



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Salud Humana

Maestría en Epidemiología

Sistema de alerta temprana de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos en la Provincia de Zamora Chinchipe.

Trabajo de Titulación, previo a la
obtención del título de Magíster en
Epidemiología

Autor:

Marlon Eduardo Jiménez Abad

Director:

Dr. Byron Efrén Serrano Ortega, Esp. Mgtr.

Loja - Ecuador

2024

Certificación de parte del director del trabajo de titulación



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **SERRANO ORTEGA BYRON EFREN**, director del Trabajo de Titulación denominado **Sistema de alerta temprana de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos en la Provincia de Zamora Chinchipe**, perteneciente al estudiante **MARLON EDUARDO JIMENEZ ABAD**, con cédula de identidad N° **1106051202**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Titulación**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Titulación**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Titulación del mencionado estudiante.

Loja, 17 de Diciembre de 2024



BYRON EFREN SERRANO
ORTEGA

F) _____

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN



Certificado TIC/TT.: UNL-2024-003098

1/1
Educamos para Transformar

Autoría

Yo, **Marlon Eduardo Jiménez Abad**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamaciones y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de identidad: 1106051202

Fecha: 04 de febrero de 2025

Correo electrónico: marlon.jimenez@unl.edu.ec

Celular: 0981375336

**Carta de autorización por parte del autor para consulta, reproducción parcial o total,
y/o publicación electrónica de texto completo, del Trabajo de Titulación**

Yo, Marlon Eduardo Jiménez Abad, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: “**Sistema de alerta temprana de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos en la Provincia de Zamora Chinchipe**”, como requisito para optar el título de **Magister en Epidemiología**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los cuatro días del mes de febrero del dos mil veinticinco.

Firma:

Autor: Marlon Eduardo Jiménez Abad

Cédula: 1106051202

Dirección: Zamora Chinchipe-Zamora, Av. Alonso de mercadillo y Fernando Benavente

Correo electrónico: marlon.jimenez@unl.edu.ec

Teléfono: 0981375336

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Dr. Byron Efrén Serrano Ortega Esp. Mgtr.

Dedicatoria

La presente investigación va dedicada a mi mami, Carmela, porque ha sido un ejemplo de disciplina, constancia y sacrificio, enseñándome siempre a perseverar para lograr mis objetivos, sin rendirme.

A mi esposa, Vanessa, cuyo amor y comprensión han constituido base, apoyo y cimiento para alcanzar esta nueva meta.

A mis hermanas, Yasmín, Janela e Irene que son una constante motivación para seguir adelante.

Marlon Eduardo Jiménez Abad

Agradecimiento

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja y a la Facultad de Salud Humana por permitirme cursar esta maestría, brindándome la oportunidad de crecer profesional y académicamente, dotándome de las herramientas necesarias para contribuir al bienestar y transformación de vidas.

A mis docentes y compañeros de maestría, por compartir sus conocimientos y experiencias, enriqueciendo mi formación profesional, académica y humana. Sus enseñanzas y orientaciones han sido fundamentales en la consolidación y en la culminación de una nueva meta.

Marlon Eduardo Jiménez Abad

Índice de contenido

Portada	i
Certificación de parte del director del trabajo de titulación.....	ii
Autoría	iii
Carta de autorización por parte del autor para consulta, reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica de texto completo, del Trabajo de Titulación	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xi
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
3. Introducción	4
4. Marco Teórico.....	7
4.1. Mordeduras de serpiente	7
4.1.1. Definición de mordeduras de serpiente.....	7
4.1.2. Epidemiología.....	7
4.1.2.1. Estadísticas globales, nacionales y regionales.....	7
4.1.2.2. Factores y grupos de riesgo.....	8
4.1.2.3. Distribución geográfica.....	8
4.1.3. Herpetología y comportamiento de las serpientes	8
4.1.3.1. Biología de las serpientes.....	8
4.1.3.1. Tipos y especies de serpientes.	9
4.1.4. Manifestaciones clínicas y complicaciones	9
4.1.5. Suero antiofídico	10
4.2. Factores climáticos.....	10
4.2.1. Temperatura	10
4.2.2. Precipitación	10
4.2.3. Humedad relativa	10
4.2.4. Cambio climático y mordeduras de serpientes	11
4.3. Modelos predictivos en salud.....	11
4.4. Sistemas de alerta en salud pública.....	12

5. Metodología	13
5.1 Área de estudio	13
5.2. Procedimiento	13
5.2.1. Enfoque metodológico	13
5.2.2. Técnica.....	13
5.2.3. Tipo de diseño.....	13
5.2.4. Unidad de estudio	14
5.2.5. Muestra y tamaño de la muestra	14
5.2.6. Criterios de inclusión	14
5.2.7. Criterios de exclusión	14
5.3. Procedimiento y análisis de datos	14
6. Resultados	16
6.1. Resultados para el primer objetivo	16
6.2. Resultados para el segundo objetivo.....	19
6.3. Resultados para el tercer objetivo	22
7. Discusión.....	24
8. Conclusiones	27
9. Recomendaciones	28
10. Bibliografía	29
11. Anexos	34

Índice de tablas

Tabla 1. Reporte de clasificación del modelo Random Forest diseñado para estimar la ocurrencia de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.	19
--	----

Índice de figuras

Figura 1. Mapa del área de estudio, cantones de la provincia de Zamora Chinchipe.....	13
Figura 2. Tendencia mensual del número de casos de mordeduras de serpiente según categorías de temperatura en la provincia de Zamora Chinchipe, durante el periodo 2014 - 2023.....	16
Figura 3. Tendencia mensual del número de mordeduras de serpiente según niveles de precipitación en la provincia de Zamora Chinchipe, durante el periodo 2014 - 2023.....	17
Figura 4. Tendencia mensual del número de mordeduras de serpiente según niveles de humedad relativa en la provincia de Zamora Chinchipe, durante el periodo 2014 - 2023.....	18
Figura 5. Matriz de confusión del modelo Random Forest diseñado para estimar la ocurrencia de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.	20
Figura 6. Curva ROC del modelo Random Forest diseñado para estimar la ocurrencia de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.	20
Figura 7. Diagrama de flujo del sistema de alerta temprana para mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.....	22
Figura 8. Interfaz web del sistema de alerta temprana para la identificación de áreas y períodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.....	23

Índice de anexos

Anexo 1. Aprobación y pertinencia del trabajo de titulación	34
Anexo 2. Designación del director de tesis	35
Anexo 3. Carta de exención emitida por el Comité de ética de Investigación en Seres Humanos de la Universidad Nacional de Loja (CEISH-UNL)	36
Anexo 4. Certificado de culminación y aprobación del trabajo de titulación	38
Anexo 5. Certificado de traducción del resumen.....	39
Anexo 6. Proyecto de titulación.....	40

1. Título

Sistema de alerta temprana de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos en la Provincia de Zamora Chinchipe.

2. Resumen

Las mordeduras de serpiente representan una emergencia sanitaria con riesgo de discapacidad permanente y gran mortalidad, posicionándose como una prioridad dentro de las enfermedades tropicales desatendidas debido a su impacto en los sistemas de salud. Estudios recientes sugieren una estrecha relación entre su incidencia y factores climáticos. Esta investigación tuvo como objetivo determinar dicha relación, diseñar un modelo predictivo y construir un sistema de alerta temprana mediante una plataforma en línea para la identificación de áreas y períodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe. Se realizó un análisis cuantitativo de tipo correlacional, con diseño transversal y visión retrospectiva, utilizando datos de 683 casos de mordeduras de serpiente y registros históricos de datos climáticos de la provincia de Zamora Chinchipe entre 2014 y 2023. Los resultados mostraron que una mayor ocurrencia de mordeduras de serpiente está relacionada con temperaturas templadas, altas precipitaciones y niveles elevados de humedad. Se desarrolló un modelo predictivo basado en Random Forest, con una exactitud general del 77% y un AUC de 0,86, el cual fue integrado en una plataforma en línea como parte de un sistema de alerta temprana para la identificación de áreas y períodos de mayor riesgo a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe. Esta herramienta permitirá mejorar la planificación estratégica en la distribución de recursos y la implementación de medidas preventivas para mitigar el impacto de las mordeduras de serpiente en la región.

Palabras clave: Mordeduras de Serpiente, Clima, Predicción, Sistemas de Alerta Temprana.

Abstract

Snakebites represent a health emergency with a risk of permanent disability and high mortality, positioning themselves as a priority among neglected tropical diseases due to their impact on health systems. Recent studies suggest a close relationship between their incidence and climatic factors. This research aimed to determine this relationship, design a predictive model and build an early warning system through an online platform for the identification of areas and periods of high vulnerability to snakebites in the province of Zamora Chinchipe. A quantitative correlational analysis was conducted, with a cross-sectional design and retrospective view, using data from 683 snakebite cases and historical records of climatic data from the province of Zamora Chinchipe between 2014 and 2023. The results showed that a higher occurrence of snakebites is related to mild temperatures, high rainfall and high humidity levels. A predictive model based on Random Forest was developed, with an overall accuracy of 77% and an AUC of 0.86, which was integrated into an online platform as part of an early warning system for the identification of areas and periods of higher risk of snakebites in the province of Zamora Chinchipe. This tool will improve strategic planning in the distribution of resources and the implementation of preventive measures to mitigate the impact of snake bites in the region.

Keywords: Snakebites, Climate, Forecasting, Early Warning Systems.

3. Introducción

Las mordeduras de serpiente, conocidas también como accidentes ofídicos, representan 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 y 137 880 mueren, de los supervivientes 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, 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, en 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 exploren en profundidad la relación entre los factores climáticos y la ocurrencia de mordeduras de serpiente en esta zona.

Con estos antecedentes, esta investigación plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo se puede desarrollar un sistema de alerta temprana basado en factores climáticos para la identificación de áreas y periodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe?

El desarrollo de este sistema es esencial y busca fortalecer la respuesta sanitaria mediante la anticipación de periodos de alto riesgo para optimizar la distribución de recursos y potenciar estrategias preventivas dirigidas a reducir la incidencia de mordeduras de serpiente.

Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo general desarrollar un sistema de alerta temprana 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: determinar la relación entre los factores climáticos (temperatura, precipitación y humedad) y los casos de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014 - 2023, diseñar un modelo predictivo que estime la ocurrencia de mordeduras de serpiente, basado en factores climáticos en la provincia de Zamora Chinchipe, y construir un sistema de alerta temprana mediante una plataforma en línea que incorpore el modelo predictivo, para la identificación de áreas y períodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.

A nivel global, la investigación se alinea con la estrategia de la Organización Mundial de la Salud (OMS) dirigida a prevenir y controlar el envenenamiento por mordeduras de serpiente para reducir el número de muertes y casos de discapacidad. Igualmente, está en concordancia con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 3, referente a salud y bienestar, propuesto por el Programa de las Naciones Unidas, lo que refuerza su relevancia en el ámbito global. A nivel nacional, este estudio responde a las prioridades para investigación en salud del Ministerio de Salud Pública del Ecuador, específicamente con el área referente a enfermedades tropicales y desatendidas. En el contexto local, se alinea con la línea de investigación institucional de la Universidad Nacional de Loja, enfocada a la salud integral para el desarrollo

sostenible de la población de la región sur del Ecuador. Dentro de la Facultad de Salud Humana, el proyecto se integra con la sublínea de investigación de promoción de la salud, salud pública y epidemiología, enfermedades transmisibles, enfermedades no transmisibles, emergencias, urgencias y desastres, generación e innovación de tecnologías en salud, así como con la línea de investigación de la Maestría de Epidemiología, centrada en factores determinantes del proceso salud-enfermedad y eventos adversos de salud.

Desde una perspectiva ética, este estudio se desarrolla siguiendo los lineamientos establecidos por el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos (CEISH) de la Universidad Nacional de Loja, garantizando el manejo adecuado de los datos y la ausencia de experimentación con seres vivos.

4. Marco Teórico

4.1. Mordeduras de serpiente

4.1.1. Definición de mordeduras de serpiente

Las mordeduras de serpiente son lesiones lacerantes o penetrantes causadas por una serpiente que utiliza sus dientes o colmillos de forma activa o defensiva. Estas mordeduras pueden ir acompañadas de la inoculación de sustancias tóxicas, en el caso de serpientes venenosas, que produce alteraciones fisiopatológicas con efectos tanto a nivel local como sistémico (Chavez García et al., 2019) (Pérez Ramírez et al., 2022). Es una condición potencialmente mortal que causa un síndrome con diversos signos y síntomas de gravedad variable.

4.1.2. Epidemiología

4.1.2.1. Estadísticas globales, nacionales y regionales. A nivel mundial, se estima que la incidencia anual de mordeduras de serpiente es de 69,4 casos por cada 100 000 habitantes (Afroz et al., 2024). Cada año, hasta 5,4 millones de personas son afectadas por estos accidentes, de las cuales alrededor de 2,7 millones presentan complicaciones clínicas graves. Aproximadamente 137 880 personas mueren como resultado de los cambios fisiopatológicos inducidos por la inoculación de veneno, y de los supervivientes alrededor de 400 000 quedan con discapacidades permanentes o amputaciones (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2024).

En América Latina, las mordeduras de serpiente siguen siendo un importante problema de salud pública, especialmente en áreas rurales en donde los hábitats de humanos y serpientes se superponen. En estas áreas son comunes las barreras geográficas y culturales que dificultan el acceso oportuno a atención médica. Según los últimos datos, en las Américas se registran alrededor de 57 500 casos anuales de mordeduras de serpiente, con aproximadamente 370 fallecidos. Sin embargo, la tasa de mortalidad muestra variaciones en función del acceso al suero antiofídico y la rapidez del tratamiento (Fernández & Youssef, 2023). En América del Sur se registra la mayor incidencia de casos de mordeduras de serpiente, presentando cada año hasta 21,7 casos por cada 100 000 habitantes (Afroz et al., 2024).

Brasil es el país con el mayor número de casos en las Américas, reportando cada año alrededor de 27 200 mordeduras de serpiente. A pesar del gran número de casos, la tasa de letalidad cuantificada fue menor en comparación con otros países de la región (Fernández & Youssef, 2023).

En Ecuador, las mordeduras de serpiente representan un problema de salud pública significativo, especialmente en la región amazónica. A nivel nacional, la tasa de incidencia se

calcula en aproximadamente 9,1 casos por 100 000 habitantes, con la región amazónica registrando entre 55 y 78 mordeduras por cada 100 000 habitantes (Ochoa-Avilés et al., 2020).

4.1.2.2. Factores y grupos de riesgo. En América Latina, se han identificado varios factores de riesgo relacionados con las mordeduras de serpiente, entre los que destacan la ocupación, la residencia en zonas rurales, las condiciones climáticas y limitaciones en el acceso a servicios de salud (Gutiérrez, 2018). De forma característica, los grupos mayormente afectados son hombres que viven en áreas rurales y que se dedican a trabajos agrícolas, especialmente durante temporadas lluviosas (Afroz et al., 2024).

Los trabajadores que se dedican a la agricultura, pastoreo y casería están en constante riesgo debido a la invasión de los hábitats naturales de serpientes venenosas. Además, el riesgo se agrava por factores geográficos, ya que estas poblaciones generalmente viven en zonas rurales en donde la provisión de servicios de salud es limitada y el tiempo de traslado a centros de salud es prolongado. En cuanto a los factores climáticos, las temporadas lluviosas y las altas temperaturas están directamente relacionadas con el aumento de la actividad de las serpientes, lo que incrementa la frecuencia de encuentros con humanos y, en consecuencia, el riesgo de sufrir mordeduras (Gutiérrez, 2018).

Adicionalmente, existen factores culturales que contribuyen a retrasar el acceso a un tratamiento efectivo, como el uso de suero antiofídico, lo que agrava la severidad de las mordeduras. Además, la falta de conocimiento sobre primeros auxilios y la preferencia por la medicina tradicional antes de buscar atención en los centros de salud también retrasan el tratamiento adecuado, aumentando así el riesgo de complicaciones graves (Afroz et al., 2024).

4.1.2.3. Distribución geográfica. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las regiones más afectadas por mordeduras de serpiente son África, América Latina y Asia, con el mayor número de casos registrados en países con zonas tropicales y subtropicales (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2023). En América del Sur, la incidencia anual acumulada de mordeduras de serpiente se ha calculado en 21,7 casos por cada 100 000 habitantes, con mayor afección en los países con ingresos medios o bajos, en donde la tasa de incidencia alcanza hasta los 132,6 casos por cada 100 000 habitantes (Afroz et al., 2024).

4.1.3. Herpetología y comportamiento de las serpientes

4.1.3.1. Biología de las serpientes. Las serpientes son reptiles vertebrados que comprende más de 3 000 especies distribuidas alrededor de todo el mundo, con excepción de la Antártida y algunas islas remotas. Su morfología y ecología es muy diversa, abarcando desde especies diminutas hasta enormes ejemplares que pueden superar los 9 metros de longitud (Scanferla, 2010).

Dentro de sus características distintivas esta la cabeza que tiene forma aplanada con una mandíbula elástica que les permite engullir grandes presas. Algunas serpientes poseen dientes y glándulas especializadas para inocular sustancias tóxicas o venenosas (Práctica Familiar Rural, 2020). Tienen un cuerpo alargado y cilíndrico, carente de extremidades, cubierto por piel escamosa que presenta una amplia variedad de colores y patrones (Real Academia Española, 2023).

Una característica fundamental es que son reptiles ectotermos, es decir, dependen de la temperatura ambiental para regular su temperatura corporal, lo que les obliga a modificar su comportamiento en función del clima para llevar a cabo actividades vitales (Sasa et al., 2019).

Aunque las serpientes no poseen un desarrollo cerebral complejo y no tienen la capacidad de planificar o premeditar acciones, muestran ciertos comportamientos para atraer y cazar presas, establecer dominancia o protegerse de potenciales amenazas. La actitud defensiva de morder cuando se sienten amenazadas o acosadas es un comportamiento instintivo que les permite protegerse de posibles peligros (Sasa et al., 2019).

4.1.3.1. Tipos y especies de serpientes. En América Latina, las serpientes que con mayor frecuencia están involucradas en mordeduras a humanos pertenecen a las familias Viperidae y Elapidae. Los géneros más comunes incluyen *Bothrops*, *Crotalus*, *Lachesis* y *Micrurus*, siendo las especies del género *Bothrops* responsables de la mayoría de los envenenamientos, especialmente en zonas rurales de regiones tropicales como el Amazonas y Centroamérica. (Benjamin et al., 2020). Las serpientes del género *Crotalus*, conocidas por su veneno neurotóxico, se encuentran principalmente en Sudamérica y el Caribe. *Lachesis*, por su parte, habita en las selvas tropicales de Sudamérica, y aunque menos frecuente que *Bothrops*, sus mordeduras son muy peligrosas. Finalmente, las serpientes del género *Micrurus*, aunque son menos comunes en estas regiones, son extremadamente peligrosas debido a su potente veneno neurotóxico (Alshalah et al., 2024).

En Ecuador, se han descrito 36 especies venenosas que pertenecen a las familias Elapidae y Viperidae, siendo las de mayor relevancia en términos de peligrosidad. También existen especies de la familia Colubridae que no representan un peligro significativo para los humanos (Santacruz-Ortega & Salazar-Valenzuela, 2020).

4.1.4. Manifestaciones clínicas y complicaciones

La gravedad del cuadro clínico tras una mordedura de serpiente depende de algunos aspectos clave que se deben tomar en cuenta: la zona afectada, la susceptibilidad individual, el género de la serpiente involucrada y la cantidad de veneno inocular (Maguiña-Vargas et al., 2020b).

Una vez inoculado, el veneno ingresa a los tejidos y puede provocar tanto efectos locales como sistémicos. Localmente se origina extravasación, isquemia y mionecrosis, mientras que, a nivel sistémico, las manifestaciones clínicas se dividen en dos grupos: alteraciones neurotóxicas como parálisis neuromuscular flácida, y alteraciones hemostáticas que pueden provocar hemorragias sistémicas (Coto Freund et al., 2022).

Dentro de las complicaciones, estas varían según la especie de serpiente involucrada, siendo las más comunes: insuficiencia renal aguda, insuficiencia respiratoria aguda, infecciones locales, síndrome compartimental y gangrena (Maguiña-Vargas et al., 2020).

4.1.5. Suero antiofídico

El tratamiento específico para el envenenamiento por mordeduras de serpiente es el suero antiofídico, un medicamento biológico obtenido de equinos (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2017). En Ecuador, no existe producción local de este medicamento, por lo que el país depende de antiofídicos polivalentes importados de otros países de Latinoamérica. Esto hace que efectividad sea limitada debido a las variaciones en la composición de las secreciones tóxicas de las serpientes locales (Santacruz-Ortega & Salazar-Valenzuela, 2020).

La producción nacional de suero antiofídico enfrenta interrupciones desde 2012, cuando el Instituto Nacional de Higiene y Medicina Tropical Leopoldo Izquieta Pérez dejó de fabricarlo. Actualmente, el país depende de la importación de antivenenos de instituciones como el Instituto Clodomiro Picado en Costa Rica. Anualmente, se distribuyen entre 1 500 y 1 759 frascos de suero, priorizando zonas de mayor riesgo, como la Amazonía, donde las mordeduras de serpiente son más comunes.

4.2. Factores climáticos

4.2.1. Temperatura

La temperatura atmosférica es un elemento climático que mide la cantidad de energía térmica presente en el aire, resultado de la radiación solar que llega a la superficie terrestre en un lugar determinado. La temperatura se expresa en grados Celsius (°C) (Agencia Estatal de Meteorología [AEMet], 2023).

4.2.2. Precipitación

La precipitación, comúnmente conocida como lluvia, es un fenómeno meteorológico que se refiere a la cantidad de agua que, en cualquiera de sus estados, cae desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. La precipitación se mide en milímetros (mm) (Instituto Meteorológico Nacional [IMN], 2020).

4.2.3. Humedad relativa

La humedad relativa es un elemento climático que representa el porcentaje de vapor de agua presente en un volumen de aire, en razón del vapor de agua necesario para saturar dicho volumen a la misma presión y temperatura. Se mide en porcentaje (%) (Oldani, 2020).

4.2.4. Cambio climático y mordeduras de serpientes

El cambio climático es un factor determinante para la salud, dado que influye directamente en los sistemas naturales, generando alteraciones en la salud debido a fenómenos meteorológicos y climáticos más intensos y frecuentes (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021).

En relación con las mordeduras de serpientes, el aumento de casos puede estar influenciado por los cambios climáticos que alteran la distribución de especies al transformar sus hábitats naturales a nivel mundial (Martinez et al., 2024). El aumento de las temperaturas y la variabilidad climática han provocado la migración de especies de serpientes venenosas hacia áreas en las que anteriormente no se las encontraba, exponiendo a nuevas poblaciones a estos peligros. Esto es particularmente preocupante en zonas rurales donde el acceso al suero antiofídico es limitado, lo que incrementa la mortalidad y las complicaciones asociadas a mordeduras de serpientes.

Un estudio realizado en Georgia, EE. UU., reveló que por cada grado Celsius de aumento en la temperatura diaria, el riesgo de ser mordido por una serpiente aumenta aproximadamente 6 %. Esto se debe a que las serpientes son animales ectotermos y son más activas en climas cálidos, lo que incrementa la probabilidad de encuentros con humanos. Este patrón es replicable en otras regiones del mundo, incluyendo América Latina, donde las temperaturas altas en regiones tropicales, aunado a los cambios climáticos que alteran la distribución de las serpientes, podrían aumentar significativamente el número de incidentes (Landry et al., 2023).

4.3. Modelos predictivos en salud

Los modelos predictivos son herramientas estadísticas avanzadas, diseñadas para generar predicciones sobre eventos futuros mediante el análisis de datos y la identificación de patrones y tendencias. Estos modelos integran múltiples predictores a partir de grandes volúmenes, posibilitando la generación de pronósticos más precisos. Existen diferentes tipos de modelos predictivos, pero entre los más utilizados se encuentran los de clasificación, agrupamiento y series temporales (International Business Machines Corporation [IBM], 2024).

En el ámbito de la salud pública, el uso del análisis predictivo es fundamental para estimar el comportamiento de diversas situaciones de salud, cómo la estimación de casos, muertes, o la demanda de recursos y equipos. Estas predicciones son esenciales para apoyar la

toma de decisiones de forma rápida y precisa, mejorando la eficiencia en la detección temprana de casos, la planificación de servicios médicos y la evaluación de estrategias de salud (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2020).

En el campo de la salud, los modelos predictivos están siendo utilizados cada vez más ampliamente. Por ejemplo, en el contexto de las arbovirosis, estos modelos se utilizan para hacer predicciones de su comportamiento epidemiológico. Los métodos preferidos incluyen técnicas de aprendizaje automático, como las redes neuronales artificiales y las máquinas de vectores de soporte, que han demostrado ser más efectivas en la predicción de estas enfermedades (Polo-Triana et al., 2022).

Además, los modelos predictivos han sido aplicados ampliamente en enfermedades crónicas no transmisibles, por ejemplo, mediante técnicas de minería de datos, logrando estimar el riesgo de desarrollar enfermedades como diabetes mellitus tipo II, hipertensión arterial o dislipidemia. En estos estudios se ha concluido que los modelos tienen un gran poder predictivo y son una herramienta válida para la pesquisa de estas enfermedades (Cárdenas et al., 2018).

4.4. Sistemas de alerta en salud pública

Los sistemas de alerta temprana en salud pública son herramientas utilizadas en la gestión de riesgos, están diseñadas para la detección oportuna de situaciones anormales, emergentes o reemergentes. Su objetivo principal es permitir una respuesta inmediata y efectiva para minimizar el impacto de emergencias. Estos sistemas se basan en diversas fuentes de información para identificar señales de alerta que permitan anticipar, controlar o mitigar el riesgo para la población (Instituto Nacional de Salud [INS], 2022).

Entre las características clave de un sistema de alerta se encuentra la recopilación de datos sobre posibles amenazas. Por medio de análisis predictivo, estos datos se procesan para estimar la ocurrencia de eventos futuros. Y finalmente, con base en estas estimaciones, se emiten alertas dirigidas a autoridades competentes o al público en general, lo facilita la implementación de acciones inmediatas y coordinadas (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2021).

Existen diversos sistemas de alerta temprana en el ámbito sanitario, las cuales se utilizan para identificar y gestionar riesgos para salud. Un ejemplo destacado es su uso en la predicción de brotes y epidemias, como ocurrió durante la pandemia de Covid-19. En este caso, se emplearon estos sistemas para detectar el inicio de nuevas olas de contagios con suficiente anticipación, como para permitir la preparación y respuesta adecuada por parte de los ministerios de salud (Fernández-Gárate et al., 2022).

5. Metodología

5.1 Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la provincia de Zamora Chinchipe, ubicada al sur de la región Amazónica del Ecuador. Esta provincia está provista de un clima de tipo tropical y se encuentra a una altitud de entre 815 y 2 800 m s.n.m. Además, está constituida por 9 cantones: Zamora, Chinchipe, Nangaritza, Yacuambi, Yantzaza, El Pangui, Centinela del Cóndor, Palanda y Paquisha (Gobierno autónomo descentralizado provincial de Zamora Chinchipe, 2019). Tiene una población de 110 973 habitantes según el último Censo realizado en Ecuador en el año 2022 (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2023).

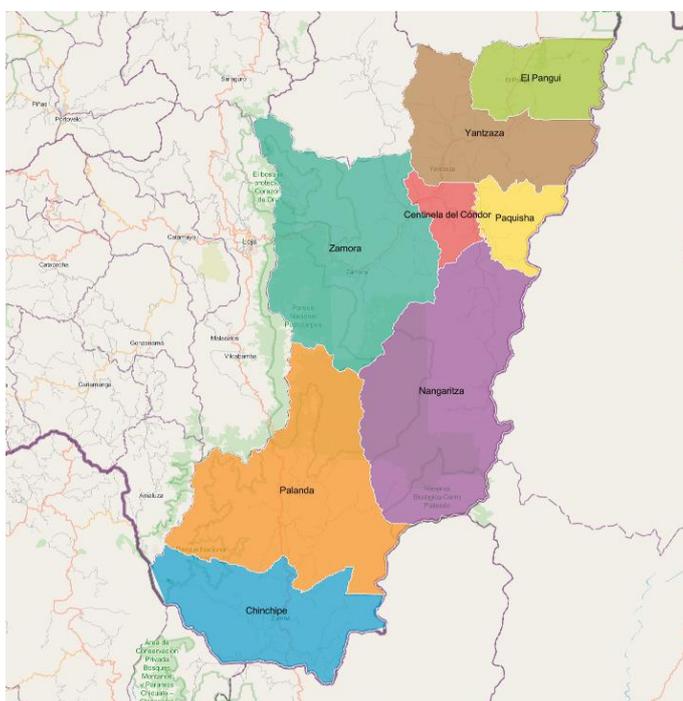


Figura 1. Mapa del área de estudio, cantones de la provincia de Zamora Chinchipe.

Fuente: Elaboración propia en Power BI, utilizando datos de OpenStreetMap y Esri Community Maps.

5.2. Procedimiento

5.2.1. Enfoque metodológico

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo.

5.2.2. Técnica

Cómo técnica se empleó la observación documental, mediante la revisión y análisis de registros históricos de datos climáticos y de casos de mordeduras de serpiente de la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014 - 2023. Los datos provinieron de la Gaceta epidemiológica Zona 7 de la Universidad Nacional de Loja, cuyo acceso y uso fue autorizado previamente.

5.2.3. Tipo de diseño

El estudio fue de tipo correlacional, siguió un diseño transversal y visión retrospectiva.

5.2.4. Unidad de estudio

La unidad de estudio estuvo conformada por los 683 casos de mordedura de serpientes registrados en la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014 - 2023.

5.2.5. Muestra y tamaño de la muestra

Se trabajó con el 100 % de los casos de mordedura de serpientes registrados en la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014 - 2023, por lo cual no fue necesario aplicar técnicas de muestreo.

5.2.6. Criterios de inclusión

Lo constituyeron los casos de mordedura de serpientes de la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014 - 2023, disponibles en la Gaceta epidemiológica Zona 7 de la Universidad Nacional de Loja, que contaron con información completa registrada en la base de datos.

5.2.7. Criterios de exclusión

Casos de mordedura de serpientes de la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014 - 2023, disponibles en la Gaceta epidemiológica Zona 7 de la Universidad Nacional de Loja, que contaban con información incompleta o inconsistente registrada en la base de datos.

5.3. Procedimiento y análisis de datos

La presente investigación se desarrolló estructurando un proyecto de investigación mediante una revisión bibliográfica exhaustiva para posteriormente solicitar la aprobación del tema y obtener la pertinencia de la investigación. Luego se solicitó la asignación del director de tesis.

Los datos se obtuvieron de la Gaceta epidemiológica Zona 7 de la Universidad Nacional de Loja, incluyendo registros históricos de temperatura, precipitación, humedad y casos de mordeduras de serpiente reportados en la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014 - 2023. Se verificó la integridad y completitud de los datos proporcionados mediante la verificación de calidad de datos y corrección de valores faltantes o atípicos. Posteriormente se consolidó una única base de datos en el programa Microsoft Excel.

Para analizar la relación entre factores climáticos y mordeduras de serpiente (objetivo específico 1), la base de datos tratada en Excel fue codificada y se migró a la versión 27 del Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (IBM® SPSS). En este programa realizó un análisis correlacional por medio de gráficos de tendencias temporales para identificar patrones estacionales de los casos de mordeduras de serpiente en relación con los factores climáticos.

Para diseñar un modelo predictivo que estime la ocurrencia de mordeduras de serpiente (objetivo específico 2), la base de datos consolidada en Excel fue almacenada en Google Drive y analizada mediante Google Colab. Se utilizó librerías especializadas de Python para construir un modelo predictivo basado en Random Forest, que utilizó 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).

Dado que los datos presentaban un desbalance de clases en la variable objetivo, se aplicó la técnica SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique) para equilibrar la distribución de clases en el conjunto de datos de entrenamiento. Los datos se dividieron en conjuntos de entrenamiento y prueba con una proporción de 80 % para entrenamiento y 20 % para prueba, garantizando que los datos estuviesen representados de forma adecuada. Por último, para mejorar el desempeño, el modelo fue optimizado mediante una técnica de validación cruzada (Grid Search CV) ajustando hiperparámetros clave como el número de árboles en el bosque, la profundidad máxima del árbol, mínimo de muestras para dividir un nodo y el mínimo de muestras en una hoja.

Para construir un sistema de alerta temprana (objetivo específico 3), se diseñó una plataforma en línea que permite ingresar los valores de las variables predictoras y obtener como resultado el nivel de riesgo de mordedura de serpiente, acompañado de la probabilidad asociada y recomendaciones preventivas según el nivel de riesgo. La interfaz web se desarrolló de forma simple y funcional utilizando HTML, CSS y Bootstrap. Para gestionar las solicitudes de predicción, procesar los datos ingresados, interactuar con el modelo predictivo y generar una respuesta estructurada, se utilizó Flask. El código y el modelo predictivo fueron alojados en un repositorio de GitHub para facilitar su gestión y asegurar la reproducibilidad del sistema. Finalmente, el sistema se desplegó en la plataforma Render, permitiendo generar una URL pública para el acceso desde cualquier dispositivo con conexión a internet. Una vez desplegado, se ejecutaron pruebas funcionales para verificar la precisión de las predicciones, la efectividad de la interfaz y la correcta comunicación de los componentes.

6. Resultados

6.1. Resultados para el primer objetivo

Determinar la relación entre los factores climáticos (temperatura, precipitación y humedad) y los casos de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014 - 2023.

En la figura 2 se muestra la tendencia temporal de los casos de mordeduras de serpiente de acuerdo a las categorías de temperatura registradas en la provincia de Zamora Chinchipe entre 2014 y 2023.

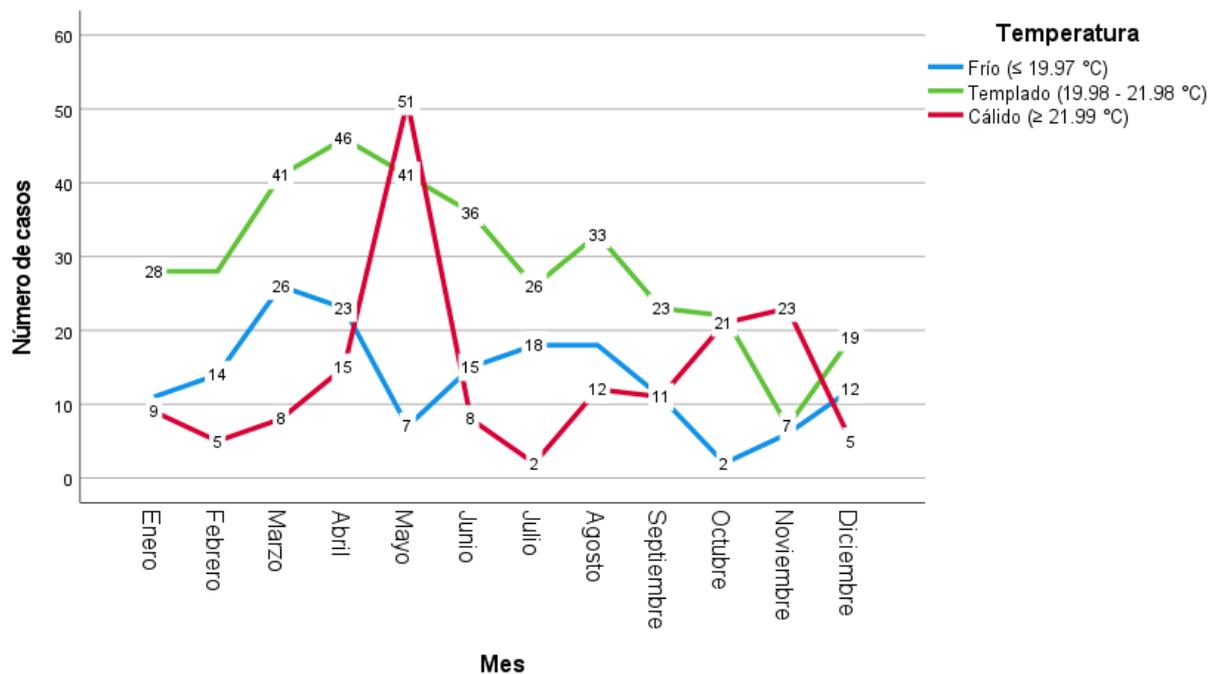


Figura 2. Tendencia mensual del número de casos de mordeduras de serpiente según categorías de temperatura en la provincia de Zamora Chinchipe, durante el periodo 2014 - 2023.
Fuente: Elaboración propia.

Análisis: Los resultados muestran una tendencia clara en la prevalencia de mordeduras de serpiente asociada a temperaturas templadas, presentando el mayor número de casos durante los meses de marzo (41 casos), abril (46 casos) y mayo (41 casos). En temperaturas cálidas se presentó un pico máximo en mayo (51 casos), que contrasta con la tendencia general observada en otros meses. Las temperaturas frías, por el contrario, están relacionadas con un menor número de casos, aunque se observan incrementos en los meses de marzo (26 casos) y abril (23 casos). La tendencia observada podría estar relacionada con la conducta ectotérmica de las serpientes, debido a que durante temperaturas templadas son más activas y, por tanto, aumenta el riesgo de encuentros con humanos.

En la figura 3 se observa la tendencia temporal de los casos de mordeduras de serpiente de acuerdo a los niveles de precipitación registrados en la provincia de Zamora Chinchipe entre 2014 y 2023.

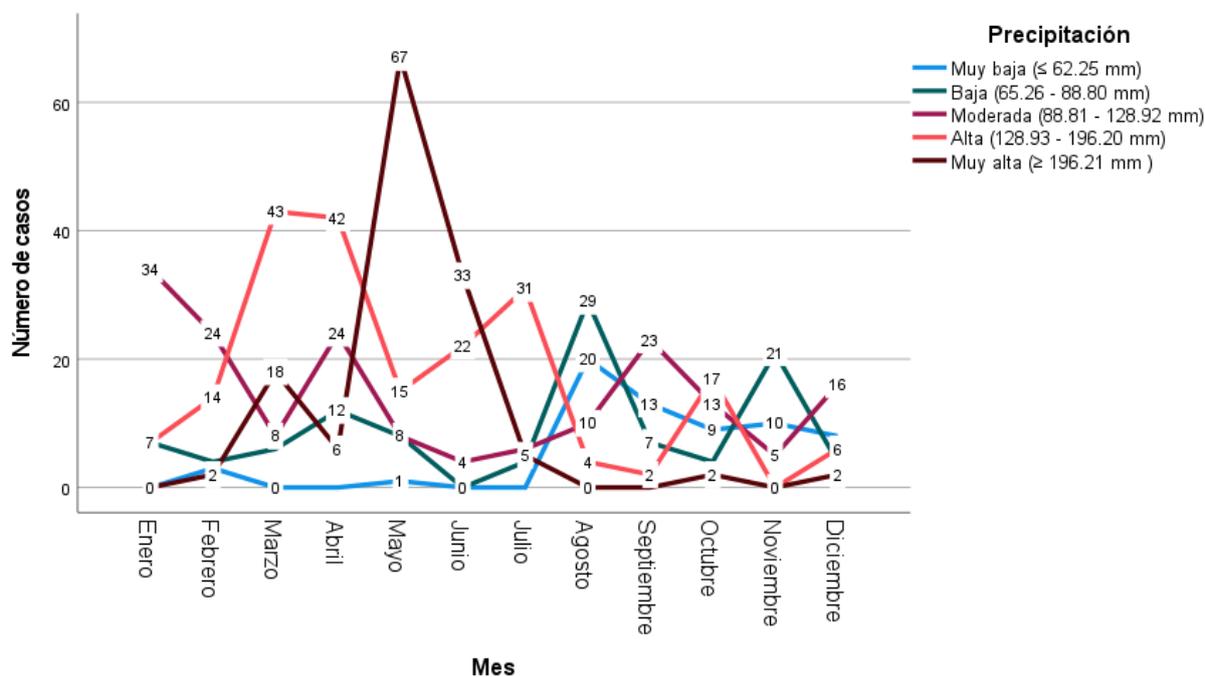


Figura 3. Tendencia mensual del número de mordeduras de serpiente según niveles de precipitación en la provincia de Zamora Chinchipe, durante el periodo 2014 - 2023. Fuente: Elaboración propia.

Análisis: Los resultados muestran que las mordeduras de serpiente presentan una relación estrecha relacionada con mayores niveles de precipitación. Los meses con mayor número de casos relacionado a precipitaciones altas son marzo (43 casos) y abril (42 casos), mientras que en mayo se observa un pico máximo de casos (67) asociado a precipitaciones muy altas. Por otro lado, durante agosto (29 casos) y septiembre (23 casos), el mayor número de casos se relaciona con precipitaciones moderadas y bajas. Estos hallazgos sugieren que el aumento de mordeduras de serpiente durante periodos de alta precipitación puede estar relacionado con el desplazamiento consecuente de las serpientes a zonas habitadas, aumentando el riesgo de interacción con la población. Y durante periodos con precipitaciones bajas la prevalencia de casos puede estar relacionada con otras variables, como actividades agrícolas o recreativas realizadas en estas épocas.

En la figura 4 se observa la tendencia temporal de los casos de mordeduras de serpiente de acuerdo a los niveles de humedad relativa registrados en la provincia de Zamora Chinchipe entre 2014 y 2023.

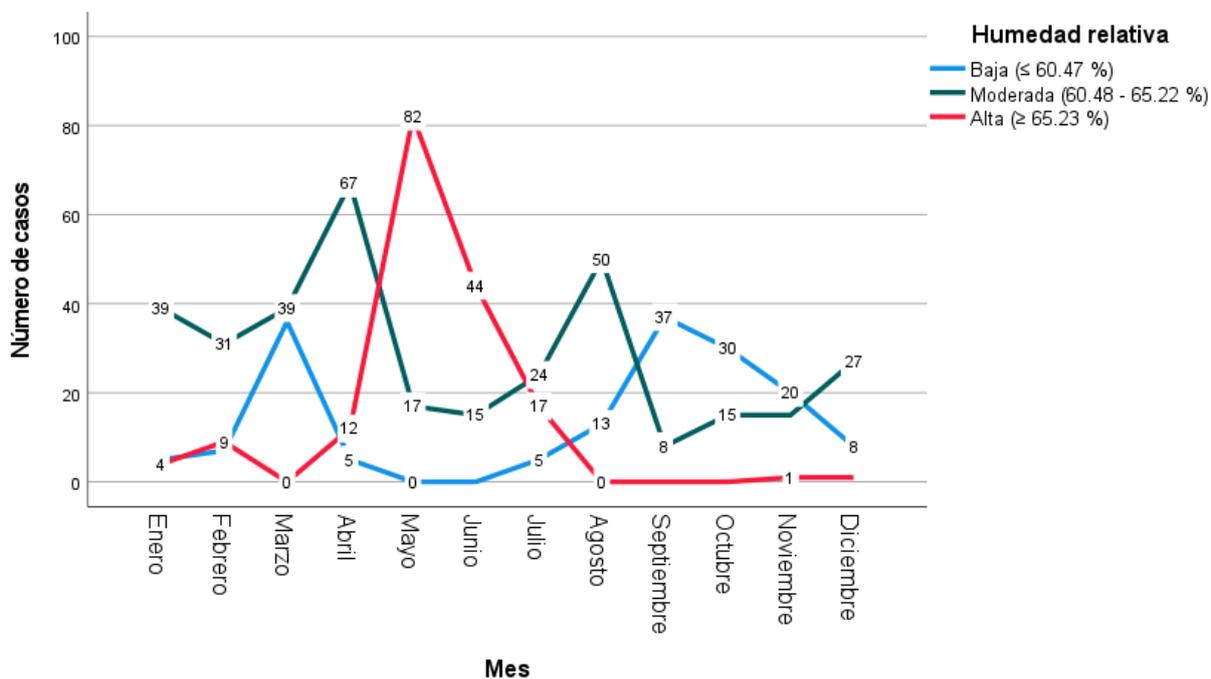


Figura 4. Tendencia mensual del número de mordeduras de serpiente según niveles de humedad relativa en la provincia de Zamora Chinchipe, durante el periodo 2014 - 2023.
Fuente: Elaboración propia.

Análisis: Los resultados muestran un claro predominio de casos de mordeduras de serpiente en periodos con humedad relativa moderada. En el mes de mayo, existe un pico máximo de casos relacionado con niveles de humedad relativa alta (82 casos). Mientras que en los meses de abril (67 casos) y agosto (50 casos), la humedad relativa moderada está relacionada con una mayor prevalencia de casos. 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. Estos resultados sugieren que la actividad y proliferación de las serpientes podría estar influenciada por variaciones en la humedad, aumentando el riesgo de encuentros con humanos en condiciones más húmedas.

6.2. Resultados para el segundo objetivo

Diseñar un modelo predictivo que estime la ocurrencia de mordeduras de serpiente, basado en factores climáticos en la provincia de Zamora Chinchipe.

Se diseñó un modelo predictivo basado en Random Forest, un algoritmo de aprendizaje automático adecuado para manejar datos no lineales, mejorar la precisión y reducir el sobreajuste, haciéndolo adecuado para el análisis inferencial de mordeduras de serpiente. El modelo fue entrenado con variables predictoras (mes, cantón, precipitación, temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura media y humedad relativa), mientras que la variable objetivo fue de tipo dicotómico (presencia/ausencia de mordeduras de serpiente).

En la tabla 1 se presentan los resultados del rendimiento del modelo, donde se muestra el reporte de clasificación con métricas clave como precisión, sensibilidad, F1-Score y exactitud.

Tabla 1. Reporte de clasificación del modelo Random Forest diseñado para estimar la ocurrencia 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

Análisis: El modelo tiene una buena precisión en ambas clases (73 % para ausencia de mordeduras y 83 % para presencia de mordeduras), sin embargo, tiene mayor precisión al identificar correctamente casos positivos. Respecto a la sensibilidad, tiene un desempeño superior para identificar casos negativos de forma correcta (86 %), pero tiene una menor capacidad para detectar de forma correcta falsos negativos (68 %). El F1-Score muestra que el modelo tiene un desempeño balanceado en la identificación de ausencia o presencia de mordeduras de serpiente (79 % y 75 %). La exactitud global del modelo fue del 77 %, reflejando su capacidad de clasificación correcta en la mayoría de las muestras.

En la Figura 5 se muestra la matriz de confusión del modelo basado en Random Forest, que proporciona una visión completa del desempeño del modelo.

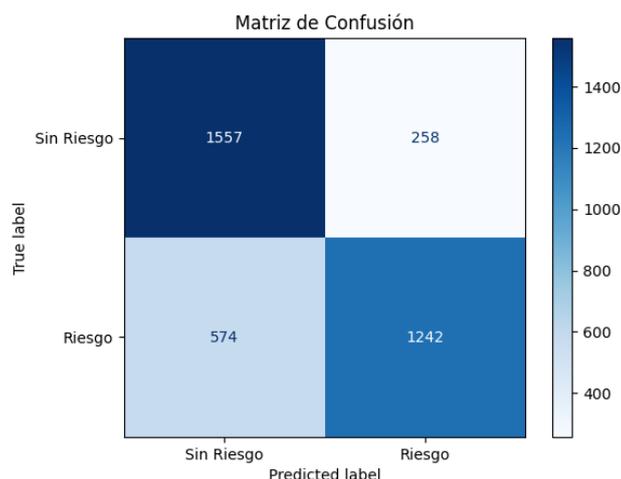


Figura 5. Matriz de confusión del modelo Random Forest diseñado para estimar la ocurrencia de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis: 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). Por otro lado, existen 258 casos falsos positivos y 574 casos falsos negativos que el modelo predijo de forma incorrecta, los que implica que en ciertos escenarios el modelo generó alertas innecesarias o subestimó el riesgo de mordeduras de serpiente, respectivamente.

En la figura 6 se muestra la Curva ROC del modelo Random Forest, presentando la evaluación de la capacidad de discriminación entre clases.

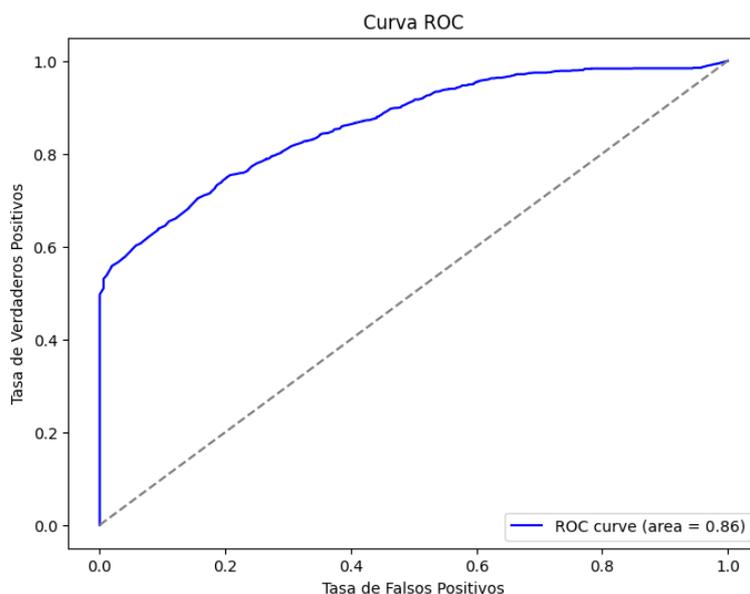


Figura 6. Curva ROC del modelo Random Forest diseñado para estimar la ocurrencia de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis: El modelo presentó un área bajo la curva (AUC) de 0,86, lo que indica que tiene una buena capacidad para identificar casos de riesgo o 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.

6.3. Resultados para el tercer objetivo

Construir un sistema de alerta temprana mediante una plataforma en línea que incorpore el modelo predictivo, para la identificación de áreas y períodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.

Se desarrollo un sistema de alerta temprana basado en un modelo Random Forest, con el objetivo que predecir la vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe, mediante variables climáticas, temporales y geográficas. Este sistema fue integrado a una plataforma en línea para permitir accesible desde cualquier dispositivo que tenga conexión a internet. El sistema se encuentra disponible en: <https://sistema-de-alerta-temprana.onrender.com>

El la figura 7 se muestra un diagrama de flujo que ilustra la secuencia de funcionamiento del sistema de alerta temprana. El proceso inicia con el ingreso de datos, donde el usuario introduce las variables predictoras a través de una interfaz web, incluyendo mes, cantón, precipitación, temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura media y humedad relativa. Estos valores son enviados al servidor de aplicaciones, donde son verificados y formateados para su procesamiento. A continuación, el modelo Random Forest analiza la información y genera una predicción sobre la vulnerabilidad a mordeduras de serpiente. Este resultado es recogido nuevamente por el servidor, quien lo procesa y lo prepara para su visualización final en la interfaz web, mostrando el nivel de riesgo, la probabilidad asociada y recomendaciones preventivas. De este modo, el sistema proporciona una alerta clara y accesible para orientar la toma de decisiones.

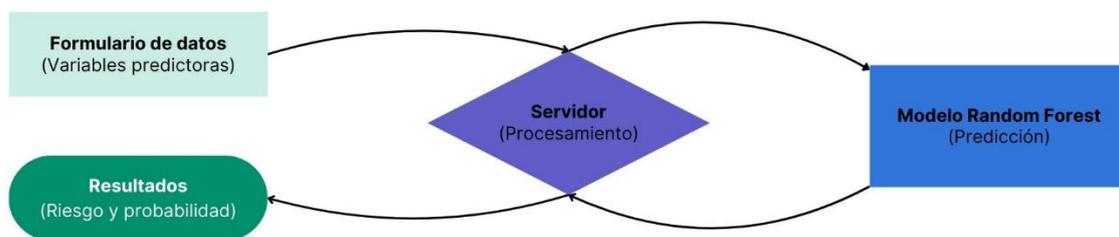


Figura 7. Diagrama de flujo del sistema de alerta temprana para mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 8 muestra una captura de pantalla de la interfaz web, diseñada para facilitar la interacción con los usuarios. La interfaz permite ingresar valores de las variables predictoras en forma intuitiva y recibir resultados claros sobre el riesgo de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.

Sistema de alerta temprana

Predicción de riesgo de mordeduras de serpiente en la Provincia de Zamora Chinchipe

Mes:

Cantón:

Precipitación (mm):

Temperatura Mínima (°C):

Temperatura Máxima (°C):

Temperatura Media (°C):

Humedad Relativa (%):

Predicir

Figura 8. Interfaz web del sistema de alerta temprana para la identificación de áreas y períodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.
Fuente: Elaboración propia.

7. 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 demuestran su utilidad en la planificación de estrategias de prevención mediante un sistema de alerta temprana basado en modelos predictivos.

Los hallazgos obtenidos del análisis de tendencias a lo largo de diez años demuestran que existe una clara influencia de los factores climáticos en la ocurrencia de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe. Específicamente los periodos de tiempo con temperaturas templadas registraron un mayor número de casos, atribuidos a la mayor actividad de las serpientes en estas condiciones de temperatura dado su carácter ectotérmico. Estos resultados son consistentes con estudios previos como los de da Silva et al. (2024) en Brasil, donde determinaron que las regiones con mayores niveles de temperatura y precipitación registraron tasas de incidencia de mordeduras de serpiente significativamente más altas.

Asimismo, los datos sugieren que las altas precipitaciones desempeñan un papel fundamental en ciertos periodos, probablemente porque inducen el desplazamiento de serpientes hacia zonas habitadas y, por lo tanto, aumentan el riesgo de mordeduras. Este hallazgo concuerda 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. Igualmente, 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, que coincide con la temporada de verano. De igual forma, 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 sugieren la importancia de tomar en cuenta el contexto geográfico y ecológico para 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, y por tanto del riesgo de mordeduras. En esta línea, Ferreira et al. (2020) observaron que los aumentos de humedad relativa están correlacionados con el incremento de mordeduras de serpiente en Rondônia, Brasil.

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

En este contexto, 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 marco del cambio climático. Raju et al. (2024) evidenciaron que el análisis basado en variables como el uso de la tierra, precipitaciones, zonas de inundación, datos de mordeduras de serpientes, 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 sistemas de alerta temprana en salud pública están diseñados para la detección oportuna de riesgos, con base en diversas fuentes de información que permiten la implementación de acciones inmediatas y coordinadas. La construcción de un sistema de alerta temprana basado en un modelo predictivo permitió la identificación de áreas y períodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe. Este sistema constituye un prototipo valioso para la planificación estratégica, debido a que facilita

información clave para la distribución de recursos sanitarios, la preparación del personal de salud e la implementación de medidas preventivas.

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, basándose en datos científicos sólidos.

8. Conclusiones

- 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 un buen desempeño para discriminar entre la ocurrencia o no de mordeduras de serpiente, con alta exactitud y buena AUC, consolidándose como una herramienta útil en la planificación de estrategias en salud pública. Sin embargo, se requiere incorporar un mayor volumen de datos y explorar nuevas variables para mejorar su sensibilidad.

- La construcción de un sistema de alerta temprana que integra un modelo predictivo permitió identificar áreas y períodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe. Este sistema representa una solución para la gestión de riesgos y puede ser aplicada en otras regiones y en contextos similares, facilitando la toma de decisiones para la prevención y distribución de recursos sanitarios.

9. Recomendaciones

- Al Ministerio de Salud Pública, se debe considerar evaluar e implementar el sistema de alerta temprana propuesto, integrándolo al sistema de vigilancia epidemiológica actual. Su incorporación permitirá optimizar la planificación y distribución de recursos en zonas de mayor vulnerabilidad. Además, se debe fortalecer la colaboración con instituciones educativas y de investigación para el desarrollo de nuevas herramientas que permitan mejorar las estrategias de prevención y respuesta ante eventos de interés prioritario.

- A la Universidad Nacional de Loja, se debe impulsar la creación de proyectos que exploren la interacción entre factores climáticos, geográficos y sociales con patologías prioritarias, como las mordeduras de serpiente. Estos proyectos pueden enfocarse en el diseño, validación y aplicación de modelos predictivos en diferentes contextos epidemiológicos, para promover la transferencia de conocimientos y la colaboración activa con instituciones de salud.

- A nuevos investigadores, se debe ampliar el análisis de la interacción de otros factores específicos en la ocurrencia de mordeduras de serpiente y otras patologías prioritarias. Investigaciones futuras deben incluir un mayor volumen de datos históricos y exploraciones prospectivas que mejoren la precisión de los modelos predictivos. Asimismo, se debe desarrollar sistemas tecnológicos que integren estos modelos y faciliten una comunicación oportuna de los riesgos a responsables de salud pública y a las comunidades afectadas.

10. Bibliografía

- 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 Médica 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.^a ed., pp. 51-72). 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

- 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.gob.ec/salud/archivosdigitales/documentosDirecciones/dnn/archivos/AC_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.^a 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
- 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
- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2020). *¿Por qué los modelos predictivos son cruciales en la lucha contra la COVID-19?* 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
- Pérez Ramírez, J. E., Aportela Táranos, 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.^a 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>

11. Anexos

Anexo 1. Aprobación y pertinencia del trabajo de titulación



unl
Universidad
Nacional
de Loja

Carrera de
Medicina

Memorando Nro.: UNL-FSH-CM-2024-1996-M

Loja, 08 de octubre de 2024

PARA: Sra. Gabriela Alejandra Alvarez Gahona
Gestión Académica (e)

ASUNTO: PERTINENCIA MARLON JIMENEZ

En atención a Memorando Nro.: UNL-DPG-MEP-2024-0044-M, en el que se solicita:
(...) para que emita el informe de estructura, coherencia y pertinencia del proyecto...

Al respecto debo indicar que, el tema Proyecto de Investigación, titulado **“Sistema de alerta temprana de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos en la Provincia de Zamora Chinchipe”**, de autoría de **JIMENEZ ABAD MARLON EDUARDO**, estudiante de la Maestría en Epidemiología, es **PERTINENTE** en cuanto a su estructura y coherencia

Atentamente,

Documento firmado electrónicamente

Sr. Byron Efrén Serrano Ortega
DOCENTE TITULAR AUXILIAR I

Anexos:
- unl-dpg-mep-2024-0044-m.pdf
- marlon_jiménez0191664001728397521.pdf

CBCB



BYRON EFREN SERRANO
ORTEGA

Educamos para **Transformar**
1/1

Anexo 2. Designación del director de tesis



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Programa de Maestría en
Epidemiología

Memorando Nro.: UNL-DPG-MEP-2024-0049-M

Loja, 15 de octubre de 2024

PARA: Sr. Byron Efren Serrano Ortega
Docente Titular Auxiliar 1

ASUNTO: DESIGNACION DE DIRECTOR TT- JIMENEZ ABAD MARLON
EDUARDO - MEP

Una vez que se ha recibido la petición presentada por JIMENEZ ABAD MARLON EDUARDO, estudiante del segundo periodo académico de la Maestría en Epidemiología; acogiendo lo establecido en el **Art. 228 Dirección del trabajo de integración curricular o de titulación**, del Reglamento de Régimen Académico de la UNL vigente; una vez emitido el informe favorable de estructura, coherencia y pertinencia del proyecto; me permito designar a usted, como **DIRECTOR/A del Trabajo de Integración Curricular o Titulación**, titulado: " Sistema de alerta temprana de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos en la Provincia de Zamora Chinchipe", de autoría del antes mencionado estudiante.

Se le recuerda que conforme lo establecido en el Art. 228 del RRA-UNL, usted en su calidad de director del trabajo de integración curricular o de titulación "*será responsable de asesorar y monitorear con pertinencia y rigurosidad científico-técnica la ejecución del proyecto y de revisar oportunamente los informes de avance, los cuales serán devueltos al aspirante con las observaciones, sugerencias y recomendaciones necesarias para asegurar la calidad de la investigación. Cuando sea necesario, visitará y monitoreará el escenario donde se desarrolle el trabajo de integración curricular o de titulación*".

Por la atención dada, le expreso mi sincero agradecimiento

Atentamente,

Documento firmado electrónicamente

Sra. Gabriela Alejandra Alvarez Gahona
GESTIÓN ACADÉMICA (E)

Anexos:
- TRABAJO

Copia:
Sra. Sonia Paulina Vallejo Maldonado
Secretaria Abogada
Sr. Angel Floresmilo Montoya Yunga

Educamos para **Transformar**

Anexo 3. Carta de exención emitida por el Comité de ética de Investigación en Seres Humanos de la Universidad Nacional de Loja (CEISH-UNL)



unl

Universidad
Nacional
de Loja



CEISH UNL
Comité de Ética
de Investigación
en Seres Humanos

Anexo 8. Formato de Carta de Exención

Oficio Nro. UNL-CEISH-2024-439-O
Loja, 8 de noviembre de 2024

Señor/a
Marlon Eduardo Jiménez Abad
Investigador Principal
Universidad Nacional de Loja

Presente. -

De mi consideración.

El Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Universidad Nacional de Loja - CEISH-UNL, una vez que revisó el protocolo de investigación titulado **Sistema de alerta temprana de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos en la Provincia de Zamora Chinchipe**, codificado como **UNL-CEISH-EX-2024-0028-P**, notifica a Usted que este proyecto es una investigación exenta de evaluación por parte del CEISH, de acuerdo con lo establecido en la normativa legal vigente.

Descripción de la Investigación:

- **Tipo de estudio:** Analítico transversal
- **Duración del estudio (meses):** 1 mes 15 días
- **Instituciones Participantes:** Universidad Nacional de Loja
- **Investigadores del estudio:** Marlon Eduardo Jiménez Abad **Investigador Principal** - Byron Efrén Serrano Ortega **Investigado 1**

Documentación de la investigación:

Nombre de Documentos	Número de páginas	Fecha
Solicitud de exención de revisión del protocolo de investigación	1	18 de octubre de 2024
Formulario para la presentación de protocolos de investigación.	22	18 de octubre de 2024
Carta de interés de establecimientos públicos o privados.	1	18 de octubre de 2024

Página 1 de 2



unl

Universidad
Nacional
de Loja



CEISH UNL
Comité de Ética
de Investigación
en Seres Humanos

Esta carta de exención tiene una vigencia de un año, contando desde la fecha de recepción de esta documentación. La investigación deberá ejecutarse de conformidad a lo descrito en el protocolo de investigación presentado al CEISH-UNL. Cualquier notificación a la documentación antes descrita, deberá ser presentada a este Comité para su revisión u aprobación.

Informar al CEISH-UNL la fecha de inicio y culminación de la investigación. Presentar a este comité informes periódicos del avance de ejecución del proyecto, según lo estime el CEISH-UNL (visite <https://unl.edu.ec/ceish/seguimiento-protocolos>).

Atentamente;



SANDRA KATERINE
MEJIA MICHAY

Mgtr. Sandra Katerine Mejía Michay

Presidenta CEISH-UNL

Telef. 072571379 Ext. 121

Correo Electrónico. ceish-unl@unl.edu.ec

Elaborado por: Ing. Ana Cristina Loján Guzmán

Página 2 de 2

Anexo 4. Certificado de culminación y aprobación del trabajo de titulación



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **SERRANO ORTEGA BYRON EFREN**, director del Trabajo de Titulación denominado **Sistema de alerta temprana de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos en la Provincia de Zamora Chinchipe**, perteneciente al estudiante **MARLON EDUARDO JIMENEZ ABAD**, con cédula de identidad N° **1106051202**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Titulación**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Titulación**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Titulación del mencionado estudiante.

Loja, 17 de Diciembre de 2024


BYRON EFREN SERRANO
ORTEGA
F) _____
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Certificado TIC/TT.: UNL-2024-003098

1/1
Educamos para Transformar

Anexo 5. Certificado de traducción del resumen

Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar
Certified English Teacher

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés, del resumen del trabajo de integración curricular, titulado: "**Sistema de alerta temprana de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos en la Provincia de Zamora Chinchipe.**", de autoría del Sr. Marlon Eduardo Jiménez Abad, con número de cédula 1108051202, estudiante de la Maestría en Epidemiología, de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autoriza a la interesada, hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

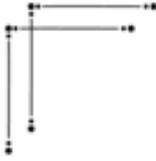
Loja, 31 de enero del 2025



Carlos Fernando
VELASTEGUI AGUILAR

Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS
Numero de registro: 1031-2022-2463645
C.I.: 1105165672

Anexo 6. Proyecto de titulación



Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Salud Humana

Maestría en Epidemiología

Proyecto de investigación de titulación

Título:

"Sistema de alerta temprana de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos en la Provincia de Zamora Chinchipe"

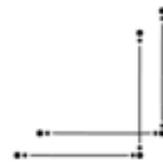
Autor:

Md. Marlon Eduardo Jiménez Abad

Loja - Ecuador

2024

Educamos para Transformar



1. Título

"Sistema de alerta temprana de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos en la Provincia de Zamora Chinchipe"

2. Problema de investigación

Las mordeduras de serpiente, conocidas como accidentes ofídicos, representan una emergencia sanitaria cuando implican la inoculación de veneno, ya que este puede provocar una amplia gama de signos y síntomas de gravedad variable debido a cambios fisiopatológicos inducidos por la sustancia tóxica (Chavez García et al., 2019). Este síndrome puede conllevar complicaciones como insuficiencia renal aguda, insuficiencia respiratoria aguda, shock hemodinámico, infecciones locales, síndrome compartimental y gangrena, derivando 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 las cuales alrededor de 2,7 millones presentan complicaciones clínicas graves y 137 880 mueren, de los supervivientes más de 400 000 quedan con discapacidades permanentes o amputaciones. Este fenómeno involucra principalmente a personas de comunidades rurales en países con bajos recursos económicos. Además, representa un grave problema de salud pública y es una prioridad dentro de las enfermedades tropicales desatendidas, con alta carga para los sistemas de salud.

Las serpientes, al ser reptiles ectotermos, dependen de fuentes térmicas externas para regular su temperatura corporal, lo que hace que el clima desempeñe un papel crucial para su supervivencia. Este factor afecta varias de sus funciones biológicas, provocando cambios conductuales y fisiológicos (Crowell et al., 2021). Es así que varios estudios han encontrado una correlación positiva entre variables climáticas y la prevalencia de casos de mordeduras de serpiente.

En Estados Unidos, Landry et al. (2023) reportaron que el aumento de 1 °C en la temperatura máxima diaria tuvo una asociación positiva con una mayor probabilidad de mordeduras por serpientes venenosas y no venenosas. De forma similar, 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, aunque no identificaron una relación significativa con la precipitación y la temperatura. Por el contrario, 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, sin embargo, no observaron un efecto significativo de la temperatura.

En el norte de la Amazonia Ecuatoriana, Calvopiña et al. (2023) determinaron que la mayor frecuencia de mordeduras de serpiente ocurre durante los meses con mayores precipitaciones, lo que sugiere una tendencia estacional para estos accidentes. De manera

similar, Ochoa Andrade (2020) reportó un aumento de casos de mordeduras de serpiente en meses lluviosos en la región central de la Amazonía Ecuatoriana.

La evidencia científica más reciente sugiere que las mordeduras de serpiente están estrechamente relacionadas tanto con factores climáticos como temporales, mostrando diferentes patrones según la región estudiada. En este contexto, la provincia de Zamora Chinchipe, una zona en la que prima el clima de tipo tropical, reúne las condiciones ideales para la reproducción y supervivencia de serpientes. Esta provincia muestra la mayor prevalencia de casos de mordeduras de serpiente en comparación con otras provincias de la zona 7, por lo que diseñar un sistema de alerta temprano de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos y temporales es esencial para mejorar la planificación sanitaria, optimizando la distribución de recursos médicos y fortaleciendo estrategias de prevención.

Pregunta Central

- ¿Cómo se puede desarrollar un sistema de alerta temprana basado en factores climáticos para la identificación de áreas y periodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe?

Preguntas Específicas

- ¿Cuál es la relación entre los factores climáticos (temperatura, precipitación y humedad) y los casos de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014-2023?

- ¿Cómo se puede diseñar un modelo de predicción que utilice datos climáticos para estimar la ocurrencia de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe?

- ¿Cómo se puede crear un sistema de alerta temprana en línea que incorpore el modelo predictivo, para la identificación de áreas y períodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe?

2.1 Justificación

La evidencia reciente ha demostrado que las mordeduras de serpiente están asociadas con variables climáticas, como la temperatura, la precipitación y la humedad, mostrando diferentes patrones y relaciones según la región estudiada. En este contexto, la provincia de Zamora Chinchipe, en 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), lo que crea condiciones ideales para la reproducción y supervivencia de diversas especies de serpientes. En esta región se ha registrado la mayor prevalencia de mordeduras de serpiente en comparación con otras provincias de la zona 7, lo que resalta la necesidad de investigar los factores que influyen en estos accidentes para desarrollar estrategias que mejoren su prevención y manejo.

Las variaciones climáticas en la provincia de Zamora Chinchipe, pueden afectar el comportamiento y la actividad de las serpientes, incrementando el riesgo de encuentros con humanos y, por lo tanto, los accidentes ofídicos. Aunque estudios previos han establecido una correlación entre estos factores y la prevalencia de mordeduras de serpiente, no existen investigaciones locales que exploren estos patrones ni que implementen estrategias basadas en esta relación.

Este estudio tiene como objetivo desarrollar un sistema de alerta que identifique áreas y periodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe, basado en factores climáticos como temperatura, precipitación y humedad. El desarrollo de este sistema es esencial por varias razones clave. Primero, mejorará la respuesta sanitaria al anticipar períodos de alto riesgo, facilitando la preparación de los servicios de emergencia para la atención médica oportuna. Segundo, optimizará la distribución de recursos, ya que los datos obtenidos permitirán implementar estrategias para una asignación eficiente de suero antiofídico y equipos de emergencia, concentrando esfuerzos en áreas y momentos de mayor riesgo. Y tercero, potenciará las estrategias preventivas mediante el desarrollo e implementación de campañas educativas para reducir el riesgo de encuentros con serpientes.

De esta manera, esta investigación beneficiará directamente a la población de Zamora Chinchipe, contribuyendo a reducir las tasas de morbilidad y mortalidad relacionadas con accidentes ofídicos. Además, esta investigación contribuirá al conocimiento científico global al aportar evidencia sobre la relación entre el clima y las mordeduras de serpiente, ofreciendo hallazgos que pueden ser aplicables en otras regiones de Ecuador o América Latina con

características climáticas similares, mejorando las estrategias de prevención y respuesta en un contexto más amplio.

A nivel ético, el desarrollo de este sistema tendrá un impacto positivo en la salud pública sin involucrar experimentación con seres vivos. El manejo de la información de realizará conforme los lineamientos establecidos por el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos (CEISH) de la Universidad Nacional de Loja.

Además, este estudio se alinea con la estrategia de la Organización Mundial de la Salud (OMS) dirigida a prevenir y controlar el envenenamiento por mordeduras de serpiente para reducir el número de muertes y casos de discapacidad. Igualmente, está en concordancia con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 3, referente a salud y bienestar, propuesto por el Programa de las Naciones Unidas, lo que refuerza su relevancia en el ámbito global.

A nivel nacional, este estudio responde a las prioridades de investigación en salud del Ministerio de Salud Pública del Ecuador, específicamente con el área referente a enfermedades tropicales y desatendidas. En el contexto local, se alinea con la línea de investigación institucional de la Universidad Nacional de Loja, enfocada a la salud integral para el desarrollo sostenible de la población de la región sur del Ecuador. Dentro de la Facultad de Salud Humana, el proyecto se integra con la sublínea de investigación de promoción de la salud, salud pública y epidemiología, enfermedades transmisibles, enfermedades no transmisibles, emergencias, urgencias y desastres, generación e innovación de tecnologías en salud, así como con la línea de investigación de la Maestría de Epidemiología, centrada en factores determinantes del proceso salud-enfermedad y eventos adversos de salud.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Desarrollar un sistema de alerta temprana basado en factores climáticos para la identificación de áreas y periodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la relación entre los factores climáticos (temperatura, precipitación y humedad) y los casos de mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014-2023.

- Diseñar un modelo predictivo que estime la ocurrencia de mordeduras de serpiente, basado en factores climáticos en la provincia de Zamora Chinchipe.

- Construir un sistema de alerta temprana mediante una plataforma en línea que incorpore el modelo predictivo, para la identificación de áreas y períodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente en la provincia de Zamora Chinchipe.

4. Marco Teórico

- 4.1. Mordeduras de serpiente
 - 4.1.1. Definición de mordeduras de serpiente
 - 4.1.2. Epidemiología
 - 4.1.2.1. Estadísticas globales, nacionales y regionales
 - 4.1.2.2. Factores y grupos de riesgo
 - 4.1.2.3. Distribución geográfica
 - 4.1.3. Herpetología y comportamiento de las serpientes
 - 4.1.3.1. Biología de las serpientes
 - 4.1.3.1. Tipos y especies de serpientes
 - 4.1.4. Manifestaciones clínicas y complicaciones
 - 4.1.5. Suero antiofídico
- 4.2. Factores climáticos
 - 4.2.1. Temperatura
 - 4.2.2. Precipitación
 - 4.2.3. Humedad relativa
 - 4.2.4. Cambio climático y mordeduras de serpientes
- 4.3. Modelos predictivos en salud
- 4.4. Sistemas de alerta en salud pública

5. Metodología

5.1 Localización

La presente investigación se llevará a cabo en la provincia de Zamora Chinchipe, ubicada al sur de la región Amazónica del Ecuador. Esta provincia esta provista de un clima de tipo tropical y se encuentra a una altitud de entre 815 y 2 800 msnm. Además, está constituida por 9 cantones: Zamora, Chinchipe, Nangaritza, Yacuambi, Yantzaza, El Pangui, Centinela del Cóndor, Palanda, Paquisha (Gobierno autónomo descentralizado provincial de Zamora Chinchipe, 2019). Tiene una población de 110 973 habitantes según el último Censo realizado en Ecuador en el año 2022 (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]), 2023).



Figura 9. Mapa del área de estudio, cantones de la provincia de Zamora Chinchipe. Fuente: Elaboración propia en Power BI, utilizando datos de OpenStreetMap y Esri Community Maps.

5.2. Método de estudio

Se empleará un método inductivo.

5.3. Enfoque de la investigación

La investigación adoptará un enfoque cuantitativo.

5.4. Tipo de investigación

El estudio será tipo correlacional.

5.5. Diseño de investigación

Se seguirá un diseño transversal.

5.6. Población y muestra

Trabajaremos con el 100 % de los casos de mordedura de serpientes de la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014-2023, disponibles en la gaceta epidemiológica de la Universidad Nacional de Loja, por lo cual no será necesario ejecutar técnicas de muestreo.

5.6.1. Criterios de inclusión

- Casos de mordedura de serpientes de la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014-2023, disponibles en la Gaceta epidemiológica Zona 7 de la Universidad Nacional de Loja, que cuente con información completa registrada en la base de datos.

5.6.2. Criterios de exclusión

- Casos de mordedura de serpientes de la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014-2023, disponibles en la Gaceta epidemiológica Zona 7 de la Universidad Nacional de Loja, que no cuente con información completa registrada en la base de datos.

5.7. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA	NATURALEZA
Temperatura	Cantidad de calor presente en el aire libre a consecuencia de los rayos solares que llegan a la superficie terrestre (Agencia Estatal de Meteorología [AEMet], 2023)	Datos de temperatura registrados en grados Celsius (°C), de la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014-2023, disponibles en la Gaceta epidemiológica Zona 7 de la Universidad Nacional de Loja.	Física	Promedio de temperatura semanal.	Grados Celsius (°C)	Cuantitativa continua Escala
Precipitación	Cantidad de agua que en forma líquida o sólida cae desde la atmósfera hacia la superficie terrestre (Instituto Meteorológico Nacional [IMN], 2020)	Datos de precipitación registrados en milímetros (mm/h), de la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014-2023, disponibles en la Gaceta epidemiológica Zona 7 de la Universidad Nacional de Loja.	Física	Promedio de precipitación semanal.	Milímetros (mm/h)	Cuantitativa continua Escala
Humedad relativa	Porcentaje de vapor de agua presente en un volumen de aire en razón del vapor de agua necesario para saturarlo a la misma presión y temperatura (Oldani, 2020).	Datos de humedad relativa registrados en porcentaje (%), de la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014-2023, disponibles en la Gaceta epidemiológica Zona 7 de la Universidad Nacional de Loja.	Física	Promedio de humedad relativa semanal.	Porcentaje (%)	Cuantitativa continua Escala
Mordeduras de serpiente	Accidente producido por mordedura de serpientes y que puede conllevar la inoculación de veneno, provocando signos y síntomas de gravedad variable debido a cambios fisiopatológicos inducidos por la sustancia tóxica (Chavez García et al., 2019).	Número total de casos de mordedura de serpientes de la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014-2023, disponibles en la Gaceta epidemiológica Zona 7 de la Universidad Nacional de Loja.	Epidemiológica	Total de casos reportados.	Conteo de casos reportados	Cuantitativa discreta Escala

Fuente: Elaboración Propia.

5.8. Procedimiento

La presente investigación se desarrollará estructurando un proyecto de investigación mediante una revisión bibliográfica exhaustiva para posteriormente solicitar la aprobación del tema y obtener la pertinencia de la investigación. Luego se solicitará la asignación de un director de tesis y la autorización para acceder a las bases de datos necesarias.

De las bases de datos disponibles en la Gaceta epidemiológica Zona 7 de la Universidad Nacional de Loja, se obtendrá los registros de temperatura, precipitación y humedad, así como, los registros de los casos de mordeduras de serpiente reportados de la provincia de Zamora Chinchipe durante el período 2014-2023. Se verificará la integridad y completitud de los datos proporcionados, posteriormente se realizará el tratamiento de datos mediante la verificación de la calidad de datos y la corrección de errores, con lo cual se procederá a codificar y consolidar una única base de datos en el programa Excel.

A continuación, la base de datos tratada se migrara a la versión 27 del Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (IBM® SPSS), en la que se realizará el análisis de datos: para el primer objetivo se utilizará un análisis correlacional y de tendencias para determinar la proporción de prevalencia temporal de los casos de mordeduras de serpiente en relación con factores climáticos; para el segundo objetivo se utilizará análisis inferencial, mediante el cual se elaborará un modelo predictivo de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos. Para el tercer objetivo, el modelo desarrollado será exportado en un formato estándar e integrado a una plataforma en línea. Luego, se creará un punto de acceso que permitirá ingresar nuevos datos, que serán procesados y se enviarán al modelo para que los analice y genere una predicción, identificando áreas y períodos de alta vulnerabilidad a mordeduras de serpiente, emitiendo una notificación de alerta.

Los datos obtenidos serán presentados en gráficos de tendencia para mostrar la evolución temporal de los casos de mordeduras de serpientes en relación con los factores climáticos. Se utilizarán gráficos de dispersión para mostrar el ajuste general del modelo de predicción de mordeduras de serpiente basado en factores climáticos. Y, por último, se utilizarán diagramas para ilustrar el diseño y funcionamiento del sistema de alerta temprana.

Finalmente, se procederá a la interpretación de resultados y a la elaboración de conclusiones para la redacción de informe final del estudio.

5.9. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

5.9.1. Técnicas

Cómo técnica se empleará la observación, ya que se realizará el análisis de los registros históricos de datos climáticos y de casos de mordeduras de serpiente reportados en una base de datos.

5.9.2. Instrumentos

Bases de datos consolidada a partir de los datos disponibles en la Gaceta epidemiológica Zona 7 de la Universidad Nacional de Loja.

5.9.3. Insumos y materiales

Como material de oficina se prevé utilizar hojas de papel bond tamaño A4, libreta de apuntes, CD en blanco, anillados y esferos. Además, se requiere de una computadora con acceso a internet y la instalación de software ofimático y estadístico para el análisis y presentación de resultados; y de un celular con plan telefónico para coordinación de actividades en la realización del proyecto de investigación.

6. Cronograma

Tabla 2. Cronograma

Actividades	2024																					
	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre	
Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Revisión Bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Elaboración del proyecto			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■										
Aprobación del proyecto													■	■								
Aprobación por el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos (CEISH) de la UNL														■	■	■						
Recolección de datos																		■	■			
Tabulación de datos																			■	■		
Análisis de datos																			■	■	■	
Redacción del primer informe																					■	
Revisión y corrección del informe final																					■	
Presentación del informe final																						■

Fuente: Elaboración Propia.

7. Presupuesto y financiamiento

Tabla 3. Presupuesto y financiamiento

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	
			COSTO UNITARIO	TOTAL USD
Movilización	Pasaje de bus	40	0,3	12
	Taxi	10	1,4	14
Insumos y materiales				
Impresiones a blanco/negro	Hoja papel bond A4	200	0,02	4
Impresiones a color	Hoja papel bond A4	100	0,2	20
Libreta	Unidad	1	2	2
CD en blanco	Unidad	2	1	2
Anillados	Unidad	4	1	4
Esferos	Unidad	3	0,30	1
Equipos				
Laptop	Equipo	1	550	550
Internet	Servicio	5	20	100
Programas Ofimáticos (Microsoft Office y Excel)	Paquete temporal	1	100	100
Programa estadístico SPSS	Paquete temporal	1	100	100
Celular	Equipo	1	350	350
Plan telefónico	Servicio	5	12	60
Subtotal				1319
Imprevistos (20 %)				263,8
Total				1582,8

Fuente: Elaboración Propia.