

Aplicación de Redes Bayesianas para la Optimización del Control de Plagas y Enfermedades en la Agricultura

Application of Bayesian networks for the optimization of pest and disease control in agriculture

Ronaldo Quispe-Quispe, Erika Condori-Arapa

Resumen

Objetivos: Analizar las aplicaciones de redes bayesianas en el control de plagas y enfermedades agrícolas, identificando los cultivos más investigados, las variables clave modeladas, y los enfoques utilizados en los estudios realizados entre los años 2009 y 2024.

Metodología: Se realizó un estudio bibliográfico de revisión sistemática sobre la aplicación de redes bayesianas en el control de plagas y enfermedades agrícolas en los últimos 15 años. Se consideró la búsqueda en bases de datos Scopus.

Introducción

La agricultura moderna enfrentaba desafíos crecientes debido al impacto de plagas y enfermedades en los cultivos, lo que comprometía tanto la productividad como la sostenibilidad. En este contexto, optimizar la gestión de estos factores era crucial. Herramientas como las redes bayesianas surgieron como un enfoque prometedor, al permitir la integración de diversos datos y el modelado de la incertidumbre inherente a los sistemas agrícolas. Este enfoque no solo mejoró la toma de decisiones, sino que también facilitó la reducción del uso de pesticidas, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Las redes bayesianas fueron propuestas como una herramienta clave en la “optimización de las redes de monitoreo de plagas, mejorando la detección temprana y reduciendo la dependencia de pesticidas” [1]. Este tipo de modelado probabilístico permitió detectar patrones de infestación de plagas de manera más temprana, facilitando intervenciones más oportunas y menos invasivas. Otros estudios “exploraron cómo estas redes permiten comparar diferentes estrategias de control en las cadenas de producción agrícola” [2], proporcionando un marco para evaluar intervenciones en tiempo real y en función de los riesgos emergentes. De igual forma, se destacó “su aplicación en la modelación del conocimiento experto para optimizar la aplicación de insumos agrícolas, como fungicidas” [3], donde la capacidad de integrar el conocimiento experto en un formato computacional permitió tomar decisiones más informadas y menos dependientes de la intuición humana.

Se consideró fundamental el desarrollo de “sistemas expertos que integran redes bayesianas con datos empíricos para gestionar plagas y enfermedades en cultivos específicos” [4]. Esta integración ofreció un

enfoque robusto para abordar desafíos locales específicos, como las condiciones climáticas y las particularidades de cada cultivo. Además, “las redes bayesianas son una herramienta eficaz en aplicaciones inteligentes, optimizando los procesos agrícolas de manera más precisa” [5]. El uso de esta tecnología permitió no solo el control de plagas, sino también la eficiencia en la asignación de recursos, lo que resultó en una mejora de la productividad. También se destacó que “el enfoque participativo permitió la inclusión de diversas perspectivas en la modelación del hábitat y el control biológico” [6], lo que agregó valor a los modelos al considerar el conocimiento y las prácticas tradicionales de los agricultores.

Estas herramientas “se utilizaron para modelar las interacciones en los ecosistemas agrícolas, maximizando los servicios ecosistémicos” [7], lo que dio como resultado un enfoque más holístico de la gestión agrícola que incluyó la mejora de la biodiversidad y la sostenibilidad del ecosistema en su conjunto. En escenarios afectados por “el cambio climático, se analizaron prácticas tradicionales que mitigan los impactos negativos en los cultivos andinos” [8,9]. Este análisis mostró cómo las soluciones basadas en la resiliencia ecológica eran complementarias a las técnicas de control convencionales, especialmente en regiones vulnerables a eventos climáticos extremos. La investigación también “abordó cómo superar las barreras relacionadas con el uso excesivo de pesticidas en la agricultura de pequeña escala” [10], donde la adopción de alternativas de control biológico, como las redes bayesianas, contribuyó a la reducción de la dependencia de los productos químicos.

Se consideró “La perspectiva de los distribuidores agrícolas se consideró en el diseño de certificaciones para reducir los riesgos asociados al uso de pesticidas” [11], lo

que subrayó la importancia de involucrar a todos los actores de la cadena de valor agrícola para implementar prácticas más sostenibles. Además, “un sistema experto diseñado específicamente para el cultivo de la uva optimizó el control de plagas y enfermedades, aumentando la eficiencia y reduciendo el impacto ambiental” [12]. Este enfoque destacó la relevancia de adaptar las herramientas tecnológicas a cultivos específicos, como la vid, para lograr resultados óptimos de protección vegetal. Finalmente, “se combinaron modelos matemáticos avanzados con redes bayesianas para mejorar la gestión de los sistemas agrícolas y optimizar la toma de decisiones” [13]. Estos enfoques matemáticos ofrecieron la capacidad de predecir escenarios complejos y ajustar las intervenciones en función de los datos y la incertidumbre actual.

También se observó que “la mayor concentración de recursos diluye los efectos de

las plagas clave, lo que permite un manejo más eficiente de los insectos en los sistemas de cultivo de papa autóctonos” [14], lo que mostró cómo un enfoque ecológico puede reducir la presión sobre los sistemas de control de plagas. Asimismo, “se implementó un enfoque de comunicación bayesiana eficiente para promover aplicaciones de agricultura inteligente” [15], lo que permite a los agricultores tomar decisiones informadas basadas en datos dinámicos y condiciones cambiantes.

En este trabajo, se analizó la aplicación de redes bayesianas para optimizar el control de plagas y enfermedades en la agricultura. Con base en la revisión de investigaciones recientes, se exploraron los avances tecnológicos, los desafíos y las oportunidades que ofrecen estas herramientas para mejorar la sostenibilidad agrícola, maximizar el rendimiento y reducir el impacto ambiental.

Metodo

Tipo de Estudio

Se realizó un estudio de revisión bibliográfica sistemática sobre la aplicación de redes bayesianas en el control de plagas y enfermedades agrícolas durante el periodo 2009-2024. La búsqueda se centró en investigaciones publicadas en inglés y español, realizadas a nivel mundial. Las palabras clave utilizadas incluyen: redes bayesianas, control de plagas agrícolas, manejo de enfermedades y agricultura inteligente. Se excluyeron estudios fuera del rango temporal establecido y que no utilizaran redes bayesianas como herramienta principal en su análisis.

Técnicas e Instrumentos

Se utilizó la técnica de observación para sistematizar la información extraída de los artículos originales. Se diseñó un formulario de registro para clasificar los estudios con

base en indicadores como tipo de estudio, variables analizadas, cultivos investigados, región geográfica y aplicaciones específicas de las redes bayesianas.

Procedimiento de Búsqueda Bibliográfica

La búsqueda se realizó en bases de datos científicas reconocidas como Scopus (<https://www.scopus.com>), seleccionadas por su cobertura de disciplinas relevantes al tema. Este proceso se desarrolló durante un periodo de dos semanas, del 15 al 30 de noviembre de 2024.

Para asegurar la calidad de los resultados, se aplicarán las fases del diagrama de flujo PRISMA. La figura 1 muestra todo el proceso desarrollado. En la fase de identificación, se recuperaron 46 artículos potenciales utilizando palabras clave rela-

cionadas con redes bayesianas, control de plagas y enfermedades agrícolas. Durante la selección, se revisaron títulos, resúmenes y metodologías, seleccionando los estudios más relevantes para los objetivos de la investigación. En la fase de elegibilidad, se incluyeron estudios que abordaran específicamente el uso de redes bayesianas en aplicaciones agrícolas prácticas. Finalmente, se sistematizaron 15 artículos que cumplieron con los criterios establecidos.

mencionaron específicamente las redes bayesianas, los estudios exclusivamente teóricos, las revisiones sistemáticas, los metaanálisis y aquellos que no presentaron resultados concretos aplicables al control de plagas y enfermedades agrícolas. Este procedimiento permitió identificar y organizar las contribuciones clave, proporcionando una base sólida para analizar el uso de redes bayesianas en la gestión agrícola.

Se excluyeron las investigaciones que no

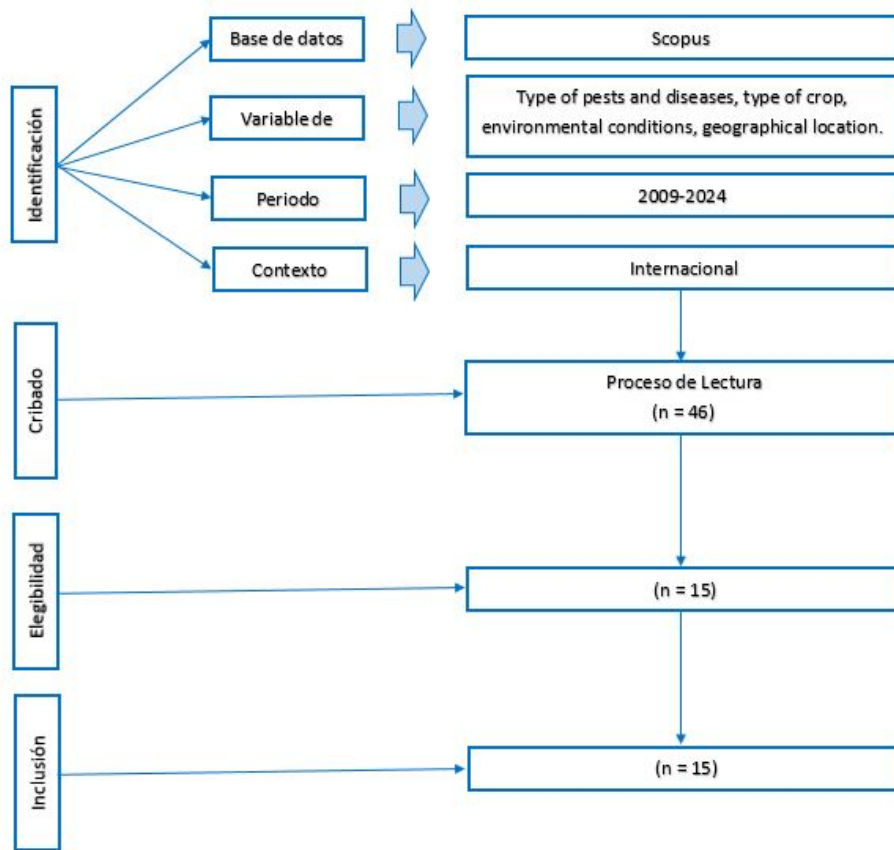


Figura 1: Diagrama de flujo PRISMA utilizado para la revisión sistemática.

Referencias

- [1] M. J. Cros, J. N. Aubertot, S. Gaba, X. Reboud, R. Sabbadin, and N. Peyrard. Improving pest monitoring networks using a simulation-based approach to contribute to pesticide re-
- duction. *Theoretical Population Biology*, 141:24–33, 2021.
- [2] J. Holt, A. W. Leach, S. Johnson, D. M. Tu, D. T. Nhu, N. T. Anh, M. M. Quinlan, P. J. L. Whittle, K. Mengersen, and J. D. Mumford. Bayesian net-

- works to compare pest control interventions on commodities along agricultural production chains. *Risk Analysis*, 38(2):297–310, 2018.
- [3] G. V. C. Figueiredo, L. H. Fantin, M. G. Canteri, J. C. F. Da Rocha, and D. De Souza Jaccoud Filho. A bayesian probability model can simulate the knowledge of soybean rust researchers to optimize the application of fungicides. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*, 10(4):37–51, 2019.
- [4] I. M. Del Águila, J. Del Sagrado, S. Túnez, and F. J. Orellana. Seamless software development for systems based on bayesian networks: An agricultural pest control system example. In *ICSOF 2010 - Proceedings of the 5th International Conference on Software and Data Technologies*, volume 2, pages 456–461, 2010.
- [5] W. Guo, Q. Xiao, Y. Hou, E. Wang, and X. Zhang. Bayesian network learning based on relationship prediction pso and its application in agricultural expert system. In *2013 25th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2013*, volume 1, pages 1818–1822, 2013.
- [6] N. Salliou, A. Vialatte, C. Monteil, and C. Barnaud. First use of participatory bayesian modeling to study habitat management at multiple scales for biological pest control. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(1), 2019.
- [7] P. Tixier, N. Peyrard, J. N. Aubertot, S. Gaba, J. Radoszycki, G. Caron-Lormier, F. Vinatier, G. Mollot, and R. Sabbadin. Modelling interaction networks for enhanced ecosystem services in agroecosystems. In *Advances in Ecological Research*, volume 49, 2013.
- [8] P. J. Gregory, S. N. Johnson, A. C. Newton, and J. S. I. Ingram. Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *Journal of Experimental Botany*, 60(10):2827–2838, 2009.
- [9] A. M. Visscher, S. Vanek, J. Huarcaca, J. Mendoza, R. Ccanto, K. Meza, E. Olivera, M. Scurrah, C. Wellstein, G. Bonari, S. Zerbe, and S. J. Fonte. Traditional soil fertility management ameliorates climate change impacts on traditional andean crops within smallholder farming systems. *Science of the Total Environment*, 912:168725, 2024.
- [10] C. Hammond Wagner, M. Cox, and J. L. Bazo Robles. Pesticide lock-in in small scale peruvian agriculture. *Ecological Economics*, 129:72–81, 2016.
- [11] J. A. Tambo, K. Holmes, C. Aliamo, F. Mbugua, C. Aloit, F. Muzira, A. Byamugisha, and P. Mwambu. Agro-input dealers’ perspectives on the design of a certification scheme for pesticide risk reduction. *Pest Management Science*, January 2024.
- [12] J. Emilio, R. Yaya, and L. E. Dami. Diseño e implementación de un sistema experto para optimizar el control de plagas y enfermedades en el cultivo de la uva. *Nawparisun - Revista de Investigación Científica*, 3(1):83–96, 2020.
- [13] C. Wang, Y. Zhang, and Z. Ding, H. Applied mathematics and nonlinear sciences. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 8(2):3383–3392, 2023.
- [14] S. Parsa, R. Ccanto, and J. A. Rosenheim. Resource concentration dilutes a key pest in indigenous potato agriculture. *Ecological Applications*, 21(2):539–546, 2011.

- [15] C. Razafimandimby, V. Loscrí, A. M. Vegni, and A. Neri. Efficient bayesian communication approach for smart agriculture applications. In *IEEE Vehicular Technology Conference*, pages 1–5, 2017.