



Dr. Aldo Márquez Grajales

Doctor en Inteligencia Artificial

Candidata o Candidato a Investigadora o Investigador Nacional (SNII-C)

Datos de contacto:

aldo.marquez@infotec.mx



Predicción de sequía en la parte central del estado de Veracruz mediante redes neuronales recurrentes

Datos Generales

Resumen ejecutivo

La sequía es un fenómeno de evolución lenta que se ha intensificado con el paso del tiempo debido al potencializado cambio climático, afectando diversos ámbitos de la economía mundial. En México, particularmente, se han documentado afectaciones en la agricultura, ganadería, distribución de agua, etc. Por ello, existen planes de prevención y contingencia donde el gobierno, junto con expertos del área, suman esfuerzos para afrontar y minimizar sus efectos. Sin embargo, la mayoría de estos esfuerzos están focalizados en utilizar índices basados en datos climáticos, los cuales son recopilados a través de estaciones climáticas y que por lo general presentan un grado alto de datos faltantes. Por tal motivo, este proyecto pretende sumar herramientas tecnológicas que sirvan de apoyo en la predicción y monitoreo temprano de las condiciones e intensidad de la sequía, mediante la implementación de técnicas de Inteligencia Artificial (IA), como las redes neuronales recurrentes e imágenes multiespectrales utilizadas para el cálculo de índices de percepción remota.

Línea General y Aplicación del Conocimiento (LGAC)

11. Analítica de grandes cúmulos de información

Palabras clave

Redes neuronales recurrentes, sequía, percepción remota, NDDI

Objetivo General

Implementar técnicas de Inteligencia Artificial para desarrollar herramientas tecnológicas de monitoreo y predicción de la sequía en México mediante redes neuronales recurrentes alimentadas a través de imágenes multiespectrales, con la finalidad de apoyar a los expertos en climatología y a las dependencias de gobierno pertinentes en la minimización de los efectos de tal fenómeno, así como, proporcionar elementos para entender su comportamiento y tomar decisiones oportunas en etapas tempranas de la presencia de este fenómeno.

Objetivos específicos

- Investigar los procedimientos actuales para realizar el monitoreo y predicción de la sequía en la zona de estudio (zona central del estado de Veracruz).
- Generar bases de datos usando imágenes multiespectrales de la zona de estudio en años con presencia y ausencia del fenómeno para la implementación de un monitor de sequía automático que sirva de apoyo al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y una predicción futura a corto plazo.
- Seleccionar los algoritmos de IA (redes neuronales recurrentes) para realizar predicciones de sequía a corto plazo.
- Comparar el rendimiento de la predicción contra los datos observados reportados en el área de estudio.

Datos del proyecto

Descripción

La sequía es un fenómeno de evolución lenta que se ha intensificado con el paso del tiempo debido al potencializado cambio climático, afectando diversos ámbitos de la economía mundial. En México, particularmente, se han documentado afectaciones en la agricultura, ganadería, distribución de agua, etc. Por ello, existen planes de prevención y contingencia donde el gobierno, junto con expertos del área, suman esfuerzos para afrontar y minimizar sus efectos. En este sentido, este proyecto pretende sumar herramientas tecnológicas que sirvan de apoyo en la toma de decisiones ante tales adversidades. Principalmente, se enfoca en la predicción y monitoreo temprano de las condiciones e intensidad de la sequía, mediante la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial (redes neuronales recurrentes), para determinar el comportamiento del fenómeno en tiempo presente y futuro. El periodo de predicción será a corto plazo (máximo 6 meses) debido a que las condiciones climáticas están sujetas a cambios constantes y acelerados. Adicionalmente, la propuesta brinda una alternativa a este tipo de estudios tradicionales o convencionales relacionados con la sequía (monitoreo y predicción), proponiendo como principal fuente de información a la percepción remota (imágenes multiespectrales). Lo anterior, se debe a que en México la información climática es cada vez más deficiente, en periodo y distribución.





Antecedentes del problema a resolver

Una de las herramientas utilizadas actualmente para la predicción de fenómenos climáticos futuros es la Inteligencia Artificial (IA). Dentro de la IA podemos encontrar el aprendizaje profundo (ML, por sus siglas en inglés), el cual es una colección amplia de algoritmos que son utilizados para la creación de modelos que pueden aprender de datos históricos, con el objetivo de poder realizar predicciones o poder conocer relaciones entre variables (Baştanlar & Özuysal, 2014; Díaz-Ramírez, 2021; Ospina-Gutiérrez & Aristizábal, 2021; Rouhiainen, 2018). En este sentido se ha investigado el uso de redes neuronales recurrentes como la red neuronal llamada Long Short-Term Memory (LSTM). LSTM consiste en un conjunto de redes neuronales artificiales profundas capaces de aprender comportamientos de series de tiempo usando lapsos de tiempo previos superiores a 1000 observaciones, dependiendo de la complejidad del modelo construido (Staudemeyer & Rothstein Morris, 2019). El LSTM se ha aplicado en diversos estudios relacionados con sequía y en conjunto con diversos índices climáticos tradicionales. Danandeh Mehr et al. (2023) realizaron la implementación de un modelo híbrido llamado red convolucional de memoria a corto plazo (CNN-LSTM), en regiones de Turquía y utilizando el índice Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI, por sus siglas en inglés). Los resultados encontrados describen valores de la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE, por sus siglas en inglés) entre 0.38 a 0.75 y el Error Medio Absoluto (MAE, por sus siglas en inglés) entre 0.28 a 0.60. Ellos concluyeron que la propuesta es prometedora y confiable para la predicción de sequía utilizando SPEI. Por otro lado, Xu et al., (2022) utilizaron la red LSTM para predecir el comportamiento de la sequía mediante el índice SPEI en China. Sus resultados muestran valores de RMSE entre 0.536 a 0.949 y MAE entre 0.444 a 1.057, concluyendo que mientras mayor sea el tiempo de pronóstico los errores se vuelven más grandes. Así mismo, la aplicación de diversas técnicas de aprendizaje profundo han sido documentadas en diversos trabajos para la predicción de sequía, como lo son: extreme gradient boosting, support vector regression, extra trees, multi-layer perceptron, bias-corrected random forests y tree forests. Sin embargo, al momento de la predicción del fenómeno los valores de RMSE oscilan entre 0.23 y 0.47. Para el caso de MAE, este puede llegar hasta valores de 0.375 (Feng et al., 2019; Park et al., 2019; Wang et al., 2023). Sin embargo, los estudios predictivos aplicando IA son muy limitados alrededor del mundo e inexistente en México. Adicionalmente, no se encontraron trabajos donde se utilizaran índices de percepción remota (índice de sequía de diferencia normalizada, NDDI) como entrada de LSTM para predicción de sequía (Feizizadeh et al., 2021; Feng et al., 2019; Jiao et al., 2021).

Justificación y pertinencia

Uno de los fenómenos de evolución lenta y con impactos considerables es la sequía. Dicho fenómeno puede definirse como un periodo de condiciones anormalmente secas durante el tiempo suficiente para causar un desequilibrio hidrológico grave (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022). Los impactos de la sequía principalmente se reportan en la agricultura y la ganadería (Li et al., 2009; Nkedianye et al., 2011; Salas-Martínez, Valdés-Rodríguez, Palacios-Wassenaar, & Márquez-Grajales, 2021; Schmidhuber & Tubiello, 2007; Valdés-Rodríguez et al., 2023). México es altamente afectado por el fenómeno en cuestión. De acuerdo con lo reportado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), el cual es un organismo gubernamental encargado de evaluar las afectaciones por los fenómenos climáticos mediante una Declaratoria de Emergencia por Desastre Natural (DEDN), determinó que el año 2019 se presentaron grandes afectaciones por la sequía, reportando pérdidas económicas en el sector agrícola y ganadero que oscilan alrededor de los 27 millones de dólares estadounidenses (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). Para ese mismo año, pero en el estado de Veracruz se reportaron hasta 75 DEDN derivadas de afectaciones por la sequía (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2019). Lo anterior se debe a que el estado se dedica principalmente a las actividades agrícolas y ganaderas, las cuales son altamente afectadas por el fenómeno (Salas-Martínez, Valdés-Rodríguez, Palacios-Wassenaar, Márquez-Grajales, et al., 2021; Valdés-Rodríguez et al., 2021, 2023). Sin embargo, la mayoría de los estudios relacionados con la sequía, alrededor del mundo y en México, se ven limitados al comportamiento en tiempo pasado y futuro, utilizando periodos de tiempo mayores a 30 años (Cook et al., 2015; Spinoni et al., 2019, 2020; Touma et al., 2015; Wehner et al., 2011), situación que genera poca fiabilidad para su aplicación debido a los rápidos cambios en los sistemas climáticos de todo el mundo (Arias et al., 2021). En este mismo sentido, las predicciones futuras se realizan mediante modelos numéricos climáticos. Dichos modelos, utilizan ecuaciones matemáticas en conjunto con información meteorológica para la descripción de las condiciones iniciales, resolviendo repetidamente las ecuaciones en equipos de cómputo de gama alta o súper computo (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023; Stolz, 2008). Este proyecto incide en los ejes temáticos de "Agua" y "Energía y Cambio climático" del CONAHCYT. Para el primero, es necesario desarrollar herramientas para minimizar los impactos derivados por la sequía. Al mismo tiempo, se estará ayudando a analizar el desequilibrio hidrológico en México. Con respecto al eje "Energía y Cambio climático", este proyecto pretende proporcionar herramientas a los expertos de clima para que desarrollen acciones que ayuden a la población a minimizar los efectos de la sequía o incluso prevenirlos en etapas tempranas.

Metas

Las metas esperadas del presente proyecto son: 1. Obtener un análisis del comportamiento de la sequía en la región central del estado de Veracruz, para comprender y predecir el fenómeno a corto plazo (6 meses). 2. Caracterizar la sequía en la zona de estudio mediante índices de percepción remota, generando una base de datos de imágenes con la información de estos índices. 3. Implementar redes neuronales recurrentes para predecir la sequía en corto plazo. 4. Redactar artículos científicos y de divulgación para dar a conocer los resultados obtenidos. 5. Fomentar recurso humano en técnicas de IA aplicadas en el área climática.





Metodologías

La metodología a seguir para terminar el siguiente proyecto se describe a continuación. 1. Realizar una revisión del estado del arte sobre los métodos usados para la predicción de la sequía. Particularmente, revisar los métodos de inteligencia artificial empleados y cómo fueron aplicados. 2. Descargar las imágenes multiespectrales de la zona de estudio. 3. Realizar preprocesamiento de las imágenes multiespectrales para eliminar información que no es de interés o que pueda generar errores en los resultados, así como seleccionar las bandas necesarias para la estimación de la sequía. 4. Alinear todas las imágenes multiespectrales para que haya una correspondencia entre píxeles. 5. Crear una base de datos temporal donde cada píxel de la zona de estudio corresponde a una serie de tiempo construida con imágenes multiespectrales históricas dentro del lapso que indique la literatura para predicción climática. 6. Seleccionar e implementar los algoritmos de IA (redes neuronales recurrentes) para describir las condiciones de sequía en las imágenes multiespectrales, generando una predicción futura a corto plazo. 7. Analizar y comparar con los resultados con datos observados. 8. Redactar artículos de investigación con los resultados obtenidos.

Resultados esperados

- Documentación de la revisión sistemática de la literatura para identificar y analizar los efectos de la sequía en México.
- Documentación de la revisión sistemática de la literatura para identificar y seleccionar los algoritmos de Inteligencia Artificial (redes neuronales recurrentes) idóneos para la predicción de sequía.
- Una base de datos de imágenes multiespectrales utilizando, al menos, 10 años previos para analizar el comportamiento de la sequía.
- Código en python con la implementación de algoritmos de Inteligencia Artificial para la predicción a corto plazo de la sequía (máximo 6 meses).
- Errores de predicción bajos en años con presencia y ausencia de sequía en la zona de estudio.
- Borrador de artículo de revista, capítulo de libro o de divulgación.

Cronograma de trabajo

#	Entregable(s) comprometido(s)	Fecha inicio	Fecha fin
1	Artículo de investigación en revista especializada	01/03/2024	31/10/2024
2	Impartición de docencia.	01/08/2024	31/12/2024
3	Participación en comité tutoral, dirección o codirección de trabajo de titulación.	16/01/2024	31/12/2024
4	Divulgación	01/02/2024	31/05/2024
5	Difusión	01/10/2024	31/12/2024
6	Vinculación	01/01/2024	31/12/2024





Bibliografía relevante

- Arias, P., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R., Krinner, G., Marotzke, J., Naik, V., Palmer, M., Plattner, G.-K., Rogelj, J., Rojas, M., Sillmann, J., Storelvmo, T., Thorne, P., Trewin, B., Achutarao, K., Adhikary, B., Allan, R., Armour, K., ... Zickfeld, K. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Technical Summary. En V. Masson Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), *The Intergovernmental Panel on Climate Change AR6*. <https://elib.dlr.de/137584/> Baştanlar, Y., & Özuysal, M. (2014). Introduction to Machine Learning. En *miRNomics: MicroRNA Biology and Computational Analysis* (pp. 105-128). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-748-8_7 Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2019). Declaratorias sobre emergencia, desastres y contingencias climatológicas a nivel municipal entre 2000 y 2019. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/declaratorias-sobre-emergencia-desastre-y-contingencia-climatologica> Cook, B. I., Ault, T. R., & Smerdon, J. E. (2015). Unprecedented 21st century drought risk in the American Southwest and Central Plains. *Science Advances*, 1(1), e1400082. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400082> Danandeh Mehr, A., Rikhtehgar Ghiasi, A., Yaseen, Z. M., Sorman, A. U., & Abualigah, L. (2023). A novel intelligent deep learning predictive model for meteorological drought forecasting. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(8), 10441-10455. Díaz-Ramírez, J. (2021). Aprendizaje Automático y Aprendizaje Profundo. Ingeniería. Revista chilena de ingeniería, 29, 180-181. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052021000200180> Feizizadeh, B., Kazemi Garajeh, M., Lakes, T., & Blaschke, T. (2021). A deep learning convolutional neural network algorithm for detecting saline flow sources and mapping the environmental impacts of the Urmia Lake drought in Iran. *CATENA*, 207, 105585. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105585> Feng, P., Wang, B., Liu, D. L., & Yu, Q. (2019). Machine learning-based integration of remotely-sensed drought factors can improve the estimation of agricultural drought in South-Eastern Australia. *Agricultural Systems*, 173, 303-316. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.015> Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Annex I: Glossary. En *Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty* (pp. 541-562). Cambridge University Press. Jiao, P., Wang, J., Chen, X., Ruan, J., Ye, X., & Alavi, A. H. (2021). Next-generation remote sensing and prediction of sand and dust storms: State-of-the-art and future trends. *International Journal of Remote Sensing*, 42(14), 5277-5316. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1912433> Li, Y., Ye, W., Wang, M., & Yan, X. (2009). Climate change and drought: A risk assessment of crop-yield impacts. *Climate research*, 39(1), 31-46. <https://doi.org/doi.org/10.3354/cr00797> National Oceanic and Atmospheric Administration. (2023). Climate models. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.climate.gov/maps-data/climate-data-primer/predicting-climate/climate-models> Nkedianye, D., de Leeuw, J., Ogutu, J. O., Said, M. Y., Saidimu, T. L., Kifugo, S. C., Kaelo, D. S., & Reid, R. S. (2011). Mobility and livestock mortality in communally used pastoral areas: The impact of the 2005-2006 drought on livestock mortality in Maasailand. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, 1, 1-17. <https://doi.org/doi.org/10.1186/2041-7136-1-17> Ospina-Gutiérrez, J. P., & Aristizábal, E. (2021). Aplicación de inteligencia artificial y técnicas de aprendizaje automático para la evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 38, 43-54. <https://doi.org/doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2021.1.1605> Park, H., Kim, K., & Lee, D. kun. (2019). Prediction of Severe Drought Area Based on Random Forest: Using Satellite Image and Topography Data. *Water*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/w11040705> Rouhiainen, L. (2018). Inteligencia artificial. Madrid: Alienta Editorial, 20-21. Salas-Martínez, F., Valdés-Rodríguez, O. A., Palacios-Wassenaar, O. M., & Márquez-Grajales, A. (2021). Analysis of the Evolution of Drought through SPI and Its Relationship with the Agricultural Sector in the Central Zone of the State of Veracruz, Mexico. *Agronomy*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/agronomy11112099> Salas-Martínez, F., Valdés-Rodríguez, O. A., Palacios-Wassenaar, O. M., Márquez-Grajales, A., & Salas-Martínez, J. (2021). Reducciones sobre el rendimiento del maíz en grano en la región central de Veracruz, México. *Ciencia y Tecnología Para el Campo Mexicano: Retos y Oportunidades*; Zetina Lezama, R., Tosquy Valle, OH, del Angel Pérez, AL, Ríos Utrera, A., Esqueda Esquivel, VA, Eds, 1530-1541. Schmidhuber, J., & Tubiello, F. N. (2007). Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19703-19708. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701976104> Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). Se han ejercido más de 536 mdp para atender a productores agropecuarios afectados por la sequía. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/se-han-ejercido-mas-de-536-mdp-para-atender-a-productores-agropecuarios-afectados-por-la-sequia> Spinoni, J., Barbosa, P., Bucchignani, E., Cassano, J., Cavazos, T., Christensen, J. H., Christensen, O. B., Coppola, E., Evans, J., Geyer, B., Giorgi, F., Hadjinicolaou, P., Jacob, D., Katzfey, J., Koenig, T., Laprise, R., Lennard, C. J., Kurnaz, M. L., Li, D., ... Dosio, A. (2020). Future Global Meteorological Drought Hot Spots: A Study Based on CORDEX Data. *Journal of Climate*, 33(9), 3635-3661. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0084.1> Spinoni, J., Barbosa, P., De Jager, A., McCormick, N., Naumann, G., Vogt, J. V., Magni, D., Masante, D., & Mazzeschi, M. (2019). A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22, 100593. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100593> Staudemeyer, R. C., & Rothstein Morris, E. (2019). Understanding LSTM - a tutorial into Long Short-Term Memory Recurrent Neural Networks. <https://doi.org/doi.org/10.48550/arXiv.1909.09586> Stolz, W. (2008). Predicción del clima y modelos numéricos. *Revista de Ciencias Ambientales*, 35(1), 34-42. <https://doi.org/doi.org/10.15359/rca.35-1.7> Touma, D., Ashfaq, M., Nayak, M. A., Kao, S.-C., & Duffenbaugh, N. S. (2015). A multi-model and multi-index evaluation of drought characteristics in the 21st century. *Journal of Hydrology*, 526, 196-207. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.011> Valdés-Rodríguez, O. A., Salas-Martínez, F., & Palacios-Wassenaar, O. M. (2023). Hydrometeorological Hazards on Crop Production in the State of Veracruz, Mexico. *Atmosphere*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/atmos14020287> Valdés-Rodríguez, O. A., Soares, D., & Vázquez-Aguirre, J. L. (2021). Encuentros y desencuentros en la evaluación de la sequía en Veracruz. *Gestión de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos en Sistemas Socio-Ecológicos*; Morales, HJC, González, S., Welsh, CR, Frausto, OM, Eds, 251-260. Wang, L., Zhang, Y., Chen, X., Liu, Y., Wang, S., & Wang, L. (2023). Ensemble learning based on remote sensing data for monitoring agricultural drought in major winter wheat-producing areas of China. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 0(0), 03091333231188814. <https://doi.org/10.1177/03091333231188814> Wehner, M., Easterling, D. R., Lawrimore, J. H., Heim, R. R., Vose, R. S., & Santer, B. D. (2011). Projections of Future Drought in the Continental United States and Mexico. *Journal of Hydrometeorology*, 12(6), 1359-1377. <https://doi.org/10.1175/2011JHM1351.1> Xu, D., Zhang, Q., Ding, Y., & Zhang, D. (2022). Application of a hybrid ARIMA-LSTM model based on the SPEI for drought forecasting. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 4128-4144. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s11356-021-15325-z>

