

Modelacion de Sistemas de Producción Agropecuario

Modeling of Agricultural Production Systems

Giseth Alexandra Guaglianone Neira¹, Yorman Martínez Quintero², Torcoroma Meneses Jaimes³

Correspondencia: Giseth Alexandra Guaglianone Neira, Ocaña, Colombia. Teléfono móvil: +57-3028580115. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7331-3358>. Email: gaguaglianonen@ufpso.edu.co,
Lugar donde se realizó la investigación: Ocaña, Norte de Santander

1: Estudiante e Investigador de la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, Colombia, Departamento de Ciencias Pecuarias, programa Zootecnia. Correo: gaguaglianonen@ufpso.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7331-3358>

2: Estudiante e Investigador de la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, Colombia, Departamento de Ciencias Pecuarias, programa Zootecnia. Correo: ymartinezq@ufpso.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7830-4694>

3: Estudiante e Investigador de la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, Colombia, Departamento de Ciencias Pecuarias, programa Zootecnia. Correo: tmenesesj@ufpso.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5373-8495>

Resumen

En este trabajo se revisan las metodologías y las herramientas empleadas en la modelación de sistemas de producción agropecuarios las cuales son diversas y contribuyen a optimizar la gestión y productividad en el campo con un enfoque en la sostenibilidad y eficiencia. Para ello, se analizan diferentes modelos agropecuarios y su aplicabilidad, se incluye modelos de simulación matemáticos y enfoques cualitativos y cuantitativos. Además, se investiga cómo la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje autónomo pueden integrarse en estos modelos con la finalidad de aumentar la exactitud y facilitar la toma de decisiones. Cabe aclarar que el objetivo principal de este estudio es evaluar las metodologías de modelación existentes y su aplicabilidad en el diseño de sistemas de producción más eficientes. Teniendo en cuenta lo anterior, se destacan las ventajas y limitaciones de cada metodología, proporcionando una visión crítica y equilibrada. Entonces se puede concluir que este trabajo subraya la importancia de la modelación en la optimización de la producción agropecuaria y la gestión de recursos. Asimismo, se destaca cómo las tecnologías emergentes pueden transformar estos sistemas hacia una mayor sostenibilidad y eficiencia productiva.

Palabras claves: modelación de sistemas agropecuarios, tecnologías emergentes en agricultura, eficiencia en producción agropecuaria, optimización de recursos agrícolas, sostenibilidad agropecuaria.

Abstract

In this work, the methodologies and tools used for the modeling of agricultural production systems are reviewed, with a focus on sustainability and efficiency. To this

end, different agricultural models are explored, including simulation models, mathematical models, and qualitative and quantitative approaches. Additionally, it analyzes how artificial intelligence (AI) and autonomous learning can be integrated into these models to improve accuracy and decision-making. The main objective is to evaluate the existing modeling methodologies and their applicability in designing more efficient production systems. In this regard, the advantages and limitations of each methodology are highlighted, providing a critical and balanced view. In conclusion, this work emphasizes the importance of modeling in optimizing agricultural production and resource management. Furthermore, it highlights how emerging technologies can transform these systems towards greater sustainability and efficiency.

Key words: Agricultural systems modeling, Emerging technologies in agriculture, Efficiency in agricultural production, Optimization of agricultural resources, Agricultural sustainability.

Introducción

La modelación de sistemas agropecuarios es una herramienta útil y fundamental para la mejora en el sector productivo y en la eficiencia económica en la agricultura y la ganadería. Esta disciplina permite hacer una simulación y un análisis de diversos escenarios, de modo que facilita la toma de decisiones informadas y sostenibles. Los modelos de simulación, matemáticos y enfoques cualitativos y cuantitativos son ampliamente utilizados para comprender y optimizar los sistemas agropecuarios (Rodríguez-et, 2020).

Desde el inicio de la agricultura y el paso del tiempo fue evolucionando considerablemente gracias a la incorporación de los avances tecnológicos; En particular, la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático han aportado a la transformación de la modelación de sistemas agropecuarios, mejorando la precisión de los modelos y la optimización de la gestión de recursos (Segovia, 2021). Estas nuevas tecnologías permiten predecir el comportamiento de los cultivos y el ganado bajo diversas condiciones climáticas y de manejo, lo cual es clave para enfrentar los desafíos del cambio climático (Alicia Acosta, 2010)

El uso y manejo de los modelos matemáticos en la agricultura no solo facilita la optimización de la producción, también contribuye a la eficiencia económica mediante algoritmos de optimización. Estos modelos son particularmente útiles en la gestión de recursos y la planificación a largo plazo (Florido-Bacallao, 2020). Del mismo modo, los enfoques cualitativos y cuantitativos proporcionan una comprensión amplia de los sistemas agropecuarios, permitiendo analizar factores sociales y económicos junto con datos numéricos y estadísticas (Rodríguez-et, 2020)

El enfoque de los sistemas de producción y su aplicabilidad a la investigación agropecuaria han mostrado ser un método eficaz para el desarrollo de sistemas sostenibles; este enfoque nos permite una caracterización biofísica y socioeconómica de las regiones de interés, son apoyadas en el sistema de información geo referencial (Hernandez, 2009 citado 2022). Con el integro de la IA y el aprendizaje automático en estos enfoques pueden mejorar significativamente la precisión, además la toma de decisiones, permitiendo una gestión más sostenible y eficiente de los recursos agropecuarios (Rodríguez-et, 2020).

La modelación basada en agentes es otra metodología que ha ganado importancia en la simulación de sistemas agropecuarios. Esta técnica permite abordar la complejidad inherente a los sistemas mediante la simulación de interacciones entre agentes individuales, lo que facilita el entendimiento de los fenómenos emergentes y la toma de decisiones informadas (Choque-Quispe, 2021). La modelación basada en agentes ha sido útil para explorar y entender la relación sociedad- naturaleza en los sistemas agropecuarios, apoyando los procesos en un contexto de interdisciplinario y transdisciplinario (Choque-Quispe, 2021).

La usabilidad de algunos modelos de simulación en la agricultura también permite evaluar el impacto de diferentes estrategias de manejo y políticas agrícolas; los modelos pueden simular el desarrollo de cultivos con variabilidad en las condiciones edafoclimáticas y manejo, lo que proporciona información valiosa para la planificación. Cabe agregar que los modelos de simulación permiten realizar análisis de impactos tecnológicos, económicos y ambientales, lo que contribuye a una mejor comprensión de los problemas y a la anticipación de la realidad investigada (Rodríguez-et, 2020).

El integro de algunas tecnologías emergentes en la producción de sistemas agropecuarios ha permitido el desarrollo de herramientas más precisas. Por ejemplo, el sistema de apoyo para decisiones para la transferencia de agrotecnología (DSSAT) agrupa modelos de simulación de clima, suelo, agua y nutrientes, permitiendo simular el desarrollo de cultivos en cualquier región y evaluar el efecto de su rotación a largo plazo (Talari, 2022). Las herramientas para la planificación y la gestión sostenible de los recursos son muy importante.

Un enfoque en los sistemas también ha sido aplicado en la investigación y desarrollo de sistemas agropecuarios sostenibles, esto permite una visión holística y sistemática de los agro sistemas, considerando tanto los aspectos biofisicos como socioeconómicos (Rojas, 2019), la modelación mediante simulación ha demostrado ser una herramienta eficaz para visualizar oportunidades de trabajo sostenible (Rebs, 2019).

Metodología

En la metodología de este trabajo se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura existente en bases de datos academias como Scopus, Sciencedirect y SciELO, la búsqueda se enfocó en artículos que aborden la modelación de sistemas agropecuarios, la sostenibilidad y la eficiencia en la producción agrícola, luego se seleccionaron estudios relevantes que proporcionan una visión integral de las metodologías de modelación utilizadas en la agricultura y la ganadería, incluyendo modelos de simulación matemáticos y enfoques cualitativos y cuantitativos (Barrientos-Monsalve, Sotelo-Barrios & Hoyos-Patiño, 2023 (Stark, 2020).

Se analizaron casos de estudios específicos en los cuales se demostrarán la aplicación práctica de estas metodologías en sistemas locales, estos casos permitieron evaluar modelos eficaces en la optimización de la producción y la gestión de recursos, destacando las ventajas y limitaciones de cada enfoque (Priya, 2021).

Para la búsqueda de la información sobre la modelación de sistemas de producción agropecuarios se basa en enfoques reconocidos en la literatura científica, adaptados específicamente para este estudio, aunque se menciona que (Stark, 2020) y sus colaboradores como un ejemplo de investigadores que han trabajado en la evaluación de

sistemas agropecuarios, es importante aclarar que el centro de esta metodología es la revisión de literatura (Stark, 2020), análisis de caos de estudios (Priya, 2021) entrevistas y encuestas (Bastidas-Orrego, 2023), análisis de datos (Fernando, 2024) y validación de modelos (Ellis, 2024).

Seguido de la revisión de literatura en las bases de datos se continúa con la realización de tres preguntas de investigación para el estudio sobre la modelación de sistemas de producción agropecuarios, se eligieron por su relevancia y capacidad para abordar aspectos críticos de la sostenibilidad y eficiencia en la producción agropecuaria, las preguntas son las siguientes:

1. ¿Cómo se pueden integrar tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, en los modelos de simulación para optimizar la producción agropecuaria?
2. ¿Qué desafíos enfrentan los investigadores al implementar modelos de simulación en sistemas agropecuarios en regiones en desarrollo?
3. ¿Cuáles son las principales ventajas y limitaciones de las metodologías de modelación utilizadas en la modelación de sistemas agropecuarios?

Elección de criterios de búsqueda para los estudios relevantes

Se realizaron búsquedas en bases de datos de academias reconocidas como Scopus, ScienceDirect y SciELO, en donde se utilizaron combinaciones de términos específicos para asegurar una búsqueda exhaustiva: sostenibilidad en la agricultura, metodologías de modelación agrícola, optimización de la producción, tecnologías emergentes en la agricultura, modelaciones de sistemas agropecuarios, aprendizaje automático en sistemas de producción; para mejorar la búsqueda y hacerla más precisa, se utilizó herramientas de investigación como: Google Scholar, Keyword Planner de Google, Semrush y Ahrefs.

Tabla 1. Combinaciones de términos

Referencias	Combinaciones
CT1	Sostenibilidad en la agricultura
CT2	Metodologías de modelación agrícola
CT3	Optimización de la producción
CT4	Tecnologías emergentes en la agricultura
CT5	Modelación de sistemas agropecuarios

CT6	Aprendizaje automático en sistemas de producción
------------	--

Fuente: elaboración propia

Se realizaron ecuaciones de búsqueda utilizando operadores booleanos (AND, OR) y filtros específicos para refinar los resultados como ejemplo: “agricultural systems modeling” y criterios de selección para asegurar la relevancia y calidad de los artículos encontrados: fechas de publicación, relevancia, citas, referencias y acceso completo.

Tabla 2: documentos primarios obtenidos

Base de datos	Cantidad de artículos
Scopus	51
ScienceDirect	9
SciELO	35
Total	95

Fuente: elaboración propia

Excluidos de documentos para la revisión

CI1: artículos publicados en los últimos seis años (2018-2024) para asegurar la actualidad de la información.

CI2: artículos de revistas científicas, conferencias y capítulos de libro revisados por pares.

CI3: documentos con acceso completo al texto para una revisión detallada.

CE1: artículos que no se centren en la modelación de sistemas agropecuarios o que traten temas tangenciales sin una conexión directa.

CE2: publicaciones en idiomas distintos al inglés y español.

CE3: documentos con acceso limitado o solo al resumen.

Una vez que fueron establecidos los criterios de inclusión (CI) y exclusión (CE), se revisan los títulos y resúmenes de cada artículo (en algunos casos, la introducción y las conclusiones), descartando aquellos que no son relevantes para el estudio.

Definición del esquema de clasificación para organizar y categorizar los estudios recopilados

Con el objetivo de lograr una comprensión detallada de las aportaciones de cada documento revisado utilizamos el siguiente esquema de búsqueda: categoría temática, enfoque metodológico, tipo de publicación, año de publicación, acceso y disponibilidad.

Categoría temática

- Modelos de cultivos: estudios que se centra en la modelación de sistemas de cultivos específicos.
- Modelación de ganadería: investigaciones relacionadas con la modelación de sistemas ganaderos.
- Modelación de sistemas mixtos: artículos que abordan el integro de la ganadería y los cultivos.
- Sostenibilidad y eficiencia: estudios que analizan la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas agropecuarios.

Enfoque metodológico

- Modelos matemáticos: investigaciones que utilizan modelos matemáticos para la predicción y simulación.
- Modelos computacionales: estudios que emplean herramientas y software de simulación.
- Modelos estadísticos: artículos que aplican métodos estadísticos para el análisis de datos.
- Modelos basados en agentes: investigaciones que utilizan modelos basados en agentes para simular interacciones complejas.

Tipo de publicación

- Artículos de revista: publicaciones en revistas científicas revisadas por pares.
- Conferencias: ponencias y artículos presentados en conferencias académicas.
- Capítulos de libros: contribuciones en libros académicos.
- Tesis y disertaciones: trabajos de investigación de grado y posgrado.

Acceso y disponibilidad

Acceso abierto: artículos disponibles gratuitamente.

- Acceso restringido: publicaciones que requieren suscripción o pago adicional para su uso.

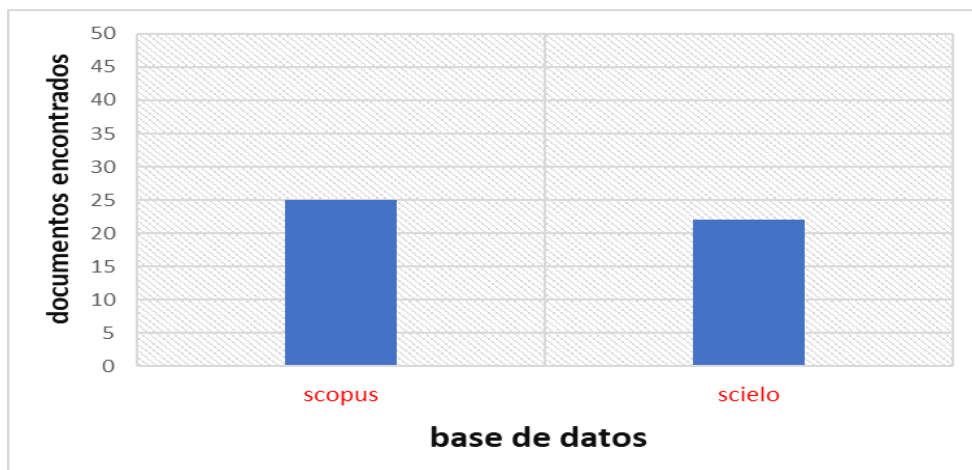
Los documentos fueron analizados y clasificados siguiendo los pasos previamente descritos, identificado material relevante para responder a las preguntas de investigación.

Resultados

Los hallazgos sobre la modelación de sistemas de producción en el sector agropecuario se identificaron 95 documentos. Tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión (CI1, CE1, CE2), teniendo en cuenta solo los artículos publicados entre 2019 y 2024, considerando a su vez aquellos en idiomas distintos al español, como el inglés o el portugués, fueron seleccionados 51 documentos.

En los 51 documentos se aplicaron los criterios (CI2, CE3, CE3), usando el título y el resume de cada uno como referente para evaluar y seleccionar los más relevantes. Esto resulto en la elección de 47 documentos que se utilizaran para responder a las preguntas de investigación planteadas.

En la siguiente grafica se dará a entender de donde se obtuvieron los 47 documentos:



Fuente: elaboración propia

Basados en la figura 1, se encontraron y analizaron 47 documentos en donde fueron seleccionados 27 en los cuales destacan la importancia de la sostenibilidad, evaluación, simulación y modelación de los sistemas de producción agropecuarios.

Introducción a los modelos de simulación agropecuaria

Los modelos de simulación de cultivos y sistemas agropecuarios han evolucionado en las últimas décadas, lo que ofrece herramientas innovadoras y poderosas para mejorar la gestión y la planificación en la agricultura. Estos modelos, que abarcan desde simulaciones simples hasta simulaciones complejas basadas en inteligencias artificiales, permitiendo a los investigadores y agricultores prever escenarios futuros, optimizar el uso de recursos, y evaluar la sostenibilidad de diferentes estrategias productivas. En este texto, se revisan diferentes artículos que han abordado el tema de la simulación de sistemas agrícolas, evaluando su impacto en la adopción de tecnologías emergentes.

Mejora de la sostenibilidad y eficiencia en los sistemas de producción agropecuarios

Los modelos de simulación demostrado ser fundamentales para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia en los sistemas agropecuarios. Según (Uzbekistan, 2018-Citado 2022), estos permiten a los agricultores probar diferentes estrategias de gestión antes de implementarlas, reduciendo así el uso innecesario de recursos y minimizando el impacto ambiental. La simulación de sistemas mixtos, como los descritos por (Commission, 2021) se ha permitido estimar la integración de cultivos y ganadería, mostrando como el enfoque pueden aumentar la eficiencia al reducir desechos y maximizar el uso de los recursos disponibles naturales.

En estudios previos, como los de (Bilgen, 2021) detalladamente la simulación ayuda a la optimización del uso de agua, un recurso clave en muchas regiones agrícolas. Modelando diferentes escenarios climáticos, se pueden prever periodos de sequía y ajustar los planes de riego, teniendo mejoras en las prácticas agrícolas se convierte en un sistema sostenible, además, (Bilgen, 2021), resalta como estos modelos permiten que los tiempos de siembra y cosecha, traduce a una mayor eficiencia en el uso de insumos.

Integración de tecnologías emergentes en modelos de simulación

Con el íntegro de las tecnologías, tales como la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático, ha abierto nuevas posibilidades para el ensayo en los sistemas agropecuarios; según (Oliveira, 2023), la modelización basada en agentes, que simula los comportamientos complejos de agentes en un sistema, se está combinando con técnicas de IA para ofrecer predicciones más precisas y dinámicas.

En su artículo (Ronny, 2016), explica como estas tecnologías permiten adaptar los modelos a diferentes contextos locales, utilizando grandes cantidades de datos para ajustar los modelos a las condiciones específicas de cada región, esto es especialmente útil en sectores donde la recolección de datos ha sido históricamente limitada, otros estudios, como los (Ramon Espinel, 2024) también destacan como la IA está ayudando a la identificación de patrones de comportamiento en sistemas agropecuarios que eran difíciles de detectar con enfoques de modelización tradicionales.

El uso de aprendizaje automático en modelos de simulación, como se expresa en los trabajos de Patiño, et al, 2023; (Lefteris Benos, 2021), permite ajustar automáticamente los parámetros de los modelos en tiempo real a medida que se recopilan nuevos datos. Esto mejora la precisión de las predicciones y permite a los agricultores tomar mejores decisiones.

Desafíos en la implementación de modelos de simulación en regiones en desarrollo

la implementación de modelos de simulación en regiones en desarrollo plantea diversos desafíos (Mora-Herrera, 2021), uno de los principales obstáculos es la falta de acceso a datos concisos y actualizados, la recolección de datos en tiempos real es fundamental para la precisión de los modelos, pero muchas regiones en desarrollo carecen de la infraestructura tecnológica necesaria para hacerlo de manera eficiente.

Incluso, (Ronny, 2016), indica que la variabilidad climática extrema, común en muchas regiones en desarrollo, dificulta la creación de modelos precisos. Otros análisis como los de (Ronny, 2016), destacan la falta de capacitaciones entre los agricultores locales, lo que limita el uso efectivo de los modelos de simulación.

Otro desafío es la resistencia al cambio por parte de los agricultores, como describen (Duran, 2022). Aunque los modelos de simulación ofrecen beneficios evidentes, muchas veces los agricultores son reticentes a adoptar nuevas tecnologías debido a la incertidumbre sobre su efectividad en comparación con las prácticas tradicionales.

Ventajas y limitaciones de las metodologías de modelación

los modelos de simulación ofrecen múltiples ventajas en la gestión de los sistemas agropecuarios. Según (Bernandino Candelaria Martinez, 2011). estos permiten evaluar estrategias productivas a largo plazo sin necesidad de realizar experimentos costosos en el mundo real. Otras investigaciones como los de (Caballero, 2003-2024) resaltan que los modelos pueden simular una amplia variedad de escenarios, lo que ayuda a prever los efectos del cambio climático y otros factores medio ambientales sobre los sistemas de producción (Alicia Acosta, 2010).

sin embargo, algunas limitaciones de estos modelos también son evidentes, (Martimez, 2020) indican que la precisión de los modelos depende en gran medida de la cantidad de los datos disponibles, en áreas donde los datos son escasos o inexactos, los modelos podrían producir resultados engañosos. Incluso (Urrenda, 2012 citada 2022), destacan que los modelos no siempre pueden capturar la complejidad total de los sistemas agropecuarios, especialmente cuando se trata de sistemas mixtos y policultivos.

Finalmente, (Nuñez, 2019), tiene como argumento que, aunque los modelos ofrecen información valiosa, su implementación en el campo requiere inversiones significativas en infraestructura tecnológica, capacitación y recopilación de datos.

Conclusión

La modelación de sistemas agropecuarios se ha consolidado hoy en día como una herramienta esencial para abordar los desafíos contemporáneos del sector agropecuario. En estudios recientes se destacan la importancia de estos modelos en la optimización y eficiencia de la producción y la gestión de los recursos, lo es particularmente relevante si hablamos de cambios climáticos y escasez de recursos (Alicia Acosta, 2010); (Bernandino Candelaria Martinez, 2011). Además, la aplicación de modelos de simulación ha permitido a los agricultores adaptar sus prácticas a las variaciones climáticas y a las exigencias del mercado (Fernando, 2024).

Investigaciones indican que el uso de modelaciones en sistemas mixtos de cultivos y ganadería contribuye a la sostenibilidad y rentabilidad de las prácticas agrícolas (Choque-Quispe, 2021). En particular, la simulación ha demostrado ser útil para evaluar el impacto en diferentes estrategias de gestión, permitiendo una mejor planificación, control y toma de decisiones informadas y con soporte en base de datos (Mora-Herrera, 2021).

De igual forma, la incorporación de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial, en la modelación de sistemas de producción ha mejorado significativamente la precisión de las predicciones lo que ha permitido la optimización de recursos y minimización en cuanto a costos y gastos se habla (Caballero, 2003-2024). Mas sin embargo a pesar de todas estas ventajas; los desafíos relacionados con la disponibilidad de datos y la capacitación de los agricultores y productores sigue siendo una barrera

para la adopción efectiva de estos modelos en diversas regiones y sectores (Lefteris Benos, 2021).

La modelación de sistemas de producción agropecuarios es un componente clave para la innovación en el sector agropecuario. A paso de que se desarrollan y adoptan nuevas tecnologías, el potencial de estos modelos para transformar la producción agrícola y pecuaria para contribuir a la sostenibilidad global y que esta siga creciendo.

Referencias

Alicia Acosta, e.-a. (2010). Costa Rica: efectos del cambio climático sobre la agricultura. *Naciones Unidas CEPAL, CCAD, DFID*, 76.
doi:[E/]LC/MEX/L.972

Bastidas-Orrego, L. M. (2023). A systematic review of the evaluation of agricultural policies:. *Heliyon*, 17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20292>

- Barrientos-Monsalve Ender José, Sotelo-Barrios Mauricio Enrique y Hoyos-Patiño Johann Fernando (2023). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Guía práctica para la formulación de proyectos de investigación con ejemplos en áreas de administración y diseño. Primera edición. Ocaña, Norte de Santander: Universidad Francisco de Paula Santander; Bogotá: Ecoe Ediciones, 100 páginas. ISBN 978-958-503-827-1 (impreso) -- 978-958-503-828-8 (digital) <https://n9.cl/36lba>
- Bernardino Candelaria Martinez, e. (2011). Aplicacion de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. *SciELO*, 12.
- Bilgen, S. (2021). Modelos de optimización para la planificación de la cosecha y la producción en la cadena de suministro agroalimentaria: una revisión sistemática. *MDPI*, 52. doi:<https://doi.org/10.3390/logistics5030052>
- Caballero, F. S. (2003-2024). *MODELOS DE SIMULACIÓN DE CULTIVOS. CARACTERÍSTICAS Y USOS*. *Cultivos Tropicales, Sistema de informacion científica Redalyc*, 73-82.
- Choque-Quispe, D. (10 de 05 de 2021). Una revisión de modelación basada en agentes para la simulación de sistemas agropecuarios. *uaniversidad Nacional de Colombia*, 88(217), 4. doi:<https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.89133>
- Commission, E. (2021). *Modelización de explotaciones agrícolas mixtas con producción ganadera para apoyar la reflexión estratégica de los agricultores: el enfoque CLIFS*. Obtenido de https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/modelling-mixed-crop-livestock-farms-supporting-farmers-strategic-reflections-clifs_en
- Duran, E. (2022). La modelación y simulación matemáticas: una herramienta para la protección de cultivos. *Rev. Mex. Cienc.*, 13, 12. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.2922>
- Ellis, E. (2024). Importance of on-farm research for validating process-based models of climate-smart agriculture. *Carbon Balance and Management*, 12. doi:<https://doi.org/10.1186/s13021-024-00260-6>
- Fernando, S. (2024). Aplicación de métodos de recolección de datos cualitativos en la ciencia agrícola. *IGI Global*, 36. doi:10.4018/979-8-3693-8689-7.ch008
- Florido-Bacallao, R. (2020). Aplicación de la herramienta de modelación DSSAT para estimar la dosis optima de fertilizante nitrogenado para la variedad de arroz J-104. <http://ediciones.inca.edu.cu/>, 16.
- Hernandez, N. (2009 citado 2022). *Modelos de simulación de cultivos. Características y usos*. La Habana, Cuba: SciELO.
- Lefteris Benos, e. (2021). Aprendizaje automático en la agricultura: una revision completa y actualizada. *Sensores y robótica para la agricultura digital*. doi:<https://doi.org/10.3390/s21113758>

- Martínez, P. J. (2020). *La evaluación del impacto en la práctica*. Grupo Banco Mundial.
- Mora-Herrera, D. Y. (2021). Una revisión del modelado basado en agentes para la simulación de sistemas agrícolas. *Dyna rev.fac.nac.minas vol.88 no.217 Medellín*, 16. doi:<https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.89133>
- Núñez, A. C. (2019). Evaluación de la eficiencia relativa de los sistemas de producción porcícolas del departamento de envoltorio de datos (DEA). *Universidad Nacional de Colombia*, 140.
- Oliveira, R. C. (2023). Inteligencia artificial en la agricultura: beneficios, desafíos y tendencias. *MDPI*, 13. doi:<https://doi.org/10.3390/app13137405>
- Patiño, J. F. H., Carrascal, B. L. V., Bautista, D. R., & Díaz, N. G. (2023). Impacto transformador de la inteligencia artificial y aprendizaje autónomo en la producción agropecuaria: un enfoque en la sostenibilidad y eficiencia. *Formación Estratégica*, 7(1), 40-55. <https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/111>
- Priya, A. (2021). Metodología de estudio de caso de la investigación cualitativa: atributos clave y cómo abordar los enigmas de su aplicación. *Boletín Sociológico*, 94-110. doi:<https://doi.org/10.1177/0038022920970318>
- Ramon Espinel, e. (2024). Inteligencia Artificial en la cartografía agrícola: una revisión. *Agriculture*, 36. doi:<https://doi.org/10.3390/agriculture14071071>
- Rebs, T. (2019). Modelado de dinámica de sistemas para la gestión sostenible de la cadena de suministro: una revisión de la literatura y un enfoque de pensamiento sistémico. *ScienceDirect*, 15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.100>
- Rodríguez-et, a. (Abril-Junio de 2020). Aplicación de la herramienta de modelación DSSAT para estimar la dosis. (R. F.-B. Osmel Rodríguez-González, Ed.) *Instituto Nacional De Ciencias Agrarias INCA*, 16. Obtenido de <http://ediciones.inca.edu.cu/>
- Rojas, M. (2019). Dinámica de los sistemas agrícolas y territoriales en el Mediterráneo: integración de diferentes escalas espacio-temporales y enfoques de gestión. *ScienceDirect*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104082>
- Ronny, C. O. (2016). *Modelos de simulación y herramientas de modelaje. Elementos conceptuales y sistematización de herramientas para apoyar el análisis de impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre las actividades agrícolas*. San Jose, Costa Rica: EUROCLIMA.
- Segovia, J. S. (23 de 01 de 2021). Estudio del uso de técnicas de inteligencia artificial aplicadas para análisis de suelos para el sector agrícola. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 5, 19. doi:[https://doi.org/10.26820/recimundo/5.\(1\).enero.2021.4-19](https://doi.org/10.26820/recimundo/5.(1).enero.2021.4-19)

- Stark, F. (26 de mayo de 2020). Crop-livestock integration determines the agroecological performance of mixed farming systems in Latino-Caribbean farms. *HAL open science*, 12. doi:<https://doi.org/10.1007/s13593-017-0479-x>
- Talari, G. (2022). State of the art review of Big Data and web-based Decision Support Systems (DSS) for food safety risk assessment with respect to climate change. <http://www.elsevier.com/locate/tifs>, 13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.032>
- Urrenda, E. a. (2012 citada 2022). DISEÑO Y ANÁLISIS DE SISTEMAS PRODUCTIVOS UTILIZANDO LA OPTIMIZACION MEDIANTE SIMULACION BASADA EN INTERNET. *Revista Ingenieria Industrial* , 13.
- Uzbekistan. (2018- Citado 2022). ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELING OF OPTIMIZATION PRODUCTION OF AGRICULTURAL PRODUCTION . *Research in Business Management*, 12.