	Máximo Permitido
Área de la UPA (ha)	42.911	90	79	82
Capital para inversión (Bs.)	15	20.000,00	98.490,00	244.298,00
Exigencia de producción de Girasol por ASOPRUAT (kg)	0	16.000,00	-M	23.910,00
Exigencia de producción de Sorgo por ASOPRUAT (kg)	-9	16.000,00	0	57.443,00
No negatividad	≥	≥	≥	≥

Análisis del cumplimiento de restricciones:

3^{ra}. Ecuación. Restricción 1. Área de la UPA (ha) = $W + X + Y \leq 90$

48 ha a sembrar de Girasol (W) + 36 ha a sembrar de Ajonjolí (X) + 6 ha a sembrar de Sorgo (Y) ≤ 90 ha

Se cumple la restricción.

4^{ta}. Ecuación. Restricción 2. Capital para inversión (Bs.) = $1.100W + 3.900X + 1.014Y \leq 200.000$

48 ha a sembrar de Girasol (W) * 1.1000 Bs./ha = 52.800 Bs. +

36 ha a sembrar de Ajonjolí (X) * 3.900 Bs./ha = 140.400 Bs. +

6 ha a sembrar de Sorgo (Y) * 1.014 Bs./ha = 6.084 Bs. =

52.800 Bs. + 140.400 Bs. + 6.084 Bs. = 199.284 Bs. ≤ 200.000 Bs.

Se cumple la restricción

5^{ta}. Ecuación. Restricción 3. Exigencia de producción de Girasol por ASOPRUAT (kg) = $500W \geq 16.000$

48 ha a sembrar de Girasol (W) * 500 kg/ha = 24.000 kg ≥ 16.000 kg

Se cumple la restricción.

6^{ta}. Ecuación. Restricción 4. Exigencia de producción de Sorgo por ASOPRUAT (kg) = $2.700Y \geq 16.000$

6 ha a sembrar de Sorgo (Y) * 2.700kg/ha = 16.200 kg $\geq$ 16.000 kg

Se cumple la restricción.

7^{ma}. Ecuación. Restricción 5. No negatividad = W; X; Y $\geq$ 0

48 ha a sembrar de Girasol (W) $\geq$ 0

36 ha a sembrar de Ajonjolí (X) $\geq$ 0

6 ha a sembrar de Sorgo (Y) $\geq$ 0

Se cumple la restricción.

La verificación matemática del cumplimiento de las restricciones demostró la viabilidad del modelo:

Restricción de área: se ocuparon las 90 ha disponibles (48 + 36 + 6 = 90), lo que indica la ausencia de tierras ociosas (holgura = 0).

Restricción de capital: la inversión total consolidada ascendió a 199.284,00 Bs. (52.800 + 140.400 + 6.084\$), generando una holgura presupuestaria positiva remanente de 716,00 Bs. respecto al límite de 200.000,00 Bs.

Restricciones de ASOPRUAT: la producción de Girasol alcanzó los 24.000 kg (48 x 500), superando el mínimo de 16.000 kg con un excedente de 8.000 kg (WinQSB reporta una holgura técnica indexada de 7.910). Asimismo, la cosecha de Sorgo totalizó 16.200 kg (6 x 2.700), satisfaciendo la exigencia gremial de 16.000 kg.

Al analizar las restricciones área de la UPA en ha, capital para inversión en Bs., exigencia de producción de girasol por ASOPRUAT en kg, exigencia de producción de sorgo por ASOPRUAT en kg que afectan a las variables ha a sembrar de girasol, ha a sembrar de ajonjolí y ha a sembrar de sorgo se observa lo siguiente: La restricción área de la UPA en ha establece que solo pueden cultivarse 90 ha o menos, como mínimo 79 ha y como máximo 182 ha, en teoría, sin alterar el resultado de la función de maximización; pero no es plausible porque Agrícola Oliva, C.A., en el primer caso, no va dejar de sembrar 11 ha y, en el segundo caso, sembrar 92 ha más implica arrendar tierras, se traduce en nuevos costos y mayor capital de inversión.

Cambiando la restricción área de la UPA de 90 ha a 182 ha y manteniendo el resto de las condiciones iguales, *ceteris paribus*, los resultados de contribución de las variables varían, así como la solución óptima. Las ha a sembrar de girasol pasan de 48 ha a 176 ha, se indica que no se deben sembrar ha de ajonjolí y permanece igual el número de ha a sembrar de sorgo, 6 ha. La maximización de beneficios sería de Bs. 10.269.250,00, lo que implica Bs. 3.947.781,00 más que la solución óptima encontrada inicialmente de Bs. 6.621.469,00; es otra alternativa de decisión a ser presentada a la gerencia administrativa de Agrícola Olivo, C.A.; aunque implica el arrendamiento de tierras que puede ser un factor extremadamente costoso, usualmente la mitad de la cosecha.

La restricción capital para inversión en Bs. determina que solo pueden invertirse Bs. 200.000,00 o menos, como mínimo Bs. 98.490,00 y como máximo Bs. 244.298,00, en teoría, sin alterar el resultado de la maximización. Sin embargo, estos parámetros resultan no ser factibles porque a Agrícola Olivo, C.A., en el primer caso, no le conviene dejar de invertir Bs.101.510,00, sobre todo si aún tiene hectáreas disponibles para siembra. En el segundo caso, el aumento del capital para invertir es de Bs. 44.298,00 adicional a los Bs. 200.000,00 inicial.

Se aprecia que modificando el capital disponible para invertir de Bs. 200.000,00 a Bs. 244.298,00 y manteniendo el resto de las condiciones iguales, *ceteris paribus*, los resultados de contribución de las variables se modifican, también la solución óptima. Las ha a sembrar de girasol se reducen de 48 ha a 32 ha, las ha a sembrar de ajonjolí se incrementan de 36 ha a 52 ha y las ha a sembrar de sorgo continúan igual, 6 ha. La maximización de beneficios es de Bs. 7.265.369,00, lo que representa Bs. 643.390,00 más que la solución óptima encontrada inicialmente de Bs. 6.621.469,00; siendo otra alternativa de decisión a ser mostrada a la gerencia administrativa de Agrícola Olivo, C.A.; lo convierte en un escenario atractivo para la toma de decisión.

Discusión

La introducción de modelos cuantitativos de optimización matemática en Agrícola Olivo, C.A. valida empíricamente los postulados de Sandmann et

al. (2025), quienes sostienen que la modelación lineal maximiza la productividad agrícola superando a las decisiones heurísticas e intuitivas tradicionales de los productores. Al distribuir de forma precisa la superficie cultivable (48 ha de girasol, 36 ha de ajonjolí y 6 ha de sorgo), el algoritmo equilibra de manera eficiente la alta rentabilidad por hectárea, pero elevado costo del ajonjolí con los cultivos de menor costo de inversión, maximizando el rendimiento del fondo de financiamiento disponible de Bs. 200.000,00. Este comportamiento coincide con lo puntualizado por Liu y Hu (2025) acerca de cómo las matrices de programación lineal discriminan los coeficientes de rentabilidad para blindar la estructura financiera de las parcelas frente a recursos financieros escasos.

Al confrontar los hallazgos con la literatura contemporánea, la asignación equilibrada de la superficie de siembra valida la tesis de Sandmann et al. (2025), quienes afirman que la modelación matemática aplicada a unidades de producción optimiza de forma sistemática el uso del suelo e incrementa la productividad neta por hectárea cultivada. Adicionalmente, la distribución variada y diversificada del portafolio agrícola atenúa la incertidumbre económica y ambiental descrita por la OCDE y la FAO (2024), brindando certidumbres operativas que vienen a equilibrar los costos de inversión individuales con los márgenes de arrime regulados.

Evalutando la resiliencia del modelo ante factores naturales –plagas, lluvias masivas– o fluctuaciones técnicas y de mercado –falta de insumos, volatilidad de precios–, se analizó la sensibilidad postoptimal bajo la premisa *ceteris paribus*.

El análisis de sensibilidad por variables determinó que los coeficientes de beneficio neto de las tres variables básicas poseen rangos de tolerancia delimitados antes de comprometer la solución óptima:

- Para el Girasol el beneficio puede oscilar entre Bs. 34.728,00 y Bs. 99.600,00;
- Para el Ajonjolí entre Bs. 58.900,00 y Bs. 208.827,00;
- Para el Sorgo puede soportar reducciones extremas -M pero solo tolera un incremento máximo de Bs. 57.650,00.

Como apuntan Wang et al. (2025), la determinación de estos umbrales provee a la gerencia una herramienta predictiva vital para mitigar los riesgos multidimensionales del entorno rural.

El examen pormenorizado de las restricciones con el análisis postoptimal dio cuenta de escenarios alternativos de decisión con implicaciones estratégicas diversas para la gerencia administrativa:

- Escenario de expansión de superficie: la restricción de área posee un precio sombra de Bs. 42.911,00 con un límite superior admisible de 182 ha. Al elevar teóricamente el área a 182 ha, la solución óptima se reconfigura radicalmente: la siembra de Girasol se incrementa a 176 ha, el Ajonjolí se reduce a 0 ha y el Sorgo se mantiene en 6 ha, elevando el beneficio a Bs. 10.569.250,00. No obstante, este escenario se descarta por su baja viabilidad real, ya que requeriría el arrendamiento de 92 ha adicionales, una transacción costosa que suele indexarse en la mitad de la cosecha, contrayendo la rentabilidad real neta.
- Escenario de incremento de financiamiento: la restricción presupuestaria presenta un precio sombra de 15,00 y un rango máximo de Bs. 244.298,00. Al ampliar el capital disponible a este límite superior, la distribución varía a 32 ha de girasol, 52 ha de ajonjolí y 6 ha de sorgo, escalando la maximización de beneficios a Bs. 7.265.369,00 (Bs. 643.390,00 adicionales sobre el modelo base). Esta alternativa resulta altamente atractiva y viable para la toma de decisiones gerenciales si se gestiona el crédito complementario.

Escenarios de Exigencias Institucionales – ASOPRUAT–:

La cuota mínima de Girasol posee un precio sombra de 0, lo que significa que elevar el requerimiento gremial hasta 23.910 kg no altera el beneficio original de Bs. 6.621.469,00. Por el contrario, la exigencia de Sorgo muestra un precio sombra negativo de -9,00; si se incrementa este requerimiento a su límite de 57.443 kg, la solución fuerza la asignación a 32 ha de girasol, 37 ha de ajonjolí y 21 ha de sorgo, provocando una contracción del beneficio neto global

a Bs. 6.239.056,00 (una pérdida de Bs. 385.413,00). Esto demuestra que el sorgo actúa como un rubro de amparo institucional, pero de bajo rendimiento financiero.

Por último, se evaluó un escenario de ruptura de convenios, asumiendo la siembra exclusiva del 100% de la superficie (90 ha) con el cultivo de Ajonjolí. Esta alternativa arroja una ganancia teórica de Bs. 8.964.000,00, requiriendo un financiamiento adicional de Bs. 151.000,00 (costo total de Bs. 351.000,00) y generando un excedente de Bs. 2.342.531,00 frente a la solución óptima inicial. Sin embargo, este escenario se tipifica como altamente riesgoso e incierto, dado que al incumplir el arrime mínimo de girasol y sorgo exigido por ASOPRUAT, la UPA perdería el acceso garantizado a los insumos agrícolas protegidos de Agropatria, quedando expuesta a los elevados e inestables precios del mercado no regulado. Estos hallazgos validan las tesis de Benini et al. (2025) y Castillo Ortiz et al. (2025), quienes afirman que la planificación moderna debe subordinar el beneficio monetario teórico a las restricciones de resiliencia y alianzas de la cadena de suministro para asegurar la soberanía operativa en el tiempo.

Conclusiones

La programación lineal aplicada a la resolución de problemas de producción agrícola (siembra) ayuda, por un lado, a considerar multitud de factores que afectan la producción y rentabilidad agrícola, opciones de siembra, disposición de cultivos, entre otros elementos; por el otro, ayuda a reducir los márgenes de incertidumbre a partir de la creación de escenarios que faciliten la toma de decisiones en pro de la maximización de beneficios económicos y el mejor aprovechamiento de los recursos finitos e inciertos que ofrece la agricultura. Se ha demostrado las bondades de emplear la programación lineal en la agricultura; ha logrado la óptima distribución de las hectáreas a ser sembradas por cada cultivo, maximizado la ganancia, lo que se proyecta cosechar favorecería la recuperación de la inversión más la generación de beneficios. Lo cual se ratifica con los consiguientes cálculos post-optimales realizados que aseguran que éste es el mejor escenario de decisión.

La aplicación de la programación lineal determinó con exactitud científica que el escenario óptimo inicial para maximizar el beneficio de la UPA Agrícola Olivo, C.A. consiste en la siembra anualizada de 48 hectáreas de Girasol, 36 hectáreas de Ajonjolí y 6 hectáreas de Sorgo. La combinación optimiza la asignación de recursos limitados al explotar 100% de la superficie disponible (90 ha) y consumir eficientemente Bs. 199.284,00 del presupuesto, generando una ganancia máxima de Bs. 6.621.469,00 y un dividendo del 3.310,73% que cubre holgadamente deudas, intereses, mantenimiento e impuestos.

El modelo matemático resolvió de forma satisfactoria las cuotas gremiales de arrime exigidas por ASOPRUAT al generar 24.000 kg de Girasol y 16.200 kg de Sorgo, blindando el acceso institucional de la empresa a los fertilizantes y agroquímicos subsidiados de Agropatria. El análisis post-optimal demostró que las alternativas basadas en el monocultivo de ajonjolí o la expansión desmedida de la superficie a 182 ha incorporan niveles críticos de riesgo operativo y sobrecostos de arrendamiento que devalúan su viabilidad real frente a la estabilidad de la solución inicial. Se identificó el incremento del capital de inversión a Bs. 244.298,00 como el segundo escenario más atractivo para la junta directiva, al expandir la superficie de ajonjolí a 52 ha y elevar la utilidad neta a Bs. 7.265.369,00.

Trabajar con los escenarios que proporciona el análisis post-optimal posibilita estudiar opciones, mejorar la decisión y maximizar la ganancia que puede percibir el productor agrícola. El conocimiento de las variables que dan lugar a los escenarios permite analizarlos a mayor profundidad; así escenarios que en primera instancia parecen muy rentables por los beneficios que generan, caso del escenario del aumento de las ha a sembrar con Bs. 10.569.250,00 trae aparejado el arrendamiento de tierras agrícolas que suele ser extremadamente costoso por los cánones y lo difícil de contratarlas, en realidad resulta ser una opción poco atractiva por su rentabilidad real, baja.

El segundo escenario más llamativo resulta de la siembra total de la superficie de la UPA con el cultivo

del ajonjolí, se obtendría un beneficio de Bs. 8.964.000,00; pero incrementa los riesgos de siembra y producción, al no tenerse garantizados los insumos agrícolas ni un precio de venta estable de los mismos. Aunque la ganancia es superior en Bs. 2.342.531,00 a la inicial, de Bs. 6.621.469,00, la incertidumbre pudiera ser altísima y tornar el proceso de producción altamente riesgoso y no se cubren ni las restricciones ni los requerimientos. El tercer escenario que pudiera considerarse llamativo corresponde al incremento del capital invertido de Bs. 200.000,00 a Bs. 244.298,00, el beneficio es de Bs. 7.265.369,00, cumple la mayoría de las restricciones, su inconveniente sería la solicitud de crédito.

El cuarto escenario de decisión es el de área de la UPA de 182 ha, de las cuales 176 ha son de girasol, la maximización de beneficios sería de Bs. 10.269.250,00, Bs. 3.947.781,00 más que la solución óptima inicial de Bs. 6.621.469,00; conlleva el arrendamiento de tierras que puede ser un factor extremadamente costoso, usualmente la mitad de la cosecha. Por ende, pudiera ser un escenario que genere beneficios muy reducidos. Por último, estaría el escenario del incremento de la producción de sorgo, los beneficios que genera son menores que los de la solución óptima en Bs. 385.413,00.

Se recomienda:

Acoger el escenario de la solución óptima para lograr la mayor rentabilidad.

Fomentar el uso de modelos cuantitativos con aplicaciones de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación al sector agrícola para una mayor rentabilidad, productividad y competitividad de este sector clave para la alimentación de Venezuela y contribuir a la consolidación de su soberanía agroalimentaria.

Propiciar el uso de la programación lineal y el análisis post-optimal en el entorno agrícola en general, pero fundamentalmente en las asociaciones de productores; ambas herramientas, empleadas sobre todo mediante software, pudieran convertirse en alternativas de asesoramiento que ofrezcan dichas asociaciones a sus agremiados como mecanismos

para reducir el riesgo y la incertidumbre que envuelve a la producción agrícola.

Promover en los Centros de Investigación Agrícola públicos y privados, en las Universidades venezolanas y en otros de enseñanza de la agricultura la investigación en programación lineal y de programas informáticos aplicados a la agricultura.

Contribución de los autores

Todos los autores (Amaire Mora Guerrero, Alberto Cadevilla Soto y Adolfo Paredes Bastidas) contribuyeron en partes iguales en la concepción, diseño del estudio, recolección y procesamiento de datos en campo, formulación e implementación del modelo matemático en el software WinQSB, análisis e interpretación de los resultados de optimización y sensibilidad, así como en la redacción, revisión crítica y aprobación final de la versión del manuscrito enviada para publicación.

Disponibilidad de los datos de la investigación

Los datos primarios de inversión, rendimientos y costos operativos utilizados para el diseño del modelo de programación lineal provienen de la entrevista estructurada realizada a la Unidad de Producción Agrícola Olivo, C.A. Asimismo, las matrices algebraicas, las corridas computacionales y los reportes detallados del software WinQSB (Análisis Simplex y Análisis Post-optimal/Sensibilidad) están a disposición de los lectores o investigadores interesados, previa solicitud formal a la autora de correspondencia a través del correo electrónico: amairemora@gmail.com.

Comentarios de evaluación

Este artículo fue sometido a un proceso de evaluación a través de revisión por pares en modalidad anónima, de acuerdo con la política de transparencia editorial de la revista. Los revisores, que participaron de manera anónima en este proceso, dieron su consentimiento para la publicación de los comentarios emitidos durante la revisión.

Comentarios de evaluación 1: El trabajo requiere de ciertos ajustes detallados en el archivo adjunto. Recomendación final: Publicable con modificaciones.

Comentarios de evaluación 2: No publicable.

Comentarios de evaluación 3: Se recomienda una revisión general del texto, ajustar el formato de presentación de los datos, verificar consistencia de la lista de referencias entre otros puntos acotados en el texto adjunto. Recomendación final: Publicar cuando el autor/a realice los ajustes planteados en las recomendaciones indicadas en la evaluación.

Referencias

- Alvarado-Boirivant, J. (2013). Modelo de optimización para un asentamiento agrícola en La Cruz de Guanacaste, Costa Rica. *Revista Intersedes*, 14(29), 19-42. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/is/v14n29/a02v14n29.pdf>
- Benini, M., Detti, P., & Nerozzi, L. (2025). Optimization models and algorithms for sustainable crop planning and rotation: An arc flow formulation and a column generation approach. *Omega*, 135, 103250. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2025.103320>
- Castillo Ortiz, S., Flores Cabrera, J., Ayala Castillo, M., Carachure Pichardo, C., & Ayala Castillo, A. (2025). Optimización del sector agrícola mediante el análisis de datos para una gestión eficiente de los recursos naturales: Una perspectiva para México. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 9(2), 240-257. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.16816
- González, A., & García, G. (2015). *Manual práctico de investigación de operaciones I*. Universidad del Norte. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9789587416459_A26200876/preview-9789587416459_A26200876.pdf
- Liu, H. & Hu, L. (2025). Research on Crop Allocation and Revenue Analysis in Farmland Based on Linear Programming Models. *International Journal of New Developments in Engineering and Society*, 9(2). <https://doi.org/10.25236/IJNDES.2025.090205>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *OCDE-FAO perspectivas agrícolas 2024-2033*. <https://doi.org/10.1787/2b0c9d81-es>
- Ramírez, V., Vásquez, M., & Ruiz, M. (2022). El método simplex como herramienta en la optimización de recursos de una empresa agroindustrial. *Religación*, 7(34), e210980. <https://doi.org/10.46652/rgn.v7i34.980>
- Real Academia Española. (2024). *Diccionario de la lengua española: Agricultura* (23ª ed.). <https://dle.rae.es/agricultura?m=form>
- Sandmann, A., Barbieri, J., Kripka, M., & Hoose, A. (2025). Mathematical modeling for maximizing agricultural productivity in Serranópolis do Iguaçu, PR, Brazil. *Engenharia Agrícola*, 45(2), e20240012. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v45nespe120240182/2025>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2016). *Tipos de cultivo, estacionalidad y ciclos*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/tipos-de-cultivo-estacionalidad-y-ciclos>
- Universidad de Valencia, España. (2010). *Introducción al programa WinQSB*. http://www.uv.es/martinek/material/WinQSB2_0.pdf
- Wang, C., Zhang, J., Wang, T., Zeng, B., Wang, B., Chen, Y., & Chen, Y. (2025). Intelligent optimization-based decision-making framework for crop planting strategy with total profit prediction. *Agriculture*, 15(16), 1736. <https://doi.org/10.3390/agriculture15161736>