

DOI: 10.24850/j-tyca-2026-05-04

Artículos

Evaluación de riesgo de sequía en unidades educativas del municipio de Sucre, Bolivia

Drought risk assessment in educational units in the municipality of Sucre, Bolivia

Rosbeli Mendez¹, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0394-4168>

Apolonia Rodriguez², ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9416-9787>

Carlos Gonzales³, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3702-4510>

Katja Radón⁴, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5271-3972>

Maria Teresa Solís⁵, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4787-3688>

¹Universidad Mayor Real y Pontificia San Francisco Xavier de Chuquisaca,
Sucre, Bolivia, mendezramosrosbelializol@gmail.com

²Universidad Mayor Real y Pontificia San Francisco Xavier de Chuquisaca,
Sucre, Bolivia, rodriguez.apolonia@usfx.bo

³Universidad Mayor Real y Pontificia San Francisco Xavier de Chuquisaca,
Sucre, Bolivia, carlos.fgonzalesortiz@gmail.com

⁴Ludwig Maximilian University Hospital-Institut für Arbeits-, Sozial- und
Umweltmedizin-Center for International Health, Munich, Germany,
katja.radon@med.uni-muenchen.de

⁵Centro de Competencia OH TARGET, Sucre, Bolivia. Universidad Mayor Real y Pontificia San Francisco Xavier de Chuquisaca, Sucre, Bolivia, maritesolissoto@gmail.com

Autora para correspondencia: Rosbeli Mendez, mendezramosrosbelializol@gmail.com

Resumen

En Bolivia, las irregularidades climáticas agravadas por el cambio climático se manifiestan en la mayor recurrencia de sequías y en la creciente demanda de agua potable. El objetivo del estudio fue desarrollar un diagnóstico de riesgo de sequía a nivel de unidades educativas rurales del municipio de Sucre, Bolivia, enmarcado en el proyecto ECOH-Water, que busca desarrollar capacidades para el acceso y uso del agua de lluvia en 65 centros educativos bolivianos para su consumo sostenible. Se utilizaron los sistemas de información geográfica (SIG) y la ecuación general de riesgo para evaluar su nivel de amenaza y vulnerabilidad. La amenaza de sequía se cuantificó mediante el cálculo del índice estandarizado de precipitación (SPI), que considera la intensidad de la sequía meteorológica o déficit de precipitación. La vulnerabilidad a la sequía, definida como la susceptibilidad a los efectos adversos, se evaluó utilizando parámetros como el uso actual de la tierra, densidad poblacional, distancia a los ríos, pendientes y orientación de las pendientes. Los indicadores de amenaza y vulnerabilidad se zonificaron mediante un análisis multicriterio estandarizado con herramientas SIG, generando un mapa de riesgo de sequía. Con base en el cálculo de la amenaza de sequía, se identificó el 63 % del área del municipio con sequía muy alta; el 17 %, alta; el 16 %, moderada, y el 4 % baja. Un total de

22 escuelas, que representan el 42 % de todas las unidades educativas rurales, presentan un riesgo moderado o alto de sequía.

Palabras clave: índice estandarizado de precipitación, SPI, sequía, educación rural, educación ambiental, evaluación de riesgos, sistema de información geográfica, SIG, precipitación, lluvia, almacenamiento de agua, Bolivia.

Abstract

In Bolivia, climate irregularities exacerbated by climate change are manifested in the increasing recurrence of droughts and the growing demand for potable water. The objective of this study was to develop a drought risk diagnosis at the level of rural educational units in the municipality of Sucre, Bolivia, within the framework of the ECOH-Water project, which seeks to build capacities for the access and use of rainwater in 65 Bolivian schools to ensure sustainable consumption. Geographic Information Systems (GIS) and the general risk equation were applied to assess levels of hazard and vulnerability. Drought hazard was quantified using the Standardized Precipitation Index (SPI), which accounts for the intensity of meteorological drought or precipitation deficit. Vulnerability to drought, defined as susceptibility to adverse effects, was evaluated using parameters including current land use, population density, distance to rivers, slope gradient, and slope orientation. Hazard and vulnerability indicators were spatially zoned using a standardized multicriteria analysis in GIS, resulting in a drought risk map. Based on the hazard assessment, 63 % of the municipal area was classified as experiencing very high drought, 17 % as high, 16 % as moderate, and 4 % as low. A total of 22

schools—representing 42 % of all rural educational units—were identified as being at moderate to high drought risk.

Keywords: standardized drought index, SPI, drought, rural education, environmental education, risk assessment, geographical information systems, GIS, precipitation, rain, water storage, Bolivia.

Recibido: 06/02/2024

Aceptado: 09/12/2025

Publicado *ahead of print*: 28/01/2026

Versión final: 01/09/2026

Introducción

La variabilidad y el cambio climático afectan tanto a los sistemas naturales como a los humanos, y alteran la productividad, diversidad, y funciones de diversos ecosistemas y medios de vida en todo el mundo (Montenegro & Pitti, 2020). Uno de los efectos del cambio climático es la sequía, definida como un periodo prolongado de escasez de precipitaciones en una región específica, en relación con los promedios a largo plazo. Las sequías generalmente resultan de una combinación de factores naturales que pueden verse potenciados por influencias antrópicas. La causa principal de cualquier sequía es una deficiencia en la precipitación y, en particular, el momento, la distribución y la intensidad de esta deficiencia en relación con el almacenamiento, la demanda y el uso de agua existente (Karavitis et al., 2011). No obstante, la caracterización, el seguimiento y la predicción de la sequía es una tarea desafiante, dada su naturaleza complicada y no lineal (Mansour, 2024). El Estado Plurinacional de Bolivia

ha reportado grandes problemas a causa de la sequía, la falta de lluvias y el intenso calor, que han provocado pérdidas de cultivos en siete departamentos del país, con excepción de Beni y Pando (Ibañez 2022). Trece municipios del departamento de Chuquisaca, incluido Sucre, han sido declarados zona de desastre a causa de los efectos de la sequía, lo que supuso en 2022 la pérdida de 12 620 hectáreas de cultivos y la muerte de ganado (Castro, 2022).

Para determinar los niveles de sequía, es necesario construir escenarios de riesgo, considerando la amenaza y vulnerabilidad de cada territorio. En este contexto, se define el término "amenaza" como la probabilidad de que ocurra un evento de sequía en un espacio y tiempo determinados con suficiente intensidad como para provocar daños. El término "vulnerabilidad ante la sequía" se entiende como el grado en que un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los daños causados por este fenómeno natural. La combinación de estos dos factores determina el riesgo de sequía, es decir, la probabilidad de que se produzca un daño en los ecosistemas originado por un fenómeno (Ortega-Gaucín *et al.*, 2018). Los sistemas de información geográfica SIG pueden responder con oportunidad para identificar y reconocer eventos de sequía en grandes áreas a través de datos satelitales y valores medidos de estaciones meteorológicas. Asimismo, facilitan la estimación de la vulnerabilidad y la evaluación de la amenaza. Estos sistemas requieren información espacial sistematizada en periodos definidos, ya sean mensuales o anuales, lo que permite una caracterización más robusta y dinámica de los fenómenos climáticos (Tsatsaris *et al.*, 2021).

Este estudio forma parte del proyecto ECOH-WATER, que buscó implementar estrategias de adaptación al cambio climático con la instalación de sistemas de cosecha de agua de lluvia y tratamiento de

agua para el consumo humano en centros educativos del municipio de Sucre, Bolivia. En este artículo se reportan los resultados de la fase diagnóstica, donde se identificaron unidades educativas en zonas rurales con mayor riesgo de sequía para su posterior intervención.

Materiales y métodos

Zona de estudio

El municipio de Sucre, perteneciente al departamento de Chuquisaca, se encuentra en la región sur del Estado Plurinacional de Bolivia; administrativamente está dividido en ocho distritos, de los cuales cinco son urbanos y tres rurales, cuya superficie alcanza los 1 780 km². En cuanto a las unidades educativas, el municipio cuenta con 145 establecimientos urbanos y 52 rurales, los cuales están distribuidos en los distritos 6, 7 y 8, como se muestra en la Figura 1 (Gobierno Autónomo Municipal de Sucre, 2009).

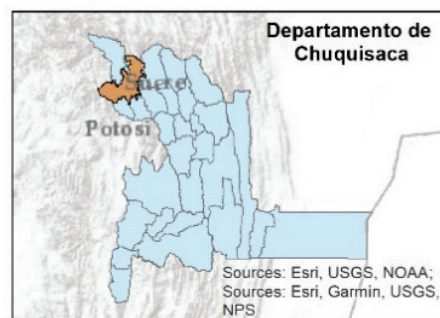
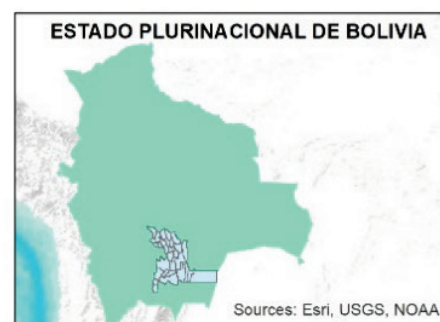
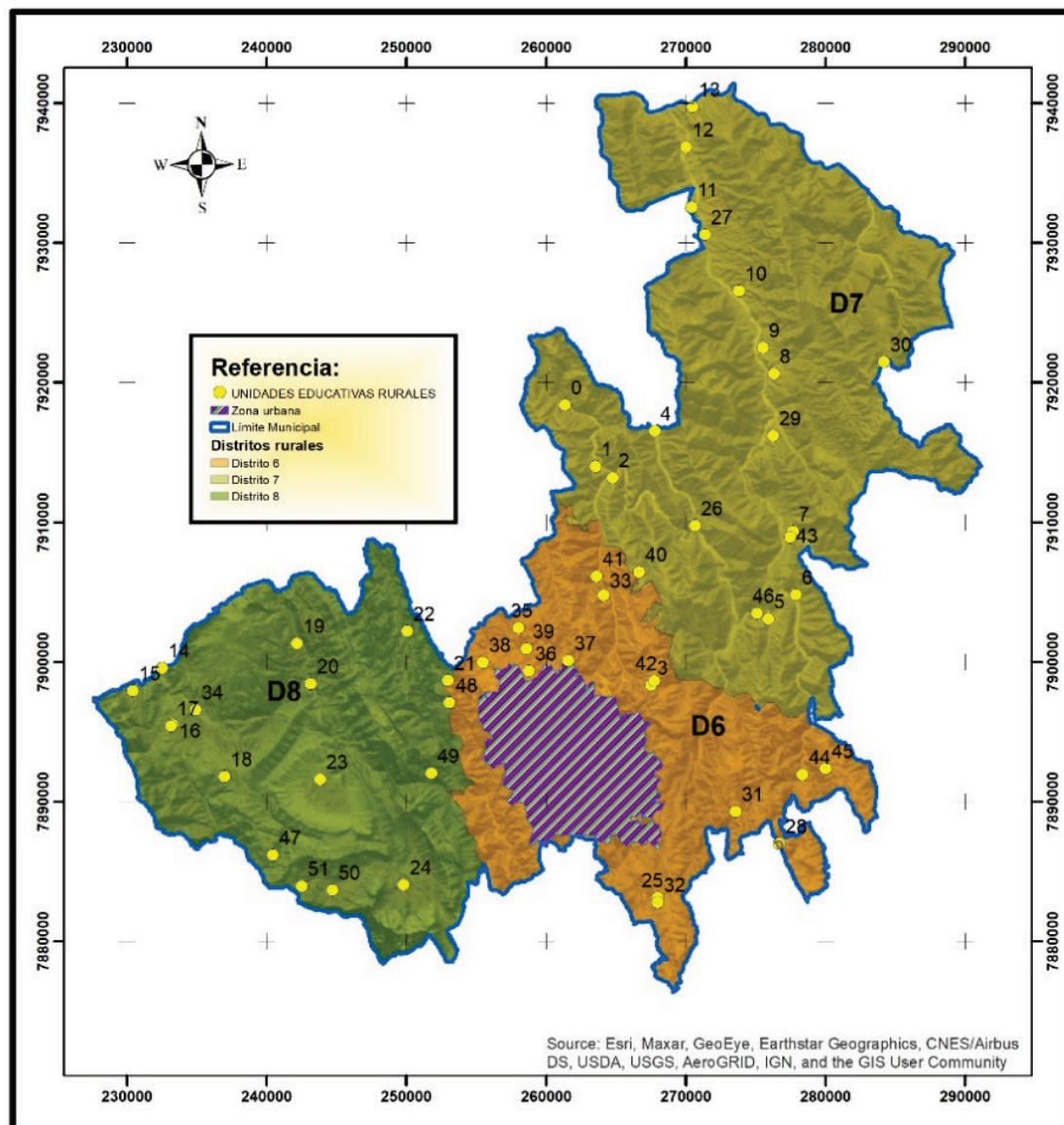


Figura 1. Ubicación de las unidades de educativas rurales.

Ecuación de riesgo

Para determinar el nivel de riesgo de sequía en las unidades educativas, se aplicó la ecuación de riesgo planteada en la guía metodológica descrita por Morales *et al.* (2018), la cual fue adaptada específicamente para centros educativos rurales, considerando su ubicación dispersa, a fin de optimizar recursos y tiempo de estudio. El proceso consta de tres etapas (Figura 2):

a) Análisis de amenaza por sequía. En este paso inicial se evaluó la amenaza por sequía a escala municipal con base en los registros históricos de precipitación.

b) Índices de vulnerabilidad por sequía. Estos índices se calcularon considerando aspectos geomorfológicos, uso del suelo, densidad poblacional y cercanía a ríos en el municipio de Sucre.

c) Niveles de riesgo por sequía. Finalmente, se determinaron los niveles de riesgo por sequía multiplicando los índices de amenaza y vulnerabilidad.

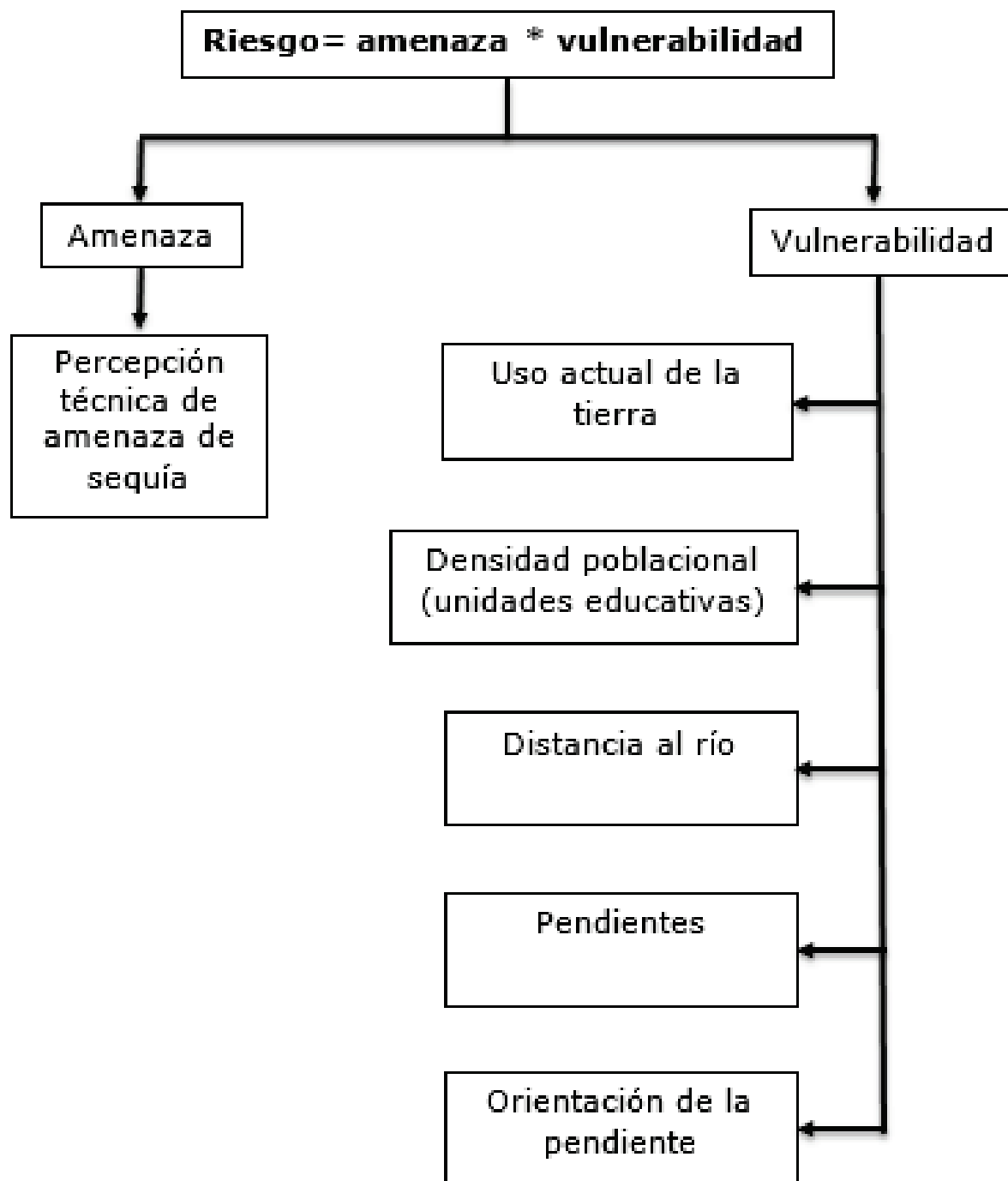


Figura 2. Esquema de los componentes de la ecuación de riesgo de sequía (Morales *et al.*, 2018).

Amenaza de sequía

La amenaza de la sequía meteorológica se estima, por lo general, en función de los índices de sequía, los cuales varían en complejidad y van desde los que utilizan una sola variable climática, como el índice de precipitación estandarizado (SPI), hasta los que desarrollan un balance hídrico-edafológico, como el índice de gravedad de la sequía de Palmer (PDSI) (Campos-Aranda, 2018). Debido a la limitada información de datos climáticos en las estaciones consideradas, se decidió calcular el SPI, para lo cual se cuantificó la intensidad del déficit de precipitación con la siguiente ecuación (Rana & Suryanarayana, 2020):

$$SPI = \frac{X - X_o}{std} \quad (1)$$

Donde:

X = lluvia en cada año en particular.

X_o = precipitación media en cada año en particular.

std = desviación estándar de la precipitación en cada año en particular.

Para este cálculo, se analizó el registro de las precipitaciones anuales considerando los años 2013 al 2022. La selección de este intervalo de 10 años se fundamenta en la necesidad de capturar la variabilidad del régimen pluviométrico, un periodo consistente con las directrices de estudios de riesgo climático (Montenegro & Pitti, 2020). Se tomó en cuenta la información de 12 estaciones dependientes del Servicio

Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), considerando las más cercanas y las que están dentro del municipio de Sucre: Ravelo, Chuqui Chuqui, Punilla, La Barranca, Sucre Aeropuerto, El Reloj, Sucre Senamhi, Potolo, Talula, Tako Tako, Cachimayu y Ñucchu. Posteriormente, se realizó una interpolación espacial con la herramienta *Kriging* del *software ArcGis 10.8*.

Vulnerabilidad a la sequía

Este indicador comprende los factores sociales, como la población y sus actividades, así como las características ambientales susceptibles a las condiciones adversas de la sequía (Velasco *et al.*, 2005). Para definir los aspectos de vulnerabilidad, se consideraron los siguientes criterios: uso actual del suelo, densidad poblacional, pendientes, distancia a los cursos de los ríos y orientación de las pendientes considerando para cada variable, valores estandarizados reportados previamente como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Estandarización de variables de vulnerabilidad a la sequía.

Variables de vulnerabilidad a la sequía	Valor estandarizado
Uso actual de la tierra	
Afloramiento rocoso sin uso	0
Área poblada	0.65
Área urbana	0.65
Bofedal sin uso	0.55
Lecho del río sin uso	0
Plantación forestal exótica	0.4
Uso agrícola extensivo limitado	0.8
Uso agrícola intensivo	1
Uso agrícola intensivo limitado	0.9
Uso forestal múltiple	0.3
Uso ganadero extensivo	0.5
Uso ganadero extensivo (afloramiento rocoso)	0.2
Densidad poblacional de unidades educativas	
Muy alta	1
Alta	0.56
Moderada	0.34
Baja	0.2
Muy baja	0
Distancia al río	
Muy lejos	1
Lejos	0.56
Moderadamente lejos	0.34
Cerca	0.2
Muy cerca	0.09

Variables de vulnerabilidad a la sequía	Valor estandarizado
Pendiente (%)	
0 a 10 (plano)	0.09
10 a 20 (moderadamente inclinado)	0.2
20 a 30 (inclinado)	0.34
30 a 45 (moderadamente empinado)	0.56
Más de 45 (fuertemente empinado)	1
Orientación	
Plano	0.25
Norte	0.56
Este	1
Sur	0.15
Oeste	0.35

Fuente: Morales *et al.* (2018).

Para zonificar el uso actual de la tierra, se realizó una clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat 8 con una resolución espacial de 15 metros y una escala de trabajo de 1:30 000 con la ayuda de herramientas SIG, como ya se señaló (Ramos & Hernández, 2018). Una vez identificados los usos (zona urbana, pastos de cima, lecho del río, plantaciones forestales, matorral y pastos, uso agrícola intensivo limitado, uso ganadero extensivo y uso ganadero extensivo con afloramiento rocoso), se asignaron valores estandarizados, como se indica en la Tabla 1.

La densidad poblacional se generó a partir de poblaciones simbolizadas por puntos que representan las unidades educativas. Después se realizó la interpolación espacial tomando en cuenta la cantidad de estudiantes matriculados en cada centro educativo con la

herramienta *Spatial Analyst/Interpolation/Kriging* del software *ArcGis 10.8*. Después, se clasificó y se asignaron valores estandarizados (Tabla 1).

En el caso de las pendientes, se generó a partir de una información referente a alturas y modelos de elevación digital (DEM) de 12.5 metros de resolución espacial, utilizando las imágenes proporcionadas por *ALOS PALSAR*, que es uno de los múltiples recursos cartográficos disponibles en los productos del satélite *ALOS* de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) (Chirinos-Escobar *et al.*, 2023), el proceso se hizo con la herramienta *SpatialAnalyst/Surface/Slope* del software *ArcGis 10.8*. El resultado es una capa ráster de pendientes en porcentaje con valores continuos, que luego se reclasificó y estandarizó.

La distancia a los ríos se analizó considerando que la población de las unidades educativas utiliza el agua de los ríos como uso complementario. El indicador se elaboró con base en la red de drenaje, en información proporcionada por la unidad de riesgos del Gobierno Autónomo Municipal de Sucre y en el mapa de pendientes, cuyo proceso ya se explicó. Se establecieron cinco categorías: muy cerca (0-3 800 m), cerca (3 800-7 600 m), moderadamente lejos (7 600-11 400 m), lejos (11 400-15 200 m) y muy lejos (15 200-19 090 m). Se determinó con el programa *ArcGis 10.8* en su extensión *SpatialAnalyst/Distance/CostDistance*.

La orientación de la pendiente representa la dirección de las laderas. Al igual que el mapa de pendientes, se generó a partir de modelos de elevación digital (DEM) con una resolución espacial de 12.5 m. La herramienta utilizada se encuentra en la extensión *Spatial Analyst/Surface Analysis/Aspect* del programa *ArcGis 10.8*.

Riesgo de sequía

El proceso se ejecutó en el programa **ArcGis 10.8**. Para ello, se realizó la intersección de todos los criterios de amenaza y vulnerabilidad con la herramienta *Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator* del *ArcToolBox* (Morales *et al.*, 2018).

Resultados

Mapeo amenaza de sequía

Considerando el cálculo de amenazas de sequía, los resultados muestran que el 63 % del área del municipio tiene un índice de sequía muy alto; el 17 %, alto; el 16 %, moderado, y el 4 % bajo (Figura 3).

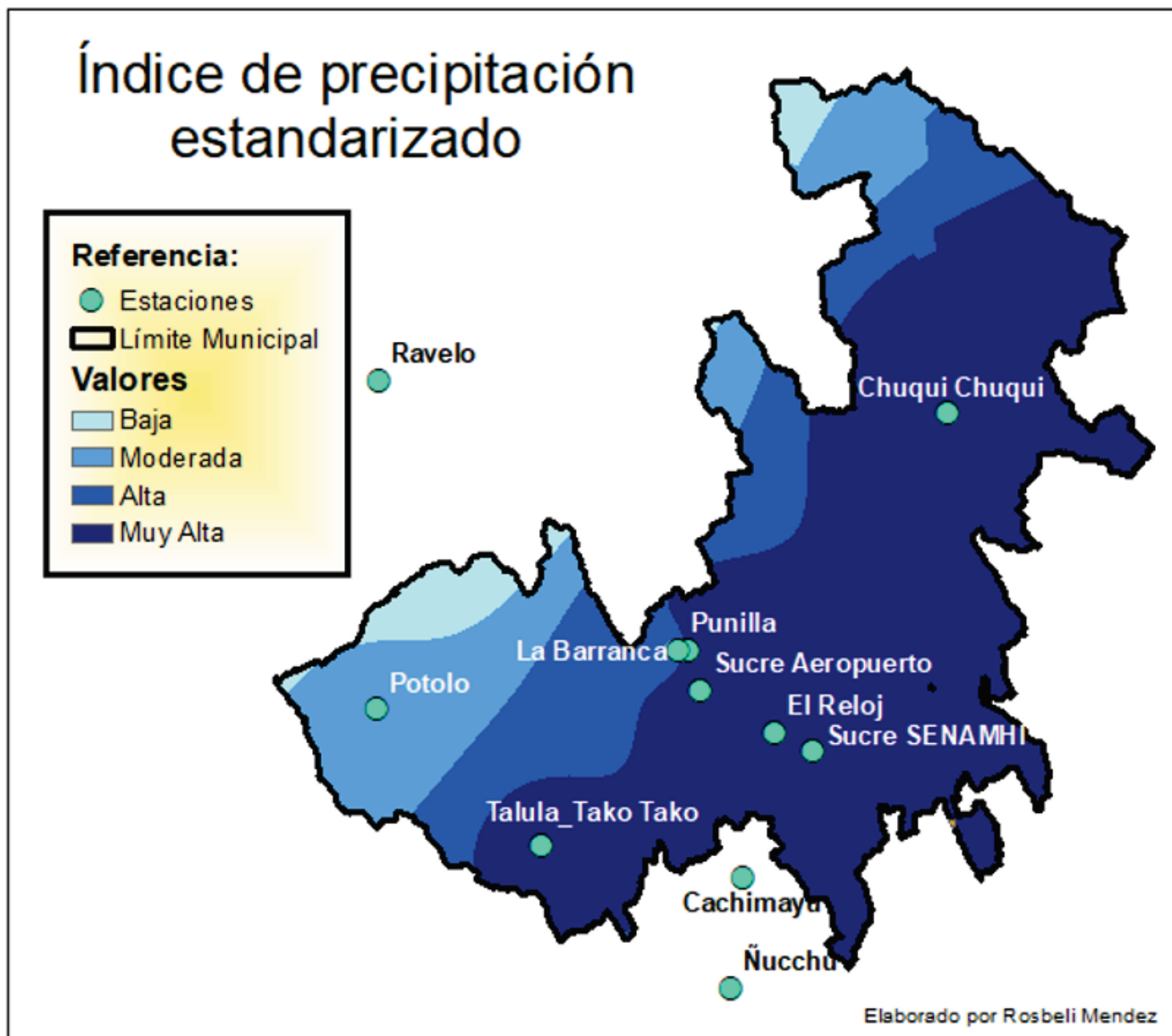


Figura 3. Mapa del índice de precipitación estandarizado.

Mapeo de vulnerabilidad a sequía

Como se muestra en el mapa de uso actual del suelo, la clasificación supervisada realizada en las imágenes satelitales del municipio de Sucre destaca los matorrales y pastos en un 45 %, con mayor presencia en los distritos 6 y 8. El uso ganadero extensivo con afloramientos rocosos representa el 30 % y predomina en el distrito 7, así como el uso agrícola intensivo limitado a las orillas del río Chico (Figura 4A).

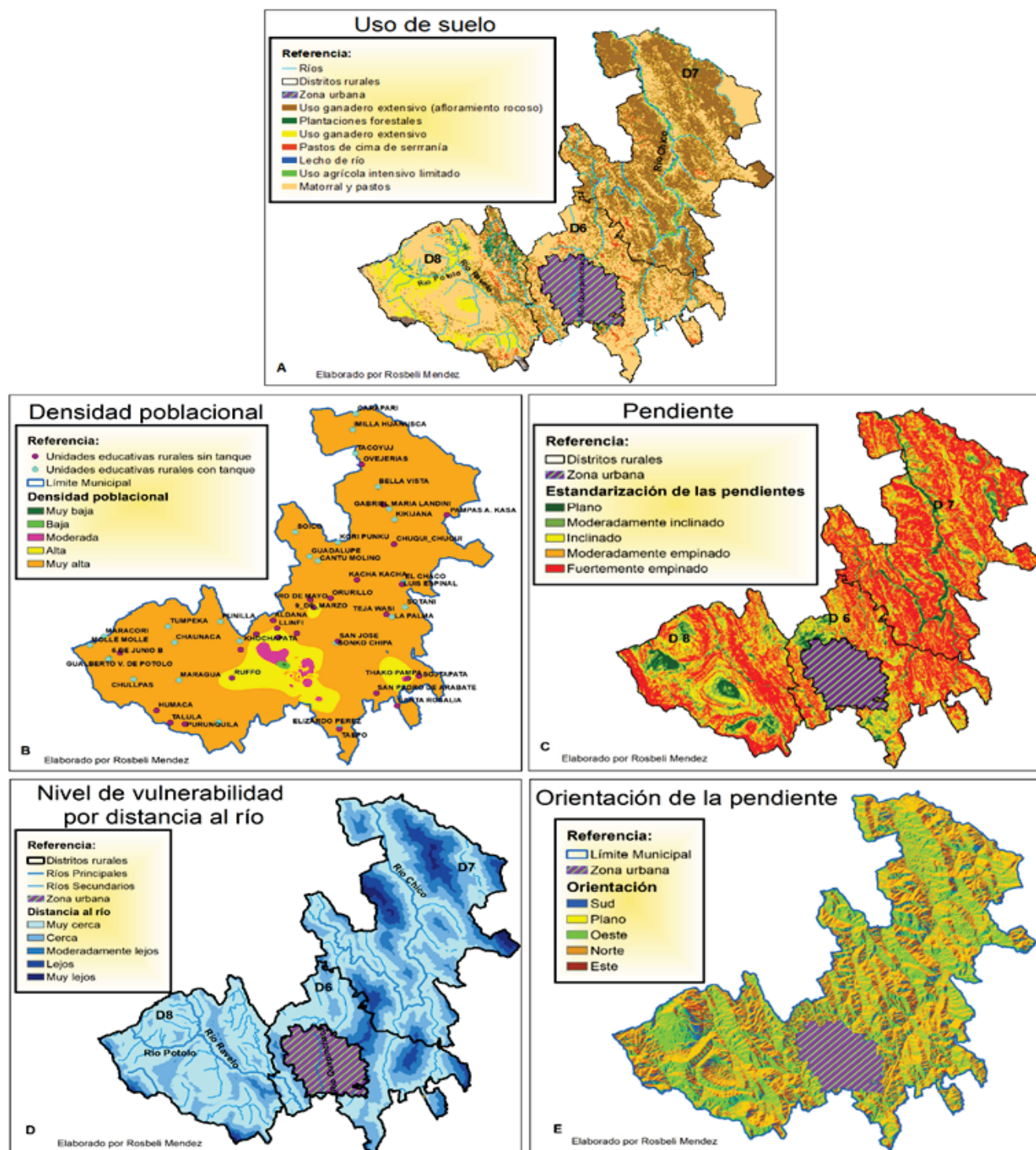


Figura 4. Mapeo sobre la vulnerabilidad a sequía: A) uso de suelo, B) densidad poblacional, C) pendiente, D) vulnerabilidad por distancia al río, E) orientación de la pendiente.

En el mapa de densidad poblacional se puede evidenciar que las unidades educativas rurales tienen una alta vulnerabilidad respecto a las urbanas. El promedio de estudiantes en centros educativos de los distritos rurales que tienen nivel inicial y de primaria es de 21 estudiantes (Figura 4B).

En relación con las pendientes, las que predominan son de moderadas a fuertemente empinadas en un 66 % y están presentes en mayor medida en los distritos 6 y 7; un 29 % representa las pendientes inclinadas, y un 5 % las zonas planas. Esta situación se debe a la morfología del municipio, a la presencia de cadenas montañosas, serranías, cerros y piedemontes, con valles escarpados, pocas áreas planas o semiplanas (Figura 4C).

En el caso del mapeo de la distancia a los ríos, los distritos 6 y 7 concentran las mayores distancias a los ríos, con un 52 % de los casos con distancias de moderadas a muy lejos. Esto no ocurre en el distrito 8, pues presenta menores distancias; incluso el 75 % del área de este distrito se encuentra en la categoría de cerca a muy cerca, lo que hace que el distrito 8 sea menos vulnerable en relación con la distancia a los ríos (Figura 4D).

Para la zonificación de orientación de la pendiente, las laderas al noreste resaltan con un 64 %; un 26 % de las pendientes se orienta al oeste y el 10 % al sur. Considerando que las zonas expuestas al este, por mayor exposición al sol, son más vulnerables a las sequías que las zonas con laderas orientadas hacia el sur (Figura 4E).

Mapa de riesgo de sequía

Como resultado final del estudio, se obtuvo el mapa de riesgo de sequía, cuya zonificación tiene en cuenta la amenaza y la vulnerabilidad (Figura 5). Las zonas con mayor riesgo de sequías se muestran en color rojo y están localizadas principalmente en los distritos 6 y 7. Por otro lado, las zonas con bajo riesgo de sequías se distribuyen principalmente en el distrito 8. En relación con las 52 unidades educativas rurales, 1 presenta un riesgo muy alto, 6 riesgo alto, 19 riesgo moderado, 25 riesgo bajo y 1 riesgo muy bajo (Figura 5).

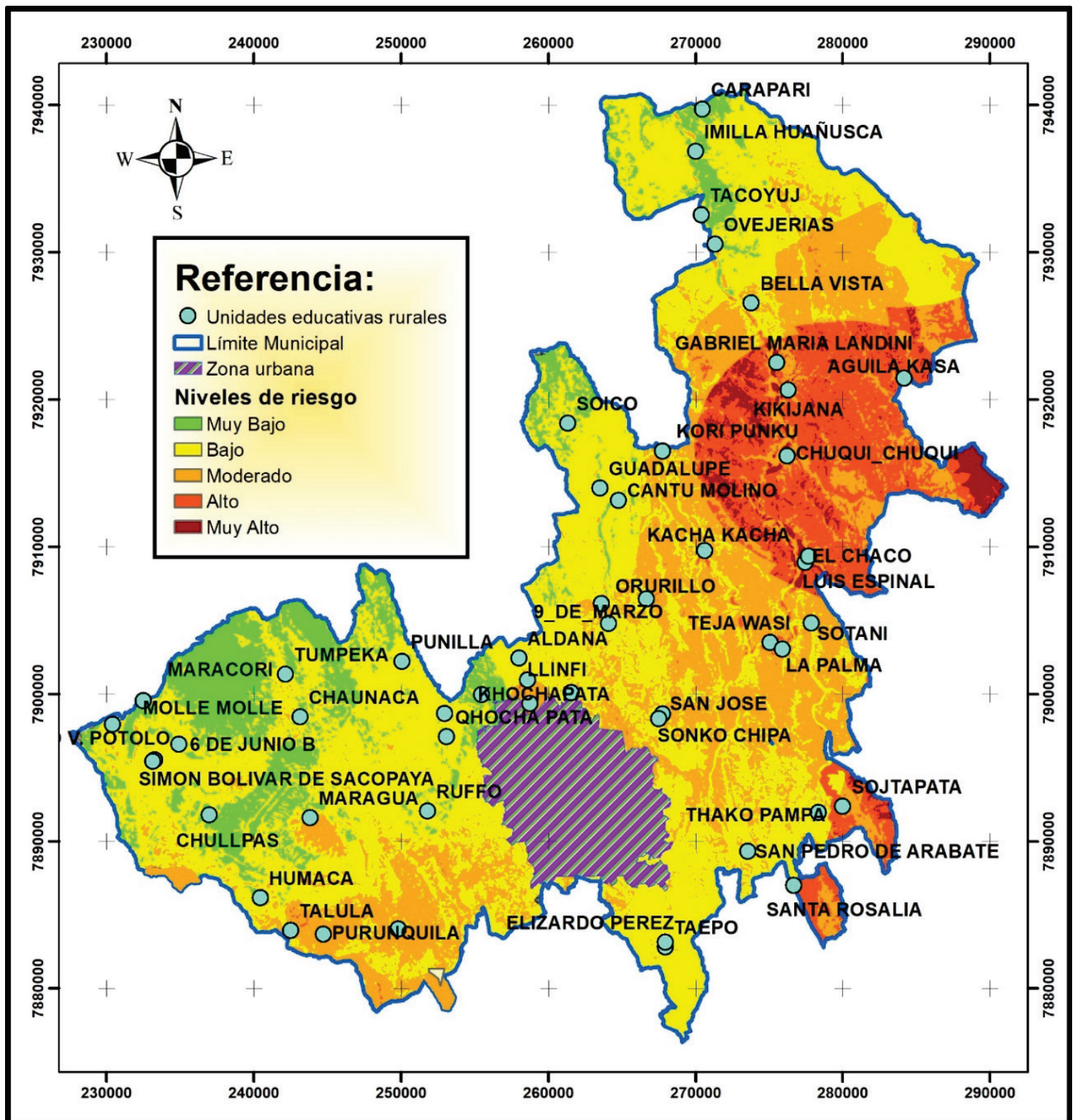


Figura 5. Mapa de niveles de riesgo de sequía en unidades educativas.

Discusión

El estudio identificó las unidades educativas rurales con mayor riesgo de sequía, considerando diversas variables de amenaza y vulnerabilidad. Se encontró que un total de 22 escuelas, que representan el 42 % del total de unidades educativas, se encuentran en riesgo moderado o alto. La amenaza de sequía se evaluó sobre todo mediante el índice de precipitación estandarizado (SPI), una fórmula estandarizada para medir los déficits de precipitación. Sin embargo, para comprender de manera más integral la amenaza de sequía, es fundamental considerar también el aumento de la temperatura, que conlleva una disminución de la humedad. Este fenómeno, conocido como déficit de presión de vapor (DPV), es un factor clave en el impulso de las tendencias de sequía atmosférica y los eventos de sequía local, en particular en el contexto del cambio climático (Fernández-Duque *et al.*, 2023). Dicha información no se pudo incluir en el cálculo debido a la falta de datos climáticos de las estaciones meteorológicas en el periodo de retorno considerado. Al calcular la amenaza de sequía en un periodo de retorno de 10 años, se pudo mostrar que el 63 % del área del municipio de Sucre tiene un índice de sequía muy alto. Nuestros resultados parecen ser consistentes con otros estudios que reportaron disminución de las precipitaciones. El "Estudio Regional de Economía del Cambio Climático en Sudamérica", que utilizó el modelo climático regional *PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies)* sugiere una disminución del 37 % en la precipitación en el escenario A2 (el más pesimista, que contempla una población creciente y un desarrollo económico regionalizado) y del 23 % en el B2 (más optimista, que contempla un menor crecimiento poblacional y un

desarrollo económico moderado), lo que implica que el cambio climático exacerbará los problemas de escasez de manera importante (Andersen & Paco, 2009).

Uno de los inconvenientes que se puede plantear en este tipo de estudio es la escasa coordinación y disponibilidad de información geoespacial por parte de las instituciones gubernamentales. Una de las limitaciones de nuestro estudio fue el poco acceso a la información geoespacial coordinada de las unidades educativas por parte de las autoridades locales.

Por otra parte, cabe continuar trabajando en la mejora del método a través de la verificación de calidad de los modelos de interpolación, los cuales pueden validarse mediante análisis de correlación y regresión, usando técnicas de validación cruzada (Consortio Tecnalia e IH Cantabria, 2020); esto, para obtener resultados más precisos respecto a la cantidad de área expuesta a los distintos niveles de sequía.

Otro aspecto a considerar en la vulnerabilidad es la evaluación de la capacidad de adaptación a la sequía de cada unidad educativa, que está en función de las condiciones sociales, económicas, percepciones institucionales y políticas de la sociedad (Arreguín-Cortés *et al.*, 2016). Este aspecto no se pudo evaluar en todas las unidades educativas rurales, porque no se logró visitar la totalidad de las escuelas por temas logísticos y de accesibilidad.

Una vez identificadas las unidades educativas de alto riesgo de sequía, se realizó una verificación mediante una visita de campo, donde se corroboraron los resultados obtenidos con el modelo de riesgo empleado. El uso de herramientas SIG permitió optimizar el uso de los

recursos, además, que esta metodología nos permite monitorear la eficiencia de medidas de adaptación al cambio climático.

Conclusiones

Se identificó que un alto porcentaje de escuelas rurales se encontraron con un riesgo moderado o alto de sequía con base en indicadores de amenaza y vulnerabilidad, lo que hace necesario implementar de manera urgente estrategias de adaptación al cambio climático, focalizando acciones en las zonas con mayor riesgo. Esto nos permitirá disminuir el impacto del fenómeno, especialmente en zonas rurales y más vulnerables. Nuestro estudio muestra el potencial de los SIG como herramientas útiles para el monitoreo del impacto del cambio climático, así como para la evaluación de las estrategias implementadas a nivel local.

Agradecimientos

Se agradece a los técnicos de la Dirección Integral Municipal de Gestión de Riesgos (DIMGER) del Gobierno Autónomo Municipal de Sucre por la colaboración en el trabajo en terreno.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por los CIHLMU One Health Network Funds 2023/2024 y apoyada por OH-TARGET (One Health Training and Research Global Network), que forma parte del programa Exceed-Higher Education Excellence in Development Cooperation, financiado por el

Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ) y el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD).

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Declaración de uso de IA

Durante la elaboración de este artículo, los autores utilizaron las siguientes herramientas de traducción, parafraseo, resumen, generación de texto, generación de ideas y control de calidad para garantizar un enfoque multiperspectivo: Microsoft Copilot (Microsoft Corporation), Perplexity AI (Perplexity AI, Inc.), DeepL Write. Tras emplear estas herramientas y servicios, los autores revisaron y corrigieron el contenido según fue necesario y asumen toda la responsabilidad por el contenido final de la publicación.

Referencias

Andersen, L. E., & Paco, R. M. (2009). *Cambio climático en Bolivia hasta 2100: síntesis de costos y oportunidades*.
https://www.researchgate.net/publication/242477920_Cambio_Climatico_en_Bolivia_hasta_2100_Sintesis_de_Costos_y_Oportunidades

- Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., Ortega-Gaucín, D., & Ibáñez-Hernández, Ó. (2016). La política pública contra la sequía en México: Avances, necesidades y perspectivas. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 63-76. <https://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/1271>
- Castro, T. (2022, 22 de noviembre). Atribuyen larga sequía a cambio climático y fenómeno de La Niña. *Publiagro*. <https://publiagro.com.bo/2022/11/sequia-cambio-climatico-fenomeno/>
- Campos-Aranda, D. F. (2018). Contraste por ETP del RDI en tres localidades climáticas de San Luis Potosí, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(4), 147-183. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-04-07>
- Consorcio Tecnalia e IH Cantabria. (2020). *Guía para el análisis detallado de riesgo climático: Tomo 1*. CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1631>
- Chirinos-Escobar, M. J., Ruiz-Álvarez, M. A., & Cardona, A. J. (2023). Modelo estadístico para predicción de deslizamientos generados por precipitación en la zona occidental de Honduras. *Revista Universidad y Sociedad*, 15(2), 246-255. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v15n2/2218-3620-rus-15-02-246.pdf>
- Fernández-Duque, B., Vicente-Serrano, S. M., Maillard, O., Domínguez-Castro, F., Peña-Angulo, D., Noguera, I., Azorin-Molina, C., & El Kenawy, A. (2023). Long-term observed changes of air temperature, relative humidity and vapour pressure deficit in Bolivia, 1950–2019. *International Journal of Climatology*, 43(14), 6484-6504. <https://doi.org/10.1002/joc.8226>

- Gobierno Autónomo Municipal de Sucre. (2009). Capítulo IV: La estructura territorial del municipio en el actual modelo. En: *Plan Municipal de Ordenamiento Territorial 2009-2018* (pp. 261-328). Unidad de Riesgos-GAMS.
- Ibañez, E. (2022, 15 de noviembre). Sequía provoca pérdidas de cultivos en 7 departamentos. *La Razón*.
<https://hemeroteca.larazon.bo/sociedad/2022/11/15/sequia-provoca-perdidas-de-cultivos-en-7-departamentos/>
- Karavitis, C. A., Alexandris, S., Tsesmelis, D. E., & Athanasopoulos, G. (2011). Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece. *Water*, 3(3), 787-805. <https://doi.org/10.3390/w3030787>
- Mansour, S. (2024). Geospatial modelling of drought patterns in Oman: GIS-based and machine learning approach. *Modeling Earth Systems and Environment*, 10(3), 3411-3431. <https://doi.org/10.1007/s40808-024-01958-9>
- Montenegro, E., & Pitti, J. (2020). Análisis de riesgos climáticos en el sistema alimentario indígena de El Teribe, Panamá. *Acta Nova*, 9(5 y 6), 713-736. http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v9n5-6/v9n5-6_a05.pdf
- Morales, H. D., Ovando, C., & Rodriguez, W. (2018). *Ecuación general del riesgo: una experiencia para construir mapas de riesgos*. GIZ. <https://www.bivica.org/files/mapas-riesgos.pdf>

- Ortega-Gaucín, D., De-la-Cruz-Bartolón, J., & Castellano-Bahena, H. V. (2018). Peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía en el contexto del cambio climático en México. En: Lobato, R., & Pérez, A. A. (eds.). *Agua y cambio climático* (pp. 78-103). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/2192>
- Ramos, M. B. L., & Hernández, L. D. P. (2018). Remote sensing and geographic information system in the decision making process for land management. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(1), 54-65. https://www.researchgate.net/publication/331012790_Remote_Sensing_and_Geographic_Information_System_in_the_Decision_Making_Process_for_Land_Management
- Rana, V. K., & Suryanarayana, T. M. V. (2020). GIS-based multi criteria decision making method to identify potential runoff storage zones within watershed. *Annals of GIS*, 26(2), 149-168. <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1733083>
- Tsatsaris, A., Kalogeropoulos, K., Stathopoulos, N., Louka, P., Tsanakas, K., Tsesmelis, D. E., Krassanakis, V., Petropoulos, G. P., Pappas, V., & Chalkias, C. (2021). Geoinformation technologies in support of environmental hazards monitoring under climate change: An extensive review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 94. <https://doi.org/10.3390/ijgi10020094>
- Velasco, I., Ochoa, L., & Gutiérrez, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y Sociedad*, 17(34), 35-71. <https://doi.org/10.22198/rys.2005.34.a615>