



ESCUELA DE NEGOCIOS

MAESTRÍA EN INTELIGENCIA DE NEGOCIOS Y CIENCIA DE DATOS

**MODELO PREDICTIVO DE SEQUÍAS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA
SANTIAGO (ECUADOR) MEDIANTE ALGORITMOS DE MACHINE
LEARNING**

**Profesor
Mario Salvador González**

**Autor
Nathaly Vanessa Espinosa Quijano**

2025

RESUMEN

Es una síntesis del trabajo, su extensión no deberá ser mayor a 250 palabras.

Deberá dar una idea completa del trabajo, resaltando solo lo esencial:

objetivos, métodos, resultados y conclusiones.

ABSTRACT

Es una síntesis del trabajo, su extensión no deberá ser mayor a 250 palabras.

Deberá dar una idea completa del trabajo, resaltando solo lo esencial:

objetivos, métodos, resultados y conclusiones. Se escribe en idioma inglés

ÍNDICE DEL CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

La sequia es uno de los fenómenos climáticos con mayor impacto a nivel global y se define como una deficiencia de agua en relación con otros recursos hídricos habituales (Cadier, 1997). En el contexto ecuatoriano, la cuenca hidrográfica Santiago, ubicada en la región amazónica (parte de las provincias de Cuenca, Morona Santiago y Zamora Chinchipe), desempeña un rol importante como suministro de agua para diversos usos, como es la generación hidroeléctrica, consumo humano y agricultura. No obstante, el aumento del número de sequías llega como principal consecuencia del cambio climático, sumada a la incidencia de eventos como El Niño y La Niña, que generan alteraciones significativas en los regímenes de precipitación y caudales afectando a ecosistemas y a la economía del país.

La generación hidroeléctrica es de vital importancia para la matriz energética de Ecuador y se ve comprometida con la variabilidad y reducción de caudales, lo que limita la operatividad y eficiencia de las centrales hidroeléctricas. Considerando estos efectos negativos, se vuelve necesario desarrollar herramientas que permitan gestionar los escenarios de sequía sobre la disponibilidad hídrica. En este sentido y con el constante cambio climático es necesario la implementación de sistemas de alerta apoyados por machine learning que estén sujetos a evaluar o predecir la ocurrencia de estas como soluciones innovadoras para pronosticar con mayor precisión la ocurrencia y severidad del caso.

Este trabajo busca implementar un modelo predictivo que mediante el uso de datos climáticos e hidrológicos permitan predecir eventos contribuyendo a la toma de decisiones estratégicas para la gestión sostenible del recurso hídrico y planificación energética.

REVISIÓN DE LITERATURA

La sequía es un fenómeno natural caracterizado por la falta prolongada de precipitaciones en una región, lo que genera escasez de agua y afecta diversas actividades humanas y ecosistemas. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se reconocen cuatro tipos principales de sequía: meteorológica, hidrológica, agrícola y socioeconómica (WMO, 2022). La sequía meteorológica ocurre cuando hay una reducción significativa de la precipitación en comparación con valores históricos. La sequía hidrológica se refiere a la disminución de los caudales de ríos y embalses. La sequía agrícola afecta la humedad del suelo y la producción de cultivos, mientras que la sequía socioeconómica impacta la economía y la calidad de vida de las poblaciones afectadas (IPCC, 2021).

En América Latina, la sequía ha sido un problema recurrente, especialmente en países como Ecuador, Brasil y Argentina. Investigaciones indican que los eventos de sequía han aumentado en frecuencia e intensidad debido al cambio climático (FAO, 2023). En Ecuador, las sequías están influenciadas por situaciones climáticas anómalas, la corriente fría de Humbolt y los sistemas convectivos y depresiones, como es el caso en la sierra ecuatoriana y las estribaciones orientales de la cordillera (Cadier, 1997).

La cuenca hidrográfica Santiago ha experimentado eventos de sequía que han afectado la disponibilidad de agua para riego y consumo humano (Ministerio del Ambiente, 2022). Se localiza en la región amazónica de Ecuador y es de vital importancia para la biodiversidad y las actividades económicas del país. Presenta un clima tropical húmedo, con precipitaciones variables a lo largo del año y una red fluvial densa. Sin embargo, los eventos de variabilidad climática, como El Niño y La Niña, han provocado alteraciones en los regímenes de precipitación y caudal de los ríos (INAMHI, 2023).

Los principales usos del agua en la cuenca incluyen la generación hidroeléctrica, el consumo humano y la irrigación agrícola. No obstante, en las últimas décadas, se ha observado una reducción en la disponibilidad hídrica, lo que ha generado

conflictos por el uso del agua y afectaciones económicas en sectores dependientes de este recurso (Cevallos et al., 2022).

La generación hidroeléctrica en la cuenca hidrográfica Santiago, Ecuador, enfrenta un desafío creciente debido a la variabilidad climática y la incidencia de sequías prolongadas. Esta cuenca, ubicada en la región amazónica, es una fuente clave de recursos hídricos para la producción de energía, con represas y centrales hidroeléctricas que abastecen una parte significativa del suministro eléctrico del país. Sin embargo, la disminución de los caudales en los principales ríos de la cuenca, ocasionada por reducciones en la precipitación y cambios en los patrones hidrológicos, ha afectado la capacidad de generación. Estudios recientes indican que eventos como El Niño y La Niña han exacerbado la irregularidad del régimen de lluvias, lo que provoca períodos de déficit hídrico que impactan directamente la eficiencia de las plantas hidroeléctricas (INAMHI, 2023). Esto ha generado la necesidad de implementar estrategias de gestión adaptativa, incluyendo modelos predictivos para anticipar la disponibilidad de agua y mitigar los efectos de la sequía sobre la infraestructura energética. La aplicación de algoritmos de Machine Learning podría mejorar la precisión en la predicción de caudales, permitiendo optimizar la operación de las centrales hidroeléctricas y garantizar la estabilidad del suministro eléctrico en Ecuador (Cevallos et al., 2022).

El uso de algoritmos de aprendizaje automático (Machine Learning) en la predicción de sequías ha ganado relevancia en los últimos años debido a su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos y detectar patrones complejos. Algunos de los modelos más utilizados incluyen:

- Random Forest (RF): Algoritmo basado en la combinación de múltiples árboles de decisión, utilizado para la clasificación y regresión en la predicción de sequías (Shortridge et al., 2016).
- Redes Neuronales Artificiales (ANNs): Modelos inspirados en el funcionamiento del cerebro humano, utilizados en la predicción de sequías a partir de series temporales de datos climáticos (Liu et al., 2019).

- Long Short-Term Memory (LSTM): Variante de redes neuronales recurrentes, efectiva para predecir eventos extremos en datos secuenciales (Feng et al., 2020).
- XGBoost: Algoritmo de boosting que mejora la precisión en la predicción de sequías en comparación con métodos tradicionales (Zhang et al., 2021).

Estos algoritmos pueden ser entrenados con datos de precipitación, temperatura, SPI (Índice normalizado de precipitación) humedad del suelo y caudales de ríos para generar modelos predictivos más precisos.

Diversas investigaciones han demostrado la eficacia del Machine Learning en la predicción de sequías. Por ejemplo, Ziñha (2016), describe cómo el Machine Learning se utiliza para predecir y gestionar sequías mediante el análisis de datos climáticos y ambientales en la microcuenca del río Chulco. Así como también Herrera y Aristizábal (2021), utilizan modelos de aprendizaje automático, como Bosque Aleatorio y Árbol de Decisión en Bolsa, para predecir sequías en el departamento del Magdalena, Colombia, utilizando datos históricos y teledetección. Los resultados ayudan a identificar eventos de sequía mediante el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI).

Estos casos de éxito resaltan la necesidad de implementar estos enfoques en regiones vulnerables como la cuenca hidrográfica Santiago en Ecuador, donde la disponibilidad de datos y el acceso a tecnologías avanzadas pueden contribuir significativamente a la gestión del agua y la mitigación de impactos.

IDENTIFICACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de esta investigación es la predicción de sequías en la cuenca hidrográfica Santiago en Ecuador mediante la aplicación de algoritmos de Machine Learning. La cuenca Santiago es una región clave debido a su importancia ambiental, económica y social, ya que abastece de agua a comunidades locales y es fundamental para la generación hidroeléctrica.

El estudio se centrará en el análisis de variables climáticas (precipitación, temperatura, humedad del suelo, NDVI, entre otras) y su impacto en la ocurrencia de sequías. Se explorará cómo los modelos de aprendizaje automático pueden mejorar la precisión en la predicción de estos eventos, permitiendo una mejor gestión del recurso hídrico.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio y la variabilidad climática han intensificado la ocurrencia de fenómenos extremos como sequías en Ecuador. La cuenca hidrográfica Santiago ha sido testigo de una reducción en la disponibilidad de agua en los últimos años, afectando la generación de energía hidroeléctrica.

Actualmente, los métodos tradicionales de predicción de sequías en Ecuador se basan en índices climáticos y modelos estadísticos, que presentan limitaciones en la captura de patrones no lineales y en la predicción temprana de eventos extremos. Estos modelos suelen depender de datos históricos y no incorporan técnicas avanzadas de procesamiento y análisis de datos.

La falta de modelos predictivos basados en Machine Learning que permitan anticipar de manera efectiva los eventos de sequía en la cuenca Santiago dificulta la planificación y gestión adecuada del recurso hídrico. La ausencia de predicciones precisas limita la capacidad de las autoridades y comunidades para tomar decisiones informadas sobre el uso y conservación del agua.

El conocer cómo los algoritmos de Machine Learning pueden mejorar la predicción de sequías en las cuencas hidrográficas, en comparación con los métodos tradicionales es relevante para la toma de decisiones.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo predictivo basado en algoritmos de Machine Learning para anticipar eventos de sequía en la cuenca hidrográfica Santiago (Ecuador), con el fin de mejorar la gestión del recurso hídrico y la toma de decisiones al momento de ejecutar un proyecto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la variabilidad climática e hidrológica de la cuenca hidrográfica Santiago, identificando patrones de ocurrencia de sequías a partir de datos históricos.
- Seleccionar los algoritmos de Machine Learning más adecuados para la predicción de sequías, considerando métricas de desempeño y precisión.
- Desarrollar un modelo predictivo que integre variables climáticas e hidrológicas, optimizando su capacidad de predicción.
- Validar el modelo propuesto mediante pruebas con datos históricos y recientes, asegurando su aplicabilidad en la gestión del recurso hídrico.
- Proponer recomendaciones para la implementación del modelo en la planificación y toma de decisiones en sectores clave energía hidroeléctrica.

JUSTIFICACIÓN Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

Cadier, E., Gomez G. (1998). Estudio de inundaciones y sequias en el Ecuador: Proyecto INSEQ. Quito-Ecuador.

Cevallos, J., Sánchez, P., & Guerrero, R. (2022). Impacto de la variabilidad climática en los recursos hídricos de la cuenca Santiago, Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Hidrología*, 10(2), 45-63.
<https://doi.org/10.1016/j.rehec.2022.03.004>

D. Herrera posada & E. Aristizábal, “Artificial Intelligence and Machine Learning Model for Spatial and Temporal Prediction of Drought Events in the Department of Magdalena, Colombia”, INGE CUC, vol. 18, no. 2, pp. 249–265. DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.18.2.2022.20>

FAO (2023). Estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/cc7121es/cc7121es.pdf>

IPCC (2021). Cambio climático 2021: Bases físicas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

INAMHI (2023). Informe anual sobre el clima en Ecuador. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. <https://www.inamhi.gob.ec>

Ministerio del Ambiente (2022). Estrategia nacional de gestión del recurso hídrico en Ecuador. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador. <https://www.ambiente.gob.ec>

Organización Meteorológica Mundial (WMO) (2022). The Global State of the Climate 2022. World Meteorological Organization. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22080

Se accedió a las proyecciones diarias reducidas globales de NASA Earth Exchange (NEX-GDDP-CMIP6) desde <https://registry.opendata.aws/nex-gddp-cmip6>. Se accedió a los datos de NEX-GDDP-CMIP6 el [fecha] desde <https://registry.opendata.aws/nex-gddp-cmip6>

Ziñha, D., (2016) Pronóstico De Sequías - Caso De Estudio en la Cuenca del Río Machángara. Universidad de Cuenca-Ecuador.

ANEXOS

Anexo 1