Optimización y Evaluación Comparativa de Métodos Computacionales en Sistema de Predicción del Rendimiento de Cultivos

Por:

Miguel Angel Panqueva Pulido

Andrés Felipe Arias Guevara



Ingeniería de sistemas

Bogotá D.C.

2025

**Resumen**

**Índice**

**Introducción**

**Planteamiento del problema**

El sector agrícola enfrenta desafíos constantes relacionados con la variabilidad climática, las propiedades del suelo y el costo de los insumos, lo que dificulta la planificación y optimización de la producción. En este contexto, contar con modelos predictivos robustos es esencial para tomar decisiones informadas y reducir riesgos.

En un trabajo previo, se desarrollaron pruebas de concepto en MATLAB aplicando redes neuronales NARX y sistemas difusos. Estas pruebas consistieron en:

* Ajuste de parámetros como número de neuronas, retardos y reglas difusas.
* Análisis de distintas combinaciones de variables (lluvia, temperatura, pesticidas) y configuraciones de datasets.
* Optimización básica mediante algoritmos genéticos y métodos Cuasi-Newton.

Si bien estos experimentos permitieron evidenciar tendencias y potenciales ventajas de cada técnica, también revelaron limitaciones:

* Dataset limitado y con pocas variables.
* Falta de normalización y validación cruzada rigurosa.
* Complejidad de algunos modelos sin mejoras significativas en precisión.

Por lo anterior, surge la necesidad de refinar y ampliar este trabajo con un enfoque más metodológico y sistemático, evaluando el rendimiento de cada técnica bajo condiciones más completas y documentadas.

**Justificación**

Este proyecto busca consolidar un análisis detallado de métodos computacionales para predicción agrícola, con mejoras significativas respecto al trabajo previo:

* Mayor solidez científica: Se propone trabajar con datasets más diversos, integrando variables adicionales (humedad del suelo, radiación solar, prácticas de cultivo, entre otras).
* Optimización realista: Ajustar los modelos mediante técnicas matemáticas y computacionales, priorizando interpretabilidad y escalabilidad.
* Comparación clara: Documentar ventajas y limitaciones de cada enfoque, facilitando su elección en escenarios reales.
* Aporte académico: Generar una monografía de grado que no solo aplique herramientas, sino que explique en profundidad su funcionamiento, su ajuste y su impacto práctico.

Este proyecto permitirá pasar de simples pruebas de concepto a una propuesta rigurosa, replicable y con potencial de implementación.

**Objetivos**

**General**

Desarrollar y documentar un estudio comparativo y optimizado de métodos computacionales (redes neuronales, lógica difusa y técnicas de optimización) para la predicción del rendimiento de cultivos, integrando nuevas variables, configuraciones y datos.

**Específicos**

1. Analizar el trabajo previo realizado en MATLAB y sistematizar los resultados de las pruebas iniciales.
2. Incorporar datasets más completos y variables adicionales relevantes para la producción agrícola.
3. Ajustar y optimizar modelos de redes neuronales y sistemas difusos mediante métodos matemáticos avanzados.
4. Realizar validaciones exhaustivas (normalización, validación cruzada, particiones de entrenamiento, validación y prueba).
5. Comparar el desempeño de cada técnica usando métricas estadísticas (ECM, MAE, R²) y criterios de complejidad e interpretabilidad.
6. Elaborar una monografía con los hallazgos, recomendaciones y propuestas de mejora para aplicaciones prácticas.

**Marco referencial**

**Marco Teórico**

* Modelado de sistemas agrícolas: Revisión de variables críticas que impactan en la productividad.
* Redes neuronales: Arquitectura, parámetros clave y su uso en series temporales.
* Lógica difusa: Fundamentos matemáticos, diseño de reglas, funciones de pertenencia y sistemas de inferencia.
* Optimización: Métodos Cuasi-Newton, algoritmos genéticos y otras técnicas para ajuste de modelos.
* Comparación de métodos: Discusión sobre interpretabilidad, costo computacional y escalabilidad.

**Estado del Arte**

Revisión de literatura reciente sobre modelos híbridos (difuso-neuronales), uso de machine learning clásico y técnicas matemáticas aplicadas a predicción agrícola.

**Metodología**

1. Revisión bibliográfica: Sistematizar estudios relacionados con predicción de cultivos.
2. Análisis del trabajo previo: Documentar en detalle las pruebas de concepto realizadas en MATLAB.
3. Adquisición y preprocesamiento de datos: Integrar datasets públicos y privados, limpiar, normalizar y preparar datos.
4. Implementación de modelos:

* Redes neuronales NARX con distintas configuraciones.
* Sistemas difusos ajustados con diferentes funciones de pertenencia y reglas.
* Algoritmos de optimización para refinamiento de parámetros.

1. Validación: Aplicar validación cruzada, análisis de sensibilidad y pruebas con datos no vistos.
2. Comparación: Evaluar modelos según métricas estadísticas, interpretabilidad y escalabilidad.
3. Monografía: Documentar resultados, análisis crítico y proyecciones.

**Cronograma tentativo**

| Actividad | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 | Mes 4 | Mes 5 | Mes 6 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Revisión bibliográfica | X | X |  |  |  |  |
| Análisis del trabajo previo | X | X |  |  |  |  |
| Procesamiento de datos |  | X | X |  |  |  |
| Implementación de modelos |  |  | X | X |  |  |
| Validación y evaluación comparativa |  |  |  | X | X |  |
| Redacción de monografía |  |  |  |  | X | X |
| Revisión final |  |  |  |  |  | X |

**Recursos**

* Software: MATLAB, Python, librerías para optimización y lógica difusa.
* Hardware: Computador de mediano rendimiento para simulación y análisis.
* Datos: Series históricas de clima, manejo de cultivos y rendimiento.
* Bibliografía: Acceso a publicaciones académicas.

**Resultados esperados**

* Un análisis profundo de técnicas computacionales aplicadas a predicción agrícola.
* Modelos más robustos, con menor error y mejor capacidad de generalización.
* Documentación clara que sirva como referencia para futuras investigaciones.

**Referencias bibliográficas**

* Abrougui, K., Gabsi, K., Mercatoris, B., Khemis, C., Amami, R., & Chehaibi, S. (2019). Prediction of organic potato yield using tillage systems and soil properties by artificial neural network (ANN) and multiple linear regressions (MLR). *Soil and Tillage Research, 190*, 202–208. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.01.011>
* Garg, B., Aggarwal, S., & Sokhal, J. (2018). Crop yield forecasting using fuzzy logic and regression model. *Computers & Electrical Engineering, 67*, 383–403. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.08.001>
* Hernández, N., Soto, F., & Caballero, A. (2009). Modelos de simulación de cultivos: Características y usos. *Cultivos Tropicales, 30*(1), 1–10. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S0258-59362009000100014](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100014&utm_source=chatgpt.com)
* Jayaram, M. A., & Marad, N. (2013). Fuzzy inference systems for crop yield prediction. *Journal of Intelligent Systems, 21*(4), 363–372. <https://doi.org/10.1515/jisys-2012-0016>
* Khaki, S., & Wang, L. (2019). Crop yield prediction using deep neural networks. *Frontiers in Plant Science, 10*, 621. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00621>
* López Seijas, T., Cabrera Pérez, J., Hernández, A., & Arias, M. (2010). Adecuación de un modelo de simulación de cultivo para la predicción del crecimiento y producción del arroz en el sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 19*(1), 90–95. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100014>
* Pascual, I. de los A., Ramírez, J. L., & Ortiz, A. (2016). Métodos de inteligencia artificial para la predicción del rendimiento y calidad de gramíneas. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 17*(12), 1–9. [http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63649052026](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63649052026&utm_source=chatgpt.com)
* Rashid, M., Bari, B., Yusup, Y., Kamaruddin, M., & Khan, N. (2021). A comprehensive review of crop yield prediction using machine learning approaches with special emphasis on palm oil yield prediction. *IEEE Access, 9*, 72390–72410. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3075159>
* Servín Palestina, M., Salazar, R., López-Cruz, I., Medina-García, G., & Cid-Ríos, J. (2022). Predicción de la producción y rendimiento de frijol con modelos de redes neuronales artificiales y datos climáticos. *Biotecnia, 24*(2), 104–111. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1664>
* Stathakis, D., Savin, I., & T., A. (2006). Neuro-fuzzy modeling for crop yield prediction. *Environmental Modelling & Software, 21*(10), 1432–1440. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.07.013