

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2025,  
Volumen 9, Número 1.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i1](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1)

**MODELO PREDICTIVO BASADO EN FACTORES  
CLIMÁTICOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS Y  
PERIODOS DE ALTA VULNERABILIDAD A MORDEDURAS  
DE SERPIENTE EN ZAMORA CHINCHIPE, ECUADOR**

**A PREDICTIVE MODEL BASED ON CLIMATIC FACTORS TO  
IDENTIFY AREAS AND PERIODS OF HIGH VULNERABILITY  
TO SNAKEBITES IN ZAMORA CHINCHIPE, ECUADOR**

**Marlon Eduardo Jiménez Abad**

Universidad Nacional de Loja, Ecuador

**Byron Efrén Serrano Ortega**

Universidad Nacional de Loja, Ecuador

**Dora Thalía Ruilova Córdova**

Universidad Nacional de Loja, Ecuador

**Geovanna Elizabeth Herrera Serrano**

Universidad Nacional de Loja, Ecuador

**Pablo Fernando Carrión Martínez**

Universidad Nacional de Loja, Ecuador

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i1.16762](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16762)

## Modelo Predictivo Basado en Factores Climáticos para la Identificación de Áreas y Periodos de Alta Vulnerabilidad a Mordeduras de Serpiente en Zamora Chinchipe, Ecuador

**Marlon Eduardo Jiménez Abad<sup>1</sup>**

[marlon.jimenez@unl.edu.ec](mailto:marlon.jimenez@unl.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0003-1185-9208>

Universidad Nacional de Loja  
Ecuador

**Byron Efrén Serrano Ortega**

[byron.serrano@unl.edu.ec](mailto:byron.serrano@unl.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-5977-3599>

Universidad Nacional de Loja  
Ecuador

**Dora Thalía Ruilova Córdova**

[dora.ruilova@unl.edu.ec](mailto:dora.ruilova@unl.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0007-7623-9041>

Universidad Nacional de Loja  
Ecuador

**Geovanna Elizabeth Herrera Serrano**

[geovanna.herrera@unl.edu.ec](mailto:geovanna.herrera@unl.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0001-6008-6294>

Universidad Nacional de Loja  
Ecuador

**Pablo Fernando Carrión Martínez**

[pablo.f.carrion@unl.edu.ec](mailto:pablo.f.carrion@unl.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0001-0659-6453>

Universidad Nacional de Loja  
Ecuador

### RESUMEN

Las mordeduras de serpiente representan una emergencia sanitaria con riesgo de discapacidad permanente y gran mortalidad, constituyéndose como una prioridad dentro de las enfermedades tropicales desatendidas debido a su impacto en los sistemas de salud. Este estudio analiza la relación entre factores climáticos y mordeduras de serpiente, desarrollando un modelo predictivo para la identificación de áreas y períodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en Zamora Chinchipe, Ecuador. Se realizó un análisis cuantitativo correlacional, con diseño transversal y retrospectivo, utilizando datos de 683 casos de mordeduras de serpiente y registros climáticos históricos entre 2014 y 2023. Los resultados evidenciaron que la ocurrencia de mordeduras de serpiente está asociada con temperaturas templadas, alta precipitación y niveles elevados de humedad. Se diseñó un modelo basado en Random Forest, optimizado con SMOTE y Grid Search, que alcanzó una exactitud del 77% y un AUC de 0,86, mostrando estabilidad en la predicción de áreas y períodos de mayor riesgo. Estos hallazgos resaltan la utilidad de los modelos predictivos en la planificación sanitaria, facilitando la distribución de recursos y el diseño de estrategias preventivas para mitigar el impacto de las mordeduras de serpiente en la región.

**Palabras clave:** mordeduras de serpiente, clima, predicción, epidemiología, salud pública

<sup>1</sup> Autor principal.

Correspondencia: [marlon.jimenez@unl.edu.ec](mailto:marlon.jimenez@unl.edu.ec)

# **A predictive Model Based on Climatic Factors to Identify Areas and Periods of High Vulnerability to Snakebites in Zamora Chinchipe, Ecuador**

## **ABSTRACT**

Snakebites represent a public health emergency, posing a risk of permanent disability and high mortality. Due to their impact on health systems, they are considered a priority among neglected tropical diseases. This study analyzes the relationship between climatic factors and snakebites, and develops a predictive model to identify areas and periods of high vulnerability in Zamora Chinchipe, Ecuador. A quantitative correlational analysis was conducted using a cross-sectional and retrospective design, based on data from 683 snakebite cases and historical climate records from 2014 to 2023. The results indicate that snakebite occurrence is associated with temperate temperatures, high precipitation, and elevated humidity levels. A Random Forest-based model, optimized with SMOTE and Grid Search, was developed, achieving an accuracy of 77% and an AUC of 0.86, demonstrating stability in predicting high-risk areas and periods. These findings underscore the importance of predictive models in health planning, facilitating resource allocation and the development of preventive strategies to mitigate the impact of snakebites in the region.

**Keywords:** snakebites, climate, prediction, epidemiology, public health

*Artículo recibido 05 febrero 2025*

*Aceptado para publicación: 28 febrero 2025*



## INTRODUCCIÓN

Las mordeduras de serpiente, también denominadas accidentes ofídicos, constituyen una emergencia sanitaria cuando implican la inoculación de veneno. Este fenómeno puede provocar una amplia gama de signos y síntomas de gravedad variable debido a los cambios fisiopatológicos inducidos por las sustancias tóxicas presentes en el veneno (Chavez García et al., 2019). Entre las principales complicaciones se puede presentar insuficiencia renal aguda, insuficiencia respiratoria aguda, shock hemodinámico, infecciones locales, síndrome compartimental y gangrena, las cuales pueden resultar en discapacidad permanente y elevado riesgo de mortalidad (Maguiña-Vargas et al., 2020).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023), las mordeduras de serpiente afectan cada año a aproximadamente 5,4 millones de personas en todo el mundo. De estas, alrededor de 2,7 millones presentan complicaciones clínicas graves, 137 880 mueren y más de 400 000 quedan con amputaciones o discapacidades permanentes. Este problema afecta principalmente a personas de comunidades rurales en países con bajos recursos económicos y representa un grave problema de salud pública, catalogándose como una prioridad dentro de las enfermedades tropicales desatendidas, con alta carga para los sistemas de salud.

Las serpientes son reptiles poiquilotérmicos, es decir, que dependen de fuentes de calor externas para regular su temperatura corporal, lo que hace que el clima desempeñe un papel crucial en varias de sus funciones biológicas, influyendo directamente en su comportamiento y supervivencia (Crowell et al., 2021).

Estudios previos han encontrado una correlación positiva entre variables climáticas y la prevalencia de casos de mordeduras de serpiente. Por ejemplo, en Estados Unidos, Landry et al. (2023) reportaron que el aumento de 1 °C en la temperatura máxima diaria se asocia positivamente con una mayor probabilidad de mordeduras de serpiente. En Brasil, Ferreira et al. (2020) observaron que el aumento de 1 g/kg en la humedad conlleva un incremento de 24 % en el riesgo de mordeduras de serpiente. En Colombia, Bravo-Vega et al. (2022) identificaron que la precipitación es un factor determinante en el aumento de la incidencia de mordeduras de serpiente en regiones en donde existen estaciones secas marcadas.



De forma similar, en la Amazonia Ecuatoriana, Ochoa Andrade (2020) y Calvopiña et al. (2023) encontraron que la mayor frecuencia de mordeduras de serpiente ocurre durante los meses con mayores precipitaciones, sugiriendo una tendencia estacional para estos accidentes.

La provincia de Zamora Chinchipe, ubicada al sur de la región Amazónica del Ecuador, presenta un clima de tipo tropical con una temperatura promedio de 30 °C y con precipitaciones que alcanzan hasta 2 800 mm. Además, esta provincia presenta una densa cobertura vegetal con el 71,24 % de su territorio cubierto por bosques (Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Zamora Chinchipe, 2019). Estas características crean un hábitat ideal para la proliferación y supervivencia de diversas especies de serpientes, lo que puede explicar un mayor registro de casos de mordeduras en comparación con otras provincias de la región. Sin embargo, no existen investigaciones locales que analicen en profundidad la relación entre los factores climáticos y la ocurrencia de mordeduras de serpiente en esta zona, limitando la implementación de estrategias preventivas basadas en evidencia.

Dada la importancia de este problema de salud pública, el presente estudio tiene como objetivo general desarrollar un modelo predictivo basado en factores climáticos para la identificación de áreas y periodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe. Para ello, se establecen los siguientes objetivos específicos: analizar la relación temporal entre factores climáticos (temperatura, precipitación y humedad) y casos de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe entre 2014 y 2023, y diseñar un modelo de aprendizaje automático que permita predecir áreas y períodos de mayor vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia.

## **METODOLOGÍA**

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, correlacional, con un diseño transversal y retrospectivo. Los datos sobre mordeduras de serpiente y registros climáticos fueron obtenidos de la Gaceta Epidemiológica Zona 7 de la Universidad Nacional de Loja. Se incluyeron todos los casos registrados con información completa, excluyéndose aquellos con datos incompletos o inconsistentes. En total, se analizaron 683 casos de mordedura de serpientes registrados en la provincia de Zamora Chinchipe entre 2014 y 2023, junto con registros históricos de temperatura, precipitación y humedad relativa.



Para el procesamiento de los datos, se verificó la integridad y completitud, realizando control de calidad y corrección de valores atípicos. Los registros fueron consolidados en una base de datos en Microsoft Excel y posteriormente migrados a la versión 27 del Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (IBM® SPSS), donde se realizó un análisis de tendencias temporales mediante gráficos, con el fin de identificar patrones estacionales de los casos de mordeduras de serpiente en relación con los factores climáticos.

Para construir el modelo predictivo, se implementó un modelo de aprendizaje automático utilizando Random Forest Classifier, un algoritmo de ensamblado basado en árboles de decisión, adecuado para manejar datos no lineales, mejorar la precisión y reducir el sobreajuste, haciéndolo adecuado para el análisis inferencial de mordeduras de serpiente. Se emplearon como variables predictoras el mes, cantón, precipitación, temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura media y humedad relativa, mientras que la variable objetivo fue de tipo dicotómico: presencia o ausencia de mordeduras de serpiente.

La base de datos fue analizada mediante Google Colab, utilizando librerías especializadas de Python (Pandas, NumPy y Scikit-Learn). Dado que los datos presentaban un desbalance de clases en la variable objetivo, se aplicó la técnica SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique), que genera instancias sintéticas para equilibrar la distribución de clases.

Los datos se dividieron en conjuntos de entrenamiento y prueba con una proporción de 80 % para entrenamiento y 20 % para prueba, garantizando una adecuada representación de clases.

El modelo fue optimizado mediante la técnica Grid Search, ajustando hiperparámetros clave como el número de árboles en el bosque (100, 200, 300), la profundidad máxima del árbol (10, 20, 30), mínimo de muestras para dividir un nodo (2, 5, 10) y el mínimo de muestras en una hoja (1, 2, 4).

Una vez entrenado el modelo, se calculó la contribución de cada variable predictora mediante el índice de Gini, permitiendo identificar los factores con mayor influencia en la predicción del riesgo de mordeduras de serpiente.

El desempeño del modelo se evaluó utilizando diversas métricas de clasificación, entre ellas precisión, sensibilidad, especificidad, F1-Score, matriz de confusión (para analizar errores de clasificación) y curva ROC-AUC (para evaluar la capacidad de discriminación entre las clases).



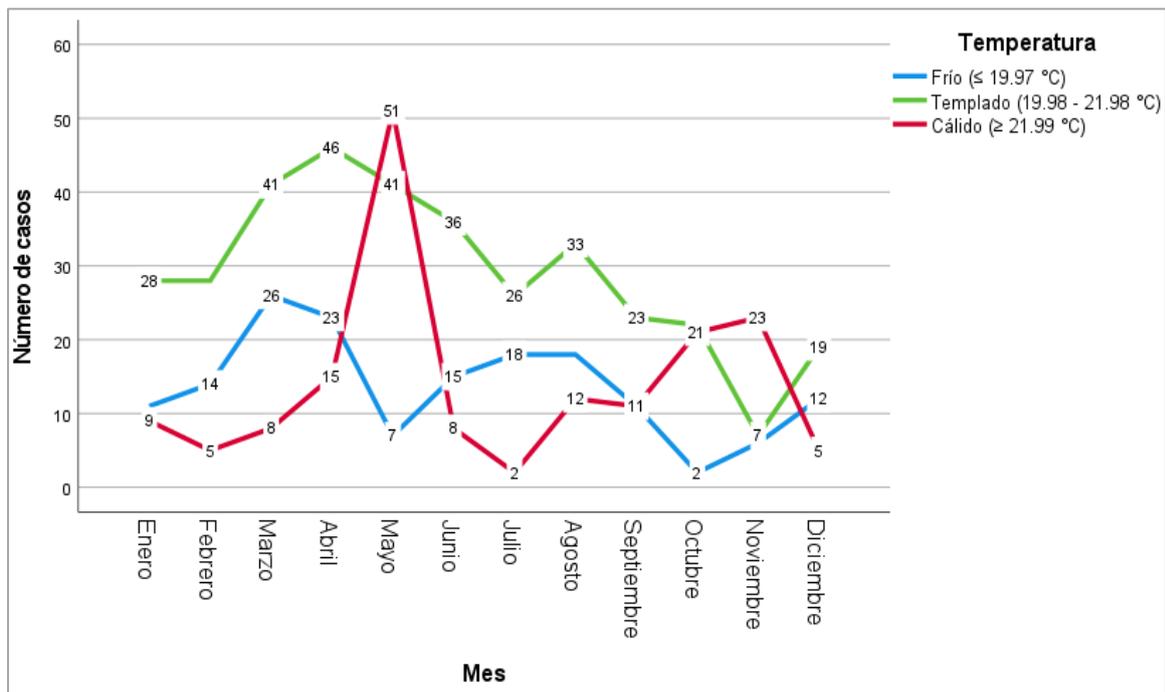
Por último, para garantizar la estabilidad y generalización del modelo, se aplicó validación cruzada estratificada con 5 folds. En cada iteración cuatro subconjuntos se utilizaron para el entrenamiento del modelo y el subconjunto restante se empleó como prueba, alternándose en cinco repeticiones. Se calcularon los valores del área bajo la curva ROC-AUC y su desviación estándar para evaluar la variabilidad del modelo.

## RESULTADOS

### Tendencia temporal de las mordeduras de serpiente y factores climáticos

La figura 1 presenta la evolución temporal de los casos de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe entre 2014 y 2023, de acuerdo a las categorías de temperatura registradas.

**Figura 1.** Tendencia mensual del número de casos de mordeduras de serpiente según categorías de temperatura en la provincia de Zamora Chinchipe, 2014 - 2023.

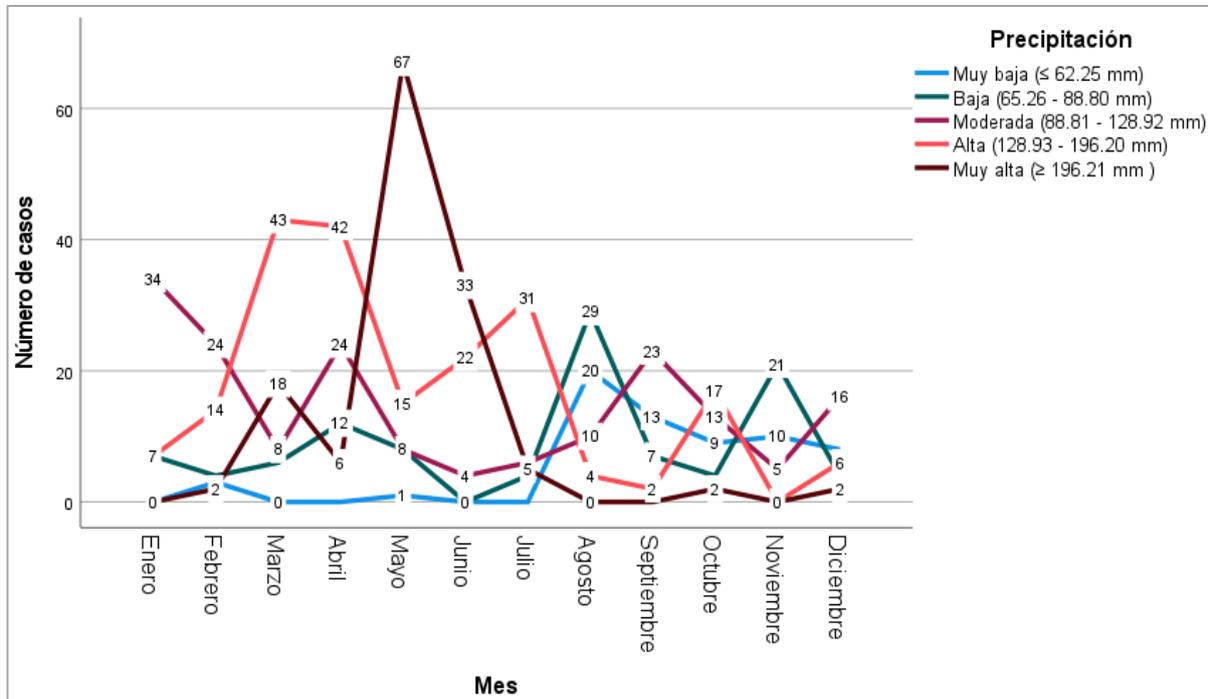


Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que las mordeduras de serpiente son más frecuentes en temperaturas templadas, presentando picos en marzo (41 casos), abril (46 casos) y mayo (41 casos). Con temperaturas cálidas se presentó un pico máximo en mayo (51 casos), que contrasta con la tendencia general observada en otros meses. En temperaturas frías, hubo un menor número de casos, aunque se observaron incrementos en marzo (26 casos) y abril (23 casos). La tendencia observada, sugiere que la actividad de las serpientes podría ser mayor durante temperaturas templadas, aumentando el riesgo de encuentros con humanos.

En la figura 2 se muestra la tendencia temporal de los casos de mordeduras de serpiente de acuerdo a los niveles de precipitación.

**Figura 2.** Tendencia mensual del número de mordeduras de serpiente según niveles de precipitación en la provincia de Zamora Chinchipe, 2014 - 2023.

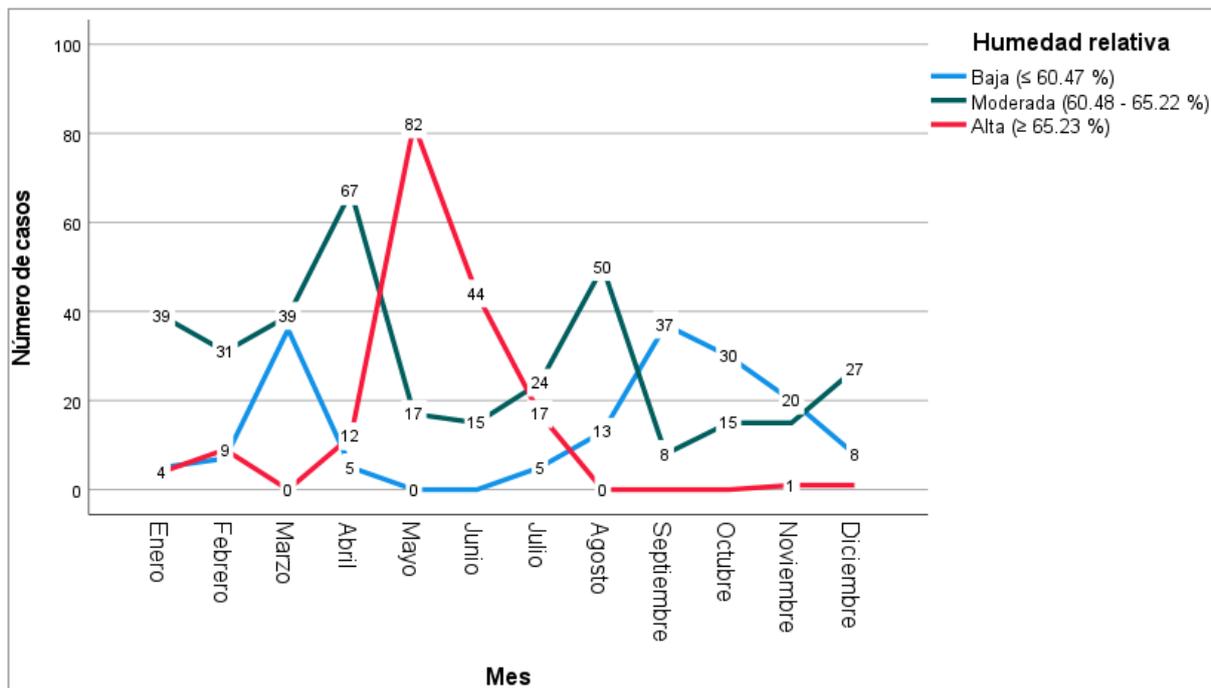


Fuente: Elaboración propia.

Las mordeduras de serpiente tienen una relación estrecha con mayores niveles de precipitación, con un aumento significativo en marzo (43 casos) y abril (42 casos). En mayo, se registró un pico máximo (67 casos) en condiciones de precipitación muy alta. Por otro lado, en agosto (29 casos) y septiembre (23 casos), las mordeduras ocurrieron mayormente en periodos con precipitaciones moderadas y bajas. Estos hallazgos sugieren que el aumento de mordeduras de serpiente durante periodos de alta precipitación podría estar relacionado con el desplazamiento consecuente de las serpientes hacia zonas habitadas, aumentando el riesgo de interacción con humanos, mientras que, en periodos secos otras variables, como actividades agrícolas o recreativas, podrían influir en el riesgo de mordeduras.

La figura 3 muestra la tendencia temporal de los casos de mordeduras de serpiente de acuerdo a niveles de humedad relativa.

**Figura 3.** Tendencia mensual del número de mordeduras de serpiente según niveles de humedad relativa en la provincia de Zamora Chinchipe, 2014 - 2023.



Fuente: Elaboración propia.

Se observó un claro predominio de casos de mordeduras de serpiente en periodos con humedad relativa moderada, con picos en abril (67 casos) y agosto (50 casos). Sin embargo, en mayo, el mayor número de casos (82) estuvo relacionado con niveles de humedad relativa alta. Por otro lado, la humedad relativa baja está asociada a un mayor número de casos durante los meses de septiembre (37), octubre (30) y noviembre (20). Estos resultados sugieren que la actividad de las serpientes podría estar influenciada por variaciones en la humedad ambiental, favoreciendo su proliferación y movilidad en condiciones más húmedas.

### Desempeño del modelo predictivo

En la tabla 1 se presentan las métricas de clasificación del modelo Random Forest para la predicción del riesgo de mordeduras de serpiente.

**Tabla 1.** Reporte de clasificación del modelo Random Forest en la predicción de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.

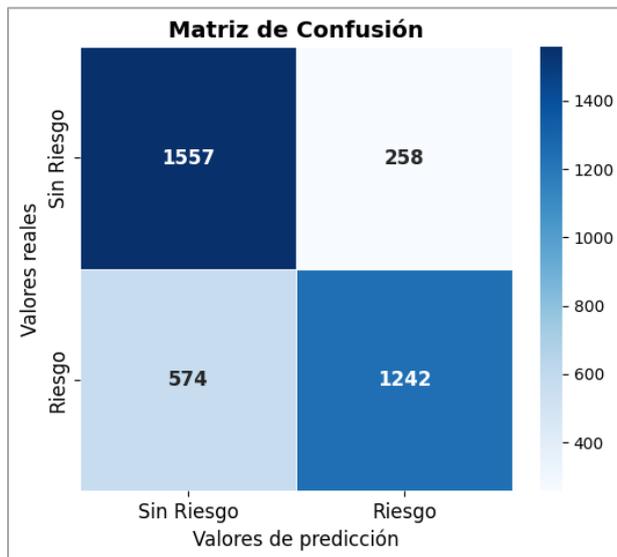
Clase	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Exactitud
Ausencia de mordeduras (Sin riesgo)	0,73	0,86	0,79	0,77
Presencia de mordeduras (Riesgo)	0,83	0,68	0,75	

Fuente: Elaboración propia

El modelo mostró una buena precisión en ambas clases (73 % para ausencia de mordeduras y 83 % para presencia de mordeduras). Sin embargo, presentó mayor sensibilidad para identificar correctamente la ausencia de mordeduras de serpiente (86 %), mientras que su capacidad para detectar casos positivos fue menor (68 %). El F1-Score reflejó que el modelo tiene un desempeño balanceado en la identificación de ausencia o presencia de mordeduras de serpiente (79 % y 75 %, respectivamente). La exactitud global del modelo fue del 77 %, lo que indica una capacidad adecuada para predecir la ocurrencia de mordeduras de serpiente.

La Figura 4 muestra la matriz de confusión del modelo, para proporcionar una visión completa del desempeño del modelo.

**Figura 4.** Matriz de confusión del modelo Random Forest diseñado para estimar la ocurrencia de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.

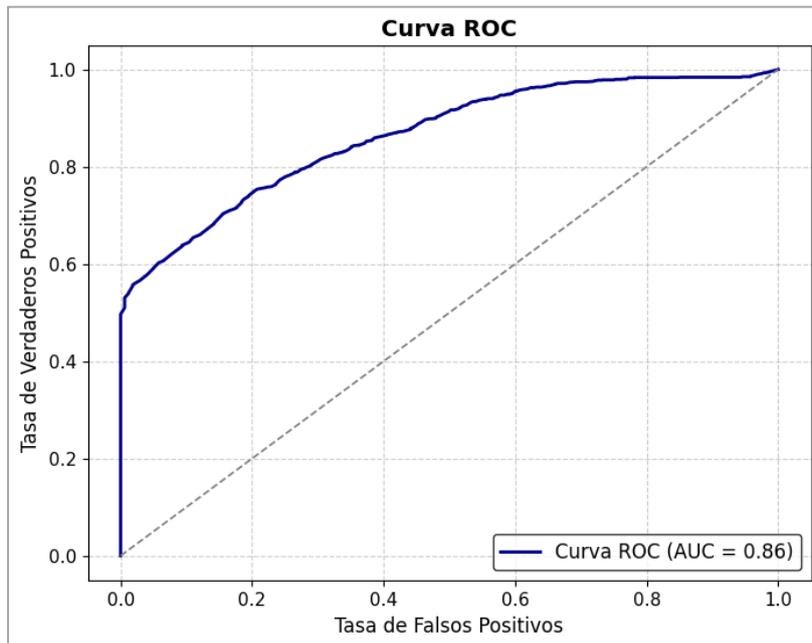


Fuente: Elaboración propia.

La matriz de confusión revela un buen rendimiento al identificar correctamente la mayoría de los casos en los que existía o no riesgo de mordedura de serpiente (1 242 verdaderos positivos y 1 557 verdaderos negativos). Sin embargo, presentó 258 falsos positivos y 574 falsos negativos, lo que implica que, en ciertos escenarios, el modelo generó alertas innecesarias (falsos positivos) o subestimó el riesgo real de mordeduras de serpiente (falsos negativos).

La figura 5 presenta la curva ROC (Característica Operativa del Receptor) del modelo, presentando la evaluación de su capacidad de discriminación entre clases.

**Figura 5.** Curva ROC del modelo Random Forest diseñado para estimar la ocurrencia de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.

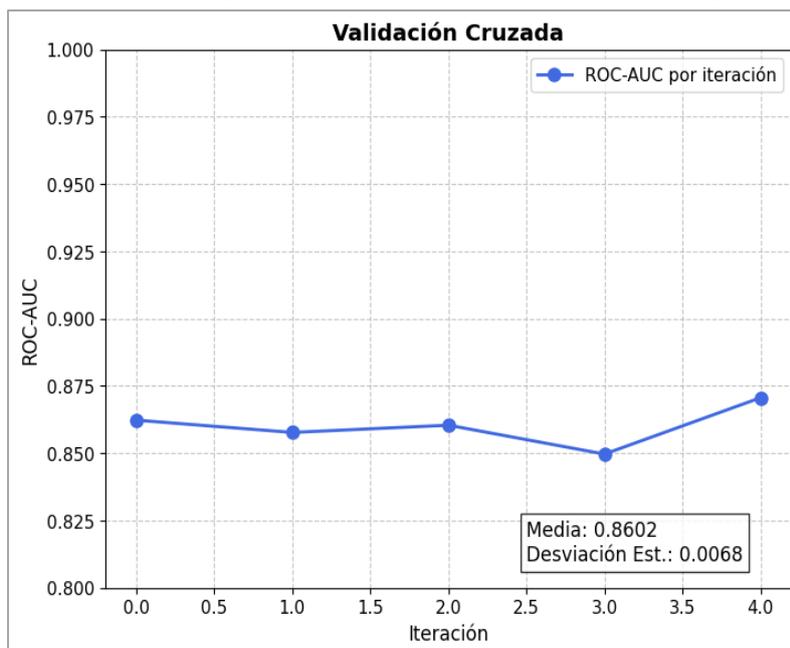


Fuente: Elaboración propia.

El modelo obtuvo un área bajo la curva (AUC) de 0,86, lo que indica una buena capacidad para diferenciar entre presencia y ausencia de mordeduras de serpiente, mostrando un equilibrio adecuado entre sensibilidad y especificidad, lo que refuerza su utilidad para la predicción de eventos de riesgo.

En la Figura 6 se observan los resultados de la validación cruzada del modelo.

**Figura 6.** Validación cruzada del modelo Random Forest diseñado para estimar la ocurrencia de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.



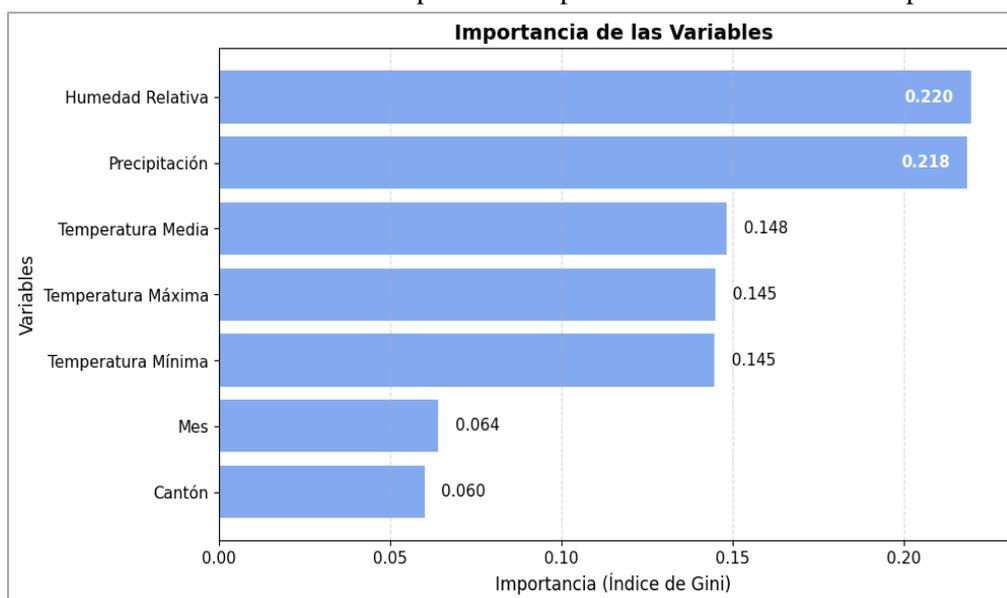
Fuente: Elaboración propia.

La validación cruzada mostró una variabilidad mínima en el desempeño del modelo, con valores de ROC-AUC que oscilan entre 0,85 y 0,87. La media de 0,86 confirma la consistencia del modelo, mientras que la desviación estándar de 0,006 indica una baja variabilidad entre las iteraciones, sugiriendo una alta estabilidad y adecuada generalización en la predicción del riesgo de mordeduras de serpiente

### Importancia de los factores climáticos en la predicción de mordeduras de serpiente

Finalmente, la figura 7 muestra la importancia relativa de cada variable predictora en el modelo Random Forest, calculada mediante el índice de Gini.

**Figura 7.** Importancia de las variables predictoras en el modelo Random Forest diseñado para estimar la ocurrencia de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que la humedad relativa (0,220) y la precipitación (0,218) son los factores más determinantes en la predicción del riesgo de mordeduras de serpiente. Las temperaturas también tienen un papel relevante, con valores similares para la temperatura media (0,148), temperatura máxima (0,145) y temperatura mínima (0,145). En contraste, las variables mes (0,064) y cantón (0,060) contribuyeron en menor grado, lo que sugiere que, aunque existe cierta estacionalidad en los casos, los factores climáticos tienen un impacto más fuerte en la ocurrencia de mordeduras.

## DISCUSIÓN

Las mordeduras de serpiente son una emergencia sanitaria y representan un grave problema de salud pública. En el contexto de las enfermedades tropicales se constituyen en evento prioritario debido a su alta carga para los sistemas de salud. Estudios previos han demostrado de forma consistente una correlación entre factores climáticos y la incidencia de mordeduras de serpiente. Los hallazgos de la presente investigación corroboran esta relación en la provincia de Zamora Chinchipe y refuerzan la utilidad potencial de modelos predictivos en la planificación de estrategias de prevención y respuesta. Los hallazgos obtenidos del análisis de tendencias temporales a lo largo de diez años demuestran que existe una clara influencia de los factores climáticos en la incidencia de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe. Específicamente, se observó que los periodos con temperaturas templadas registraron el mayor número de casos, probablemente debido a la mayor actividad de las serpientes en estas condiciones de temperatura dado su carácter ectotérmico. Estos resultados son consistentes con los de da Silva et al. (2024) en Brasil, quienes reportaron que las regiones con mayores niveles de temperatura y precipitación registraron tasas de incidencia de mordeduras de serpiente significativamente más altas.

Asimismo, se identificó que las altas precipitaciones desempeñan un papel fundamental en la incidencia de mordeduras, probablemente porque inducen el desplazamiento de serpientes hacia zonas habitadas y, por lo tanto, aumentan el riesgo de mordeduras. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Rocha & Gomides (2024), quienes determinaron en una región de la Amazonia brasileña que los accidentes ofídicos son más comunes durante la temporada de lluvias. De igual forma, en la India, Stephen et al. (2024) encontraron que la mayor incidencia de mordeduras de serpiente ocurre durante la temporada de monzones, subrayando la importancia de este factor climático en la ecofisiología de las serpientes.

Sin embargo, en regiones con estaciones climáticas marcadas la tendencia de mordeduras de serpientes muestra patrones diferentes. Por ejemplo, En Estados Unidos, Hanback et al. (2021) determinaron que las mordeduras aumentan significativamente en días con temperaturas máximas diarias elevadas, pero existe una probabilidad significativamente menor en periodos con alta precipitación.



En la región de Kentucky, Buchanan et al. (2021) encontraron que el 88% de las mordeduras de serpiente reportadas ocurren entre mayo y septiembre, coincidiendo con la temporada de verano. De manera similar, Nakamura et al. (2024) en su análisis de presuntos encuentros con serpientes cascabel en Arizona, determinaron que la mayoría de los encuentros ocurrieron durante el verano. Por su parte, Alves-Nunes et al. (2024) en su estudio sobre la influencia de factores ambientales en el comportamiento defensivo de las serpientes encontraron una correlación positiva entre las regiones que registraron temperaturas anuales más altas con mayores casos mordeduras de serpiente. Estos datos resaltan la importancia de considerar el contexto geográfico y ecológico en el análisis de la relación entre factores climáticos y mordeduras de serpiente.

Adicionalmente, en la presente investigación los datos indican que los periodos con mayores niveles de humedad reportan una mayor frecuencia de mordeduras, lo que podría estar relacionado con la creación de condiciones ideales para la actividad de las serpientes, favoreciendo su movilidad y aumentando el riesgo de encuentros con humanos. En este sentido, Ferreira et al. (2020) observaron que los incrementos en la humedad relativa están correlacionados con un mayor número de casos de mordeduras de serpiente en Rondônia, Brasil.

El modelo para estimar el riesgo de mordeduras de serpiente, basado en Random Forest, mostró un gran desempeño predictivo, con una exactitud general del 77 % y un AUC de 0,86, consolidándose como una herramienta eficaz para la identificación de áreas y periodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente. Sin embargo, la sensibilidad del modelo presenta limitaciones, dado que la identificación de falsos negativos no es buena (68 %), pudiendo subestimar el riesgo en algunas situaciones. Para mitigar esta debilidad, se recomienda incorporar un mayor volumen de datos históricos y explorar variables complementarias que mejoren su capacidad predictiva.

Estudios previos han demostrado la relevancia de integrar otros factores para mejorar la precisión de modelos predictivos. Por ejemplo, Yousefi et al. (2023) utilizaron modelos de idoneidad de hábitat que les permitieron identificar en Irán áreas de alto riesgo a mordeduras de serpiente en el contexto del cambio climático. Raju et al. (2024) evidenciaron que el análisis basado en variables como el uso de la tierra, precipitaciones, zonas de inundación, cercanía a ríos y localización geográfica son eficaces para identificar áreas propensas a un mayor riesgo de mordeduras de serpiente.



En la India, Rai et al. (2021) demostraron por medio de modelos predictivos una asociación positiva significativa entre las áreas donde las condiciones son más favorables para las serpientes y un mayor número de casos de mordeduras de serpiente.

Finalmente, los modelos predictivos pueden ser utilizados para la detección oportuna de riesgos, como una estrategia clave en la implementación de acciones preventivas y de respuesta rápida. En este sentido, el modelo desarrollado en este estudio facilita información clave para la optimizar la distribución de recursos sanitarios, fortalecer la preparación del personal de salud y la implementación de medidas preventivas basadas en datos científicos.

Estos hallazgos, junto con obtenidos en estudio previos, destacan la importancia de utilizar datos climáticos, temporales y geográficos para el desarrollo de estrategias preventivas. Además, respaldan la relevancia de incorporar el análisis predictivo en los enfoques preventivos para mitigar el impacto de eventos de salud prioritarios en los sistemas de salud.

## **CONCLUSIONES**

Los resultados de este estudio confirman que las mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe muestran una relación estrecha con factores climáticos, observándose un mayor número de casos durante periodos con temperaturas templadas, alta precipitación y elevados niveles de humedad. Estas condiciones generan un entorno favorable que incrementa el riesgo de mordeduras de serpiente, corroborado con hallazgos en estudios previos.

El modelo predictivo basado en Random Forest demostró ser confiable para estimar el riesgo de mordeduras de serpiente, con alta exactitud y buen desempeño en la clasificación de eventos de riesgo. Su integración en sistemas de alerta temprana permitiría fortalecer la gestión de riesgos, optimizando la distribución de recursos sanitarios, la planificación de estrategias preventivas y la preparación del personal de salud para mejorar la atención de estos eventos.

Este estudio aporta evidencia clave para la incorporación de modelos predictivos en la vigilancia epidemiológica de las mordeduras de serpiente, demostrando su potencial como apoyo para la toma de decisiones en salud pública y la reducción del impacto de estos eventos en comunidades con mayor riesgo.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afroz, A., Siddiquea, B. N., Chowdhury, H. A., Jackson, T. N., & Watt, A. D. (2024). Snakebite envenoming: A systematic review and meta-analysis of global morbidity and mortality. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 18(4), e0012080. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0012080>
- Alshalah, A., Williams, D. J., & Ferrario, A. (2024). From fangs to antidotes: A scoping review on snakebite burden, species, and antivenoms in the Eastern Mediterranean Region. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 18(7), e0012200. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0012200>
- Alves-Nunes, J. M., Fellone, A., Almeida-Santos, S. M., de Medeiros, C. R., Sazima, I., & Vuolo Marques, O. A. (2024). Study of defensive behavior of a venomous snake as a new approach to understand snakebite. *Scientific Reports*, 14(1), 10230. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59416-6>
- Benjamin, J. M., Abo, B. N., & Brandehoff, N. (2020). Review Article: Snake Envenomation in Africa. *Current Tropical Medicine Reports*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s40475-020-00198-y>
- Bravo-Vega, C., Santos-Vega, M., & Cordovez, J. M. (2022). Disentangling snakebite dynamics in Colombia: How does rainfall and temperature drive snakebite temporal patterns? *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 16(3), e0010270. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0010270>
- Buchanan, J., Thurman, J., Hargis, C., Kirkpatrick, L., & Huecker, M. (2021). Snakebites Reported to the Kentucky Regional Poison Control Centers for the Years 2012-2016. *Wilderness & Environmental Medicine*, 32(2), 143-148. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2021.01.014>
- Calvopiña, M., Guamán-Charco, E., Ramírez, K., Dávalos, F., Chiliquinga, P., Villa-Soxo, S., Oña-Vistin, R., & Romero-Álvarez, D. (2023). Epidemiología y características clínicas de las mordeduras de serpientes venenosas en el norte de la Amazonía del Ecuador (2017-2021). *Biomédica*, 43(1), 93-106. <https://doi.org/10.7705/biomedica.6587>
- Cárdenas, C., González, S., Nahuel, R., Herrera, P., Ferrada, L., & Celis, D. (2018). Diseño de un modelo predictivo de pesquisa cardiovascular utilizando Árboles de Decisión: propensión de pacientes a presentar diabetes tipo 2, hipertensión arterial o dislipidemia: Estudio piloto, comuna de Quellón, Chiloé. *Revista chilena de cardiología*, 37(2), 126-133. <https://doi.org/10.4067/S0718-85602018000200126>



- Chavez García, M. V., Medina Medina, M. S., Luna Martillo, S. T., & Cordova Cedeño, E. M. (2019). Manejo de mordedura de serpientes. *RECIMUNDO*, 4(1), 46-54. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(1\).enero.2020.46-54](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(1).enero.2020.46-54)
- Coto Freund, F., Murillo Barquero, F., & Rocha Monge, S. M. (2022). Accidente ofídico. *Revista Medica Sinergia*, 7(2), e756. <https://doi.org/10.31434/rms.v7i2.756>
- Crowell, H. L., King, K. C., Whelan, J. M., Harmel, M. V., Garcia, G., Gonzales, S. G., Maier, P. H., Neldner, H., Nhu, T., Nolan, J. T., & Taylor, E. N. (2021). Thermal ecology and baseline energetic requirements of a large-bodied ectotherm suggest resilience to climate change. *Ecology and Evolution*, 11(12), 8170-8182. <https://doi.org/10.1002/ece3.7649>
- da Silva, F. F. B., Moura, T. de A., Siqueira-Silva, T., Gutiérrez, J. M., & Martinez, P. A. (2024). Predicting the drivers of Bothrops snakebite incidence across Brazil: A Spatial Analysis. *Toxicon*, 250, 108107. <https://doi.org/10.1016/J.TOXICON.2024.108107>
- Fernández, E. A., & Youssef, P. (2023). Snakebites in the Americas: a Neglected Problem in Public Health. *Current Tropical Medicine Reports*, 11(1), 19-27. <https://doi.org/10.1007/s40475-023-00309-5>
- Fernández-Gárate, J. E., González-Cruz, A. J., Zenil-Pérez, J., Medina-Reyes, I. S., Frances-Salgado, H., & Romero-Guerrero, X. R. (2022). Alerta temprana de brotes COVID-19 para planear la respuesta en el IMSS. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 60(2), S160-72. <http://revistamedica.imss.gob.mx/>
- Ferreira, A. A. F. e, Dos Reis, V. P., Boeno, C. N., Evangelista, J. R., Santana, H. M., Serrath, S. N., Lopes, J. A., Rego, C. M. A., Tavares, M. N. M., Paloschi, M. V., Nery, N. M., Dantas, A. da S., Rodrigues, M. M. S., & Zuliani, J. P. (2020). Increase in the risk of snakebites incidence due to changes in humidity levels: A time series study in four municipalities of the state of Rondônia. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 53. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0377-2019>
- Gutiérrez, J. M. (2018). Snakebite Envenoming in Latin America and the Caribbean. En D. Springer (Ed.), *Clinical Toxinology in Australia, Europe, and Americas* (1.<sup>a</sup> ed., pp. 51-72). [https://doi.org/10.1007/978-94-017-7438-3\\_14](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7438-3_14)



- Hanback, S., Slattery, A., McGwin, G., & Arnold, J. (2021). Association of daily high temperatures with increased snake envenomations: A case-crossover study. *Toxicon*, 201, 54-58. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2021.08.010>
- Instituto Nacional de Salud [INS]. (2022). *Etapa 1. Sistema de alerta temprana: identificación del riesgo en salud pública*. [https://www.ins.gov.co/Noticias/ImagenesBanner/ABECE-GESTION-DEL-RIESGO-COLECTIVO/Etapa-1-Sistema-de-Alerta-Temprana\\_Identificacion-del-riesgo-en-salud-publica.pdf](https://www.ins.gov.co/Noticias/ImagenesBanner/ABECE-GESTION-DEL-RIESGO-COLECTIVO/Etapa-1-Sistema-de-Alerta-Temprana_Identificacion-del-riesgo-en-salud-publica.pdf)
- International Business Machines Corporation [IBM]. (2024). *¿Qué es el análisis predictivo?* International Business Machines Corporation. <https://www.ibm.com/es-es/topics/predictive-analytics>
- Landry, M., D'Souza, R., Moss, S., Chang, H. H., Ebel, S., Wilson, L., & Scovronick, N. (2023). The Association Between Ambient Temperature and Snakebite in Georgia, USA: A Case-Crossover Study. *GeoHealth*, 7(7), e2022GH000781. <https://doi.org/10.1029/2022GH000781>
- Maguiña-Vargas, C., Chinchá-Lino, O., Vilcapoma-Balbín, P., & Morante, D. (2020a). Actualización en clínica y terapia de mordedura de serpiente (ofidismo). *Revista Médica Herediana*, 31(1), 48-55. <https://doi.org/10.20453/rmh.v31i1.3729>
- Maguiña-Vargas, C., Chinchá-Lino, O., Vilcapoma-Balbín, P., & Morante, D. (2020b). Actualización en clínica y terapia de mordedura de serpiente (ofidismo). *Revista Médica Herediana*, 31(1), 48-55. <https://doi.org/10.20453/rmh.v31i1.3729>
- Martinez, P. A., Teixeira, I. B. da F., Siqueira-Silva, T., da Silva, F. F. B., Lima, L. A. G., Chaves-Silveira, J., Olalla-Tárraga, M. Å., Gutiérrez, J. M., & Amado, T. F. (2024). Climate change-related distributional range shifts of venomous snakes: a predictive modelling study of effects on public health and biodiversity. *The Lancet Planetary Health*, 8(3), e163-e171. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(24\)00005-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00005-6)
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2017). Manejo clínico de pacientes con mordeduras de serpientes venenosas y picaduras de escorpiones. En *Ministerio de Salud Pública del Ecuador*. Dirección Nacional de Prevención y Control y Dirección Nacional de Normatización. <https://aplicaciones.msp.gov.ec/salud/archivosdigitales/documentosDirecciones/dnn/archivos/A>



[C\\_00153\\_2017%2021%20NOV.pdf?fbclid=IwAR3Ty0SLIGBoAMBSLiO9NxHVFIhgkB\\_YukIzjvRAuquryAW5vFSpDqbsSfk](#)

Nakamura, H., Maciulewicz, T., Ramirez, J., Hughes, B., Axon, D. R., Shirazi, F., & Smelski, G. (2024). Twenty-five years of suspected rattlesnake encounters in Arizona. *Clinical Toxicology*, 62(8), 526-532. <https://doi.org/10.1080/15563650.2024.2380439>

Ochoa Andrade, M. J. (2020). Frecuencia del envenenamiento por mordeduras de serpientes y perfil sociodemográfico en una población de la Amazonía ecuatoriana y revisión de la literatura. *Práctica Familiar Rural*, 5(2). <https://doi.org/10.23936/pfr.v5i2.152>

Ochoa-Avilés, A., Heredia-Andino, O. S., Escandón, S. A., Celorio-Carvajal, C. A., Arias-Peláez, M. C., Zaruma-Torres, F., Caldeira, C. A. da S., Soares, A. M., & Da Silva, S. L. (2020). Viperidae snakebites in Ecuador: A review of epidemiological and ecological aspects. *Toxicon: X*, 7, 100051. <https://doi.org/10.1016/j.toxcx.2020.100051>

Oldani, J. (2020). *La meteorología* (1.<sup>a</sup> ed.). De Vecchi. [https://www.google.com.ec/books/edition/La\\_meteorolog%C3%ADa/21HhDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=humedad%20relativa%20concepto&pg=PT15&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/La_meteorolog%C3%ADa/21HhDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=humedad%20relativa%20concepto&pg=PT15&printsec=frontcover)

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2021, octubre 30). *Cambio climático*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2023, julio 20). *Envenenamiento por mordedura de serpiente*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/snakebite-envenoming>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2024, agosto 6). *Snakebite envenoming*. Organización Mundial de la Salud. [https://www.who.int/health-topics/snakebite#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/snakebite#tab=tab_3)

Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2020). *¿Por qué los modelos predictivos son cruciales en la lucha en contra la COVID-19?* [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52440/OPSEIHISCOVID19200007\\_spa.pdf?sequence=12&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52440/OPSEIHISCOVID19200007_spa.pdf?sequence=12&isAllowed=y)



- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2021). *Sistema de alerta y respuesta temprana ante brotes de dengue: guía operativa basada en el tablero de mandos en línea*. [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/53961/9789275323175\\_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/53961/9789275323175_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pérez Ramírez, J. E., Aportela Tárano, C. M., & Zambrano Garzón, E. N. (2022). PICADURAS Y MORDEDURAS. *Tesla Revista Científica*, 237-258. <https://doi.org/10.55204/trc.v9789i8788.76>
- Polo-Triana, S. I., Ramírez-Sierra, Y. A., Arias-Osorio, J. E., Martínez-Vega, R. A., & Lamos-Díaz, H. (2022). Métodos de aprendizaje automático para predecir el comportamiento epidemiológico de enfermedades arbovirales: revisión estructurada de literatura. *Salud UIS*, 55(1). <https://doi.org/10.18273/saluduis.55.e:23017>
- Práctica Familiar Rural. (2020). Serpientes u ofidios en el Ecuador. *Práctica Familiar Rural*, 5(2). <https://practicafamiliarrural.org/index.php/pfr/article/view/164/203>
- Rai, A., Chettri, M., Dewan, S., Khandelwal, B., & Chettri, B. (2021). Epidemiological study of snakebite cases in Sikkim: Risk modeling with regard to the habitat suitability of common venomous snakes. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 15(11), e0009800. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009800>
- Raju, M. V., Babu, A. S., & Rao, P. K. S. (2024). Predictive spatial correlation analysis of snakebites of Krishna District, India. *Microsystem Technologies*, 30(5), 625-646. <https://doi.org/10.1007/s00542-023-05595-7>
- Real Academia Española. (2023). *Serpiente*. Real Academia Española. <https://dle.rae.es/serpiente>
- Rocha, J. E. C., & Gomides, S. C. (2024). The Amazonian snakebite burden: Unveiling seasonal dynamics in a region with tenfold higher incidence compared to the Brazilian average. *Tropical Medicine & International Health*, 29(12), 1041-1050. <https://doi.org/10.1111/tmi.14059>
- Santacruz-Ortega, P., & Salazar-Valenzuela, D. (2020). *Envenenamiento por mordeduras de serpientes en Ecuador*. BIOWEB. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://bioweb.bio/faunaweb/reptiliaweb/Ofidismo>



- Sasa, M., Bonilla, F., & Chaves, F. (2019). *Serpientes venenosas de Costa Rica: biología básica* (1.<sup>a</sup> ed.). Instituto Clodomiro Picado. <https://www.icp.ucr.ac.cr/sites/default/files/content/serpientes-venenosas-de-cr-biologia-basica-icp.pdf>
- Scanferla, C. A. (2010). *El origen y evolución temprana de las serpientes: análisis anatómico y filogenético de los ofidios cretácicos y paleógenos de la Patagonia y Bolivia* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/4305>
- Stephen, S., Mohanty, C. R., Radhakrishnan, R. V., Issac, A., Jacob, J., Krishnan, N., VR, V., Guru, S., Muhammed Shaji, I., & Aggarwal, A. (2024). Clinico-Epidemiological Profile, Trends, and Health-Related Outcomes of Snakebite Victims: A One-Year Prospective Study from Eastern India. *Wilderness & Environmental Medicine*, 35(2), 155-165. <https://doi.org/10.1177/10806032241239628>
- Yousefi, M., Yousefkhani, S. H., Grünig, M., Kafash, A., Rajabizadeh, M., & Pouyani, E. R. (2023). Identifying high snakebite risk area under climate change for community education and antivenom distribution. *Scientific Reports*, 13(1), 8191. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35314-1>

