

Seroprevalencia de Anemia Infecciosa Equina en Sonora Mediante Inmunodifusión en Agar Gel

Seroprevalence of Equine Infectious Anemia in Sonora Using Agar Gel Immunodiffusion

Cristina Ibarra Zazueta¹✉, Reyna Osuna Chávez^{1*}✉, Milagros Santacruz Melendrez¹✉, María Rentería Martínez¹✉, Alejandro Urrea Quezada¹✉ y David Pérez Pinzón¹✉

¹ Departamento de Agricultura y Ganadería, Facultad Interdisciplinaria de Ciencias Biológicas y de Salud, Universidad de Sonora. Carretera 100 a Bahía de Kino Km 21.5, Hermosillo, Sonora, México. Tel. 6624548401

ABSTRACT

Equine Infectious Anemia (EIA) is a viral disease that affects equids and is caused by a lentivirus belonging to the Retroviridae family. The aim of this study was to determine the updated seroprevalence of EIA in equines from the western region of the state of Sonora, using the agar gel immunodiffusion (AGID) test. A total of 138 equine serum samples collected in 2022 were analyzed, coming from different localities and intended for various zootechnical purposes. A seroprevalence of 38.4 % was identified, representing a 28.4 % increase compared to the 10 % prevalence reported by Núñez (2016), who also used the AGID technique. However, Núñez did not detail the inclusion criteria, sample transport, or processing methods, which partially limits the direct comparability of the results.

Keywords: Equines; viral; sanitary control.

RESUMEN

La Anemia Infecciosa Equina (AIE) es una enfermedad de origen viral que afecta a los équidos y que es provocada por un *Lentivirus* perteneciente a la familia Retroviridae. Este estudio tuvo como objetivo determinar la seroprevalencia actualizada de AIE en equinos del oeste del estado de Sonora, empleando la técnica de inmunodifusión en agar gel (AGID). Se analizaron 138 muestras de suero equino recolectadas en 2022, provenientes de diferentes localidades y con diversos fines zootécnicos. Se identificó una seroprevalencia del 38.4 %, lo que representa un incremento del 28.4 % respecto al valor reportado por Núñez (2016), que reportó una prevalencia de 10 %, también utilizó la técnica de inmunodifusión en agar gel (AGID), aunque no detalló los criterios de inclusión, transporte ni procesamiento, lo que limita parcialmente la comparabilidad directa de resultados.

Palabras clave: Equinos; viral; control sanitario.

INTRODUCCIÓN

La Anemia Infecciosa Equina (AIE) es una enfermedad viral incurable de declaración obligatoria ante la OIE (2023) que continúa desafiando los programas de vigilancia sanitaria en diversas regiones de México. Si bien existen estudios focalizados en estados como Veracruz, Puebla y Chiapas (Villa-Mancera *et al.*, 2021; Sánchez-Contreras *et al.*, 2018), en

el estado de Sonora los datos epidemiológicos actualizados son escasos, lo cual dificulta la formulación de políticas de control regional. En función del contexto sanitario limitado, la escasa disponibilidad de datos epidemiológicos recientes en el estado de Sonora y la naturaleza endémica de la enfermedad en regiones vecinas se planteó como hipótesis que la seroprevalencia de AIE en équidos de la región occidental ha aumentado significativamente en los últimos años. Este posible incremento podría atribuirse a la combinación de una bioseguridad deficiente, la falta de diagnósticos obligatorios previos a eventos ecuestres, y la adaptación de vectores hematófagos al entorno semiárido característico de la zona. Confirmar o refutar esta hipótesis permitiría generar información crítica para fortalecer las estrategias regionales de vigilancia y contención epidemiológica.

La región occidental de Sonora presenta condiciones propicias para la proliferación de vectores como *Tabanus spp.* debido a la presencia estacional de cuerpos de agua superficiales y microhábitats húmedos en zonas agrícolas de riego (INEGI, 2022; CONAGUA, 2023). Adicionalmente, se ha reportado un incremento en la movilidad de équidos sin certificación sanitaria en eventos ecuestres no regulados (SENASICA, 2023), lo que incrementa el riesgo de diseminación del virus en zonas endémicas.

Los cuadros clínicos de la AIE son heterogéneos, oscilando entre formas agudas, caracterizadas por fiebre recurrente, pérdida de peso y letargo, y presentaciones crónicas o inaparentes, en las que los animales pueden actuar como reservorios sin manifestar signos clínicos evidentes. Esta variabilidad en la signología dificulta el diagnóstico clínico y refuerza la necesidad de pruebas serológicas sistemáticas en poblaciones equinas de riesgo (González, 2011; Mealey, 2014).

La transmisión ocurre principalmente a través de insectos hematófagos como *Tabanus spp.* y *Stomoxys calcitrans*, así como mediante instrumentos contaminados, transfusiones de sangre o transmisión vertical (CFS, 2023). La prueba de inmunodifusión en agar gel (AGID), comúnmente conocida como prueba de Coggins, continúa siendo el método de referencia recomendado por la OIE debido a su especificidad y sensibilidad diagnóstica, como ha sido validado tanto en el estudio fundacional (Coggins, 1972), su validez ha sido

*Autor para correspondencia: Reyna Fabiola Osuna Chávez
Correo-e: reyna.osuna@unison.mx

Recibido: 3 de abril de 2025

Aceptado: 8 de mayo de 2025

Publicado: 30 de mayo de 2025

reafirmada por estudios contemporáneos que comparan su especificidad con métodos moleculares como ELISA y PCR, destacando su utilidad como herramienta de tamizaje en campo (Mealey, 2014; Morales *et al.*, 2015).

En México, se ha reportado la presencia de la AIE en diversas regiones con tasas de prevalencia variables, determinadas por factores como la densidad poblacional equina, las condiciones climáticas y las estrategias de manejo sanitario implementadas. En particular, el estado de Sonora ha registrado brotes previos de la enfermedad, lo que subraya la urgencia de fortalecer la vigilancia epidemiológica como medida clave para mitigar su transmisión del virus entre équidos (Murillo, 2012). La detección temprana de individuos seropositivos resulta esencial en la contención de la enfermedad, dado que los equinos infectados permanecen como portadores de por vida y pueden actuar como reservorios asintomáticos, facilitando la diseminación del agente infeccioso.

El impacto epidemiológico de la AIE se ve influenciado por factores como la movilidad de los équidos entre regiones, la interacción en eventos ecuestres y la concentración de animales en explotaciones comerciales y de trabajo. Estas condiciones incrementan la probabilidad de transmisión del virus, particularmente en áreas con presencia activa de vectores (Vallejo-Romero *et al.*, 2021). En este contexto, el fortalecimiento de las estrategias de prevención, incluyendo medidas de bioseguridad, el control de artrópodos vectores y la restricción del movimiento de animales seropositivos, es crucial para mitigar su propagación (OIE, 2019).

Dada la relevancia económica y productiva de los équidos en sectores como la ganadería, el transporte y la recreación, es fundamental implementar programas de monitoreo y control que permitan identificar y gestionar oportunamente los casos positivos. En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo Determinar la seroprevalencia actual de Anemia Infecciosa Equina en équidos del oeste del estado de Sonora mediante inmunodifusión en agar gel (AGID). Los objetivos específicos del presente estudio fueron: a) Estimar la seroprevalencia de Anemia Infecciosa Equina en équidos del oeste de Sonora mediante la técnica de inmunodifusión en agar gel (AGID); b) Determinar la posible asociación entre seropositividad y variables epidemiológicas como sexo, edad y uso zootécnico; y c) Comparar los resultados obtenidos con datos históricos del estado y con estudios recientes en otras entidades federativas, con el propósito de identificar patrones regionales de transmisión que orienten medidas de control.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y diseño

Se realizó un estudio transversal y descriptivo en la región oeste del estado de Sonora, México, con el objetivo de determinar la seroprevalencia de Anemia Infecciosa Equina (AIE). La región occidental de Sonora, conformada por cinco municipios con antecedentes de brotes y alta densidad equina, fue seleccionada (Figura 1) con base en su densidad equina

y antecedentes documentados de brotes previos (Murillo, 2012).

Tamaño de muestra y selección

El tamaño muestral se estimó con base en la fórmula para poblaciones finitas de Canon y Roe (1982):

$$n = (Z^2 \times P \times (1 - P)) / d^2 \div (1 + [(Z^2 \times P \times (1 - P)) / (d^2 \times N)])$$

Donde n es el número requerido de muestras, Z es el valor z para un nivel de confianza del 95% (1.96), P la prevalencia esperada (0.30), d la precisión aceptada (0.05), y N el tamaño poblacional total estimado para la zona. Aplicando esta fórmula con una población aproximada de 1,050 équidos en la región oeste de Sonora, se determinó un tamaño mínimo de muestra de 130, superado intencionalmente a 138 para robustecer los resultados.

Los criterios de inclusión contemplaron únicamente équidos clínicamente sanos al momento del muestreo, sin importar edad, raza o sexo. Se consideraron tres categorías zootécnicas: equinos de trabajo, de monta y de exposición. Las muestras se recolectaron en cinco municipios del oeste de Sonora seleccionados con base en su densidad equina y antecedentes de movilidad interregional: Caborca ($n=35$), Altar ($n=28$), Pitiquito ($n=25$), Benjamín Hill ($n=25$) y Magdalena de Kino ($n=25$). Esta distribución buscó garantizar representatividad geográfica y epidemiológica dentro de la zona objetivo. El muestreo se llevó a cabo entre los meses de marzo y mayo de 2022, periodo que coincide con un aumento estacional en la actividad de vectores hematófagos.

Las cinco localidades fueron seleccionadas mediante muestreo dirigido, considerando su alta densidad equina (INEGI, 2020), antecedentes de brotes registrados por SENASICA (2017) y accesibilidad logística. En cada localidad se aplicó un muestreo aleatorio proporcional al tamaño del

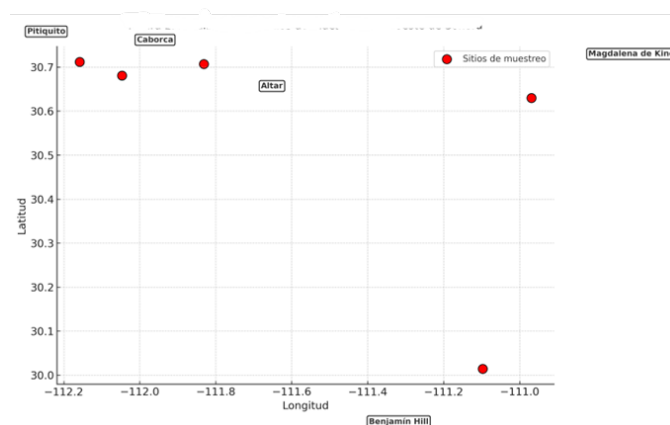


Figura 1. Ubicación geográfica de los cinco municipios muestreados en el año 2022 para la detección de Anemia Infecciosa Equina en el oeste del estado de Sonora. Elaboración propia con base en datos de INEGI (2020) y QGIS 3.32 (2023).

Figure 1. Geographic location of the five municipalities sampled in 2022 for the detection of Equine Infectious Anemia in western Sonora. Prepared by the authors based on data from INEGI (2020) and QGIS 3.32 (2023).

padrón equino local, recolectándose entre 25 y 35 muestras por sitio, con el fin de capturar heterogeneidad regional en prácticas zootécnicas y condiciones sanitarias.

Criterios de exclusión

Se excluyeron del muestreo los animales que presentaran signos clínicos de enfermedad sistémica activa, heridas abiertas, evidencia de parasitismo severo, o aquellos con historial de vacunación o diagnóstico previo positivo para AIE. Asimismo, no se incluyeron équidos provenientes de establos donde se restringió el acceso por cuestiones sanitarias o logísticas.

Recolección de muestras

Las muestras sanguíneas se obtuvieron por punción yugular utilizando tubos vacutainer estériles sin anticoagulante, siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 (SAGARPA, 2017). La recolección se efectuó entre marzo y mayo de 2022, durante la transición climática hacia el verano seco, con temperaturas promedio de 28 - 34 °C, humedad relativa del 25 - 30 % y altitudes que oscilaron entre los 200 y 500 msnm. El transporte se realizó bajo cadena de frío validada a 4 ± 2 °C, con monitoreo continuo de temperatura mediante registradores digitales. Se descartaron las muestras con evidencia de hemólisis visible. El tiempo máximo entre la obtención y el procesamiento en laboratorio no excedió las 24 h. Tras la recolección, las muestras fueron centrifugadas a

3,000 rpm (equivalente a $2,200 \times g$) durante 10 minutos, en una centrífuga de mesa refrigerada Allegra® X-15R (Beckman Coulter), equipada con rotor oscilante modelo SX4750 (cat. 369702), garantizando una adecuada separación del suero bajo condiciones controladas de bioseguridad, dentro de un intervalo máximo de 2 horas post extracción, y el suero fue transferido a viales de polipropileno estériles. En el laboratorio, el suero centrifugado, fue identificado con códigos únicos y almacenado temporalmente en refrigeración hasta su análisis. Todas las pruebas serológicas se realizaron en el mismo laboratorio por un único operador entrenado, siguiendo el protocolo estandarizado de la prueba de inmunodifusión en agar gel (AGID). Esta estandarización minimizó el riesgo de degradación de las muestras o de falsos negativos por inactivación del virus.

Análisis serológico

Se aplicó la prueba de inmunodifusión en agar gel (IDGA) o *prueba de Coggins*, utilizando un kit validado por la Organización Mundial de Sanidad Animal (WOAH). Cada muestra fue analizada en triplicado para garantizar precisión (Coggins, 1972; Mealey, 2014). Las muestras fueron procesadas por triplicado utilizando el kit comercial AGID de IDEXX, lo que permitió una mayor fiabilidad en la detección de anticuerpos contra el virus de la AIE.

Tabla 1. Distribución de muestras por localidad, coordenadas y condiciones ambientales. Datos recopilados entre marzo y mayo de 2022 en el oeste de Sonora.

Table 1. Distribution of samples by locality, coordinates, and environmental conditions. Data collected between March and May 2022 in western Sonora.

Localidad	Número de muestras	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)	Temperatura promedio (°C)	Humedad relativa (%)
Caborca	35	30.712°N, 112.158°O	280	24.6	42
Altar	28	30.707°N, 111.831°O	330	26.4	39
Pitiquito	25	30.681°N, 112.047°O	230	27.3	41
Benjamín Hill	25	30.014°N, 111.097°O	560	23.9	37
Magdalena de Kino	25	30.630°N, 110.969°O	610	22.7	45

Tabla 2. Distribución de équidos muestreados por localidad en el oeste de Sonora. Porcentaje relativo al total de animales muestreados ($n = 138$).

Table 2. Distribution of equids sampled by locality in western Sonora. Percentage relative to total sampled animals ($n = 138$)

Localidad	Numero de equidos	% del total
Caborca	35	25.40%
Altar	28	20.30%
Pitiquito	25	18.10%
Benjamin Hill	25	18.10%
Magdalena de Kino	25	18.10%
Total	138	100%

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con Statistix 10.0, obteniendo la seroprevalencia con su intervalo de confianza al 95%. Se utilizó la prueba de chi-cuadrado para evaluar asociaciones entre seropositividad y variables como edad, sexo y uso zootécnico (Vallejo-Romero *et al.*, 2021).

Consideraciones éticas

El estudio se realizó bajo protocolos de bienestar animal y bioseguridad, cumpliendo la NOM-062-ZOO-1999. Se obtuvo consentimiento informado de los propietarios y se garantizó la confidencialidad de los datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian una seroprevalencia del 38.4 %, lo que representa una cifra superior a la reportada en estudios anteriores en la región (Núñez, 2016), reportando una prevalencia de 10 %, donde también utilizó la técnica de inmunodifusión en agar gel (AGID), pero no detalló los criterios de inclusión, transporte ni procesamiento, limitando parcialmente la comparabilidad directa de resultados (Figura 2). Este valor representa una seroprevalencia superior a la reportada en Veracruz (23.67 %) y Puebla (13.12 %), lo que sugiere una mayor circulación viral en el oeste de Sonora durante el periodo evaluado (Sánchez-Contreras *et al.*, 2018), aunque se debe considerar la diferencia en metodologías y años de muestreo (Vallejo-Romero *et al.*, 2021).

La contención epidemiológica

En México, aunque la AIE está incluida como enfermedad de notificación obligatoria en el Acuerdo publicado en el DOF (2018), su implementación efectiva en el estado de Sonora es limitada. No se cuenta con un sistema regular de vigilancia activa ni con protocolos homogéneos previos a eventos ecuestres o comercio de équidos. Esta situación refleja una brecha entre la normativa nacional y su aplicación local. En este estudio se analizó la seropositividad frente a variables como sexo, edad y uso zootécnico. Aunque no se hallaron

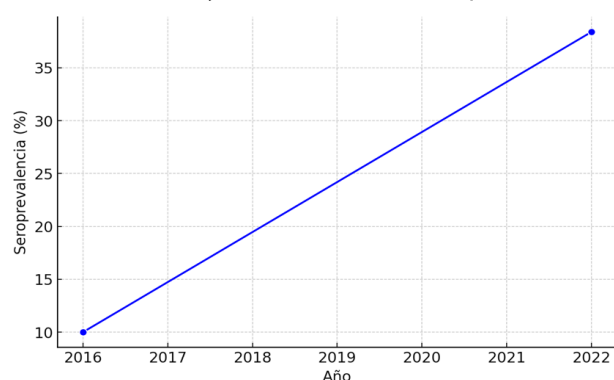


Figura 2. Comparación puntual de la seroprevalencia de Anemia Infecciosa Equina (AIE) en el estado de Sonora en los años 2016 y 2022. Fuente: Núñez, 2016 y datos obtenidos en el presente estudio.

Figure 2. Point comparison of the seroprevalence of Equine Infectious Anemia (EIA) in Sonora in 2016 and 2022. Source: Núñez, 2016 and data from the present study.

asociaciones estadísticamente significativas, se observaron tendencias que merecen ser exploradas en estudios futuros.

Se identificaron patrones epidemiológicos preliminares, tales como una mayor proporción de animales positivos en ciertas categorías de uso, lo cual podría reflejar diferencias en las prácticas de manejo y movilidad. Sin embargo, dado que los análisis no mostraron significancia estadística ($p > 0.05$), estos hallazgos deben considerarse como hipótesis a explorar, más que como conclusiones.

En Río Grande do Sul, la prevalencia estimada fue del 0.3 % (Fonseca *et al.*, 2020), mientras que en Petrópolis, Brasil, donde se analizaron équidos incautados sin propietario, se reportó una tasa del 11.8 % (Cursino *et al.*, 2018). Estas cifras ilustran la variabilidad regional y la influencia de factores sociodemográficos y sanitarios en la dinámica de transmisión del virus.

Seroprevalencia e Intervalo de Confianza

El cálculo del intervalo de confianza al 95 % (IC 95 %) indicó que la prevalencia real en la población equina evaluada se encuentra entre 26.15 % y 41.96 %. Estos valores reflejan un incremento significativo en la circulación viral, lo que sitúa a Sonora como una de las regiones con mayor seroprevalencia reportada en México.

Este hallazgo evidencia una falla en la contención epidemiológica, de acuerdo con el Acuerdo publicado por el (DOF, 2018), la AIE se incluye dentro del listado de enfermedades de notificación obligatoria para México. Este lineamiento, coordinado por SENASICA, establece la aplicación obligatoria de la prueba de Coggins antes de cualquier movilización interestatal de équidos, así como la cuarentena y eliminación humanitaria de animales positivos conforme al Manual de Procedimientos de Sanidad Animal (SENASICA, 2023), forman parte de la estrategia nacional de sanidad equina. Los resultados del presente estudio se alinean con estos lineamientos y refuerzan la necesidad de aplicar estas medidas en zonas con alta seroprevalencia como Sonora (Tabla 3).

Asociación entre Seropositividad y Variables Epidemiológicas

Para evaluar posibles asociaciones entre la seropositividad a AIE y variables como sexo, edad y uso zootécnico, se aplicó una prueba de chi-cuadrado (χ^2) (Tabla 4).

Tabla 3. Seroprevalencia e intervalo de confianza al 95 % en équidos muestreados en Sonora. Estimaciones calculadas mediante la prueba de inmunodifusión en agar gel (AGID).

Table 3. Seroprevalence and 95% confidence interval in equids sampled in Sonora. Estimates calculated using the agar gel immunodiffusion test (AGID).

Parámetro	Valor (%)
Seroprevalencia	38.4
IC 95 % Inferior	26.15
IC 95 % Superior	41.96
Tamaño de muestra	138

Tabla 4. Asociación entre seropositividad y variables epidemiológicas mediante prueba de chi-cuadrado (χ^2). Ninguna variable presentó diferencias significativas ($p > 0.05$); los resultados se interpretan como tendencias.

Table 4. Association between seropositivity and epidemiological variables using the chi-square (χ^2) test. No variable showed statistically significant differences ($p > 0.05$); results interpreted as trends.

Variable	χ^2	p-valor	Grados de libertad
Sexo	2.34	0.126	1
Edad	3.21	0.073	2
Uso zootécnico	5.89	0.051	2

Se observaron ciertas tendencias epidemiológicas no significativas que podrían sugerir una mayor exposición en algunos grupos, como los équidos utilizados en actividades de trabajo o competencia. Sin embargo, estas observaciones deben interpretarse con cautela, dado que no alcanzaron significancia estadística ($p > 0.05$), por lo que se plantean como hipótesis a validar en estudios con mayor poder estadístico. La proporción de animales positivos en Sonora también supera lo reportado en diversas regiones de América Latina. En Minas Gerais (Brasil), por ejemplo, se encontró una prevalencia de apenas 0.07% en animales y 0.44 % en Haras, gracias al control riguroso de pruebas serológicas y eliminación de positivos (Patiño-Quiroz *et al.*, 2016; Almeida *et al.*, 2017).

Las prácticas de bioseguridad y frecuencia de pruebas diagnósticas influyen directamente en la prevalencia. Además, el control vectorial y la regulación de la movilidad animal son determinantes clave (Vallejo-Romero *et al.*, 2021).

Distribución de la Seropositividad según la Edad y el Sexo

De los 138 équidos muestreados, 73 eran hembras y 65 machos. Se observó una mayor proporción de positivos entre las hembras (42.5 %) en comparación con los machos (33.8 %), sin que dicha diferencia alcanzara significancia estadística ($p > 0.05$). En cuanto a la edad, los animales se clasificaron en tres grupos etarios: menores de 4 años ($n = 35$), entre 4 y 10 años ($n = 61$), y mayores de 10 años ($n = 42$). La seroprevalencia fue más alta en el grupo de 4-10 años (42.6 %), seguido por los mayores de 10 años (35.7 %) y el grupo menor a 4 años (31.4 %), sin diferencias significativas.

La discusión específica de estos resultados se presenta en el siguiente apartado, integrando comparaciones con estudios en otras regiones y posibles explicaciones basadas en prácticas zootécnicas y exposición acumulativa.

Diversos estudios han reportado que la edad puede estar asociada con un mayor riesgo de exposición a AIE debido a la exposición acumulativa a vectores y eventos de manejo a lo largo del tiempo (Mealey, 2014). No obstante, nuestros hallazgos no mostraron una tendencia estadísticamente significativa, lo que puede atribuirse a la distribución relativamente homogénea de condiciones de riesgo en la población evaluada.

En cuanto al sexo, algunos autores han reportado diferencias asociadas al tipo de uso zootécnico más frecuente en machos o hembras, aunque otros estudios no han encontrado relación clara entre el sexo y la seropositividad (Vallejo-Romero *et al.*, 2021).

Los hallazgos del presente estudio deben interpretarse con precaución debido a ciertas limitaciones metodológicas. En primer lugar, aunque se incluyó una muestra representativa en cinco localidades del oeste de Sonora, no se logró una cobertura total del estado. Asimismo, el diseño transversal impide establecer relaciones causales entre los factores epidemiológicos evaluados y la seropositividad a AIE.

Otro aspecto relevante es la falta de información específica sobre prácticas de bioseguridad en las unidades de producción muestreadas, lo cual limita la posibilidad de correlacionar directamente la seropositividad con el cumplimiento de medidas preventivas. Además, factores como la presencia de cuerpos de agua, movilidad interregional de équidos, y el uso compartido de instrumental no fueron cuantificados directamente en esta investigación, aunque son mencionados en literatura previa como relevantes para la propagación del virus (SENASICA, 2023; Mealey, 2014).

Pese a estas limitaciones, el estudio aporta evidencia reciente sobre la circulación de AIE en una región con escasa información epidemiológica, y establece una base sólida para futuras investigaciones que integren variables ambientales, socioeconómicas y de comportamiento humano.

Adicionalmente, estudios recientes advierten que la reutilización de instrumental veterinario sin una adecuada desinfección representa un riesgo documentado para la transmisión iatrogénica del virus. Biopelículas microbianas resistentes pueden formarse en instrumental reutilizado, impidiendo su esterilización completa, sobre todo en ambientes rurales con acceso limitado a sistemas de esterilización certificados (CFS, 2023).

Tabla 5. Distribución de équidos muestreados según sexo, grupo etario y uso zootécnico en el oeste de Sonora ($n = 138$). Datos obtenidos mediante encuesta epidemiológica estructurada aplicada en campo.

Table 5. Distribution of equids sampled by sex, age group, and zootechnical use in western Sonora ($n = 138$). Data obtained through structured field epidemiological survey.

Variable	Categoría	Número de animales (n)	Porcentaje (%)
Sexo	Macho	74	53.6
	Hembra	64	46.4
Edad (años)	< 5	41	29.7
	5 – 10	63	45.7
	> 10	34	24.6
	Trabajo	56	40.6
Uso zootécnico	Monta recreativa	44	31.9
	Competencia/exposición	38	27.5

Respecto al ambiente, si bien Sonora presenta un clima árido, existen cuerpos de agua que permiten la supervivencia de insectos vectores. Investigaciones sobre enfermedades transmitidas por *Tabanus spp.* y *Stomoxys calcitrans* en climas secos han reportado focos estacionales ligados a la disponibilidad de materia orgánica y microhábitats húmedos. Para fortalecer la argumentación geoespacial, se integró un mapa complementario que señala la ubicación de los cuerpos de agua relevantes en relación con las zonas de muestreo, lo que apoya la hipótesis sobre la persistencia de vectores en microhábitats húmedos (Figura 3).

Estas medidas, ya aplicadas con éxito en países como Estados Unidos y Canadá, han contribuido a reducir de forma significativa la circulación del virus en zonas previamente afectadas. Además de la transmisión mecánica mediada por vectores, la propagación del AIE también puede estar vinculada a la movilización de équidos infectados sin diagnóstico previo. En este sentido, los animales que no presentan signos clínicos evidentes pueden actuar como reservorios del virus, manteniendo su circulación dentro de la población equina. Se ha documentado que individuos asintomáticos pueden albergar el virus durante largos períodos sin manifestar signos clínicos, lo que complica la identificación y aislamiento de los animales infectados (Patiño-Quiroz *et al.*, 2016).

El impacto de la AIE en la industria equina no solo se traduce en pérdidas económicas debido a la eliminación de animales seropositivos, sino también en restricciones para la participación en eventos ecuestres y limitaciones en la comercialización de équidos en mercados internacionales. La implementación de medidas de bioseguridad más estrictas es fundamental para mitigar la transmisión del virus entre équidos. Entre las estrategias de control que podrían contribuir a la reducción de la prevalencia en Sonora, se recomienda: Monitoreo epidemiológico continuo mediante pruebas serológicas periódicas en équidos de alto riesgo. Regulación en la movilización de animales, exigiendo pruebas diagnósticas obligatorias antes del transporte. Capacitación de propietarios y médicos veterinarios en medidas de bioseguridad y manejo adecuado del equipo veterinario. Control y reducción de vectores hematófagos, a través del manejo ambiental y el uso de repelentes específicos.

Estos hallazgos enfatizan la necesidad de fortalecer las estrategias de prevención en la región, promoviendo un enfoque integral que involucre a las autoridades sanitarias, investigadores y la comunidad ecuestre. La reducción de la prevalencia del AIE en Sonora dependerá en gran medida de la implementación de medidas coordinadas y basadas en evidencia científica.

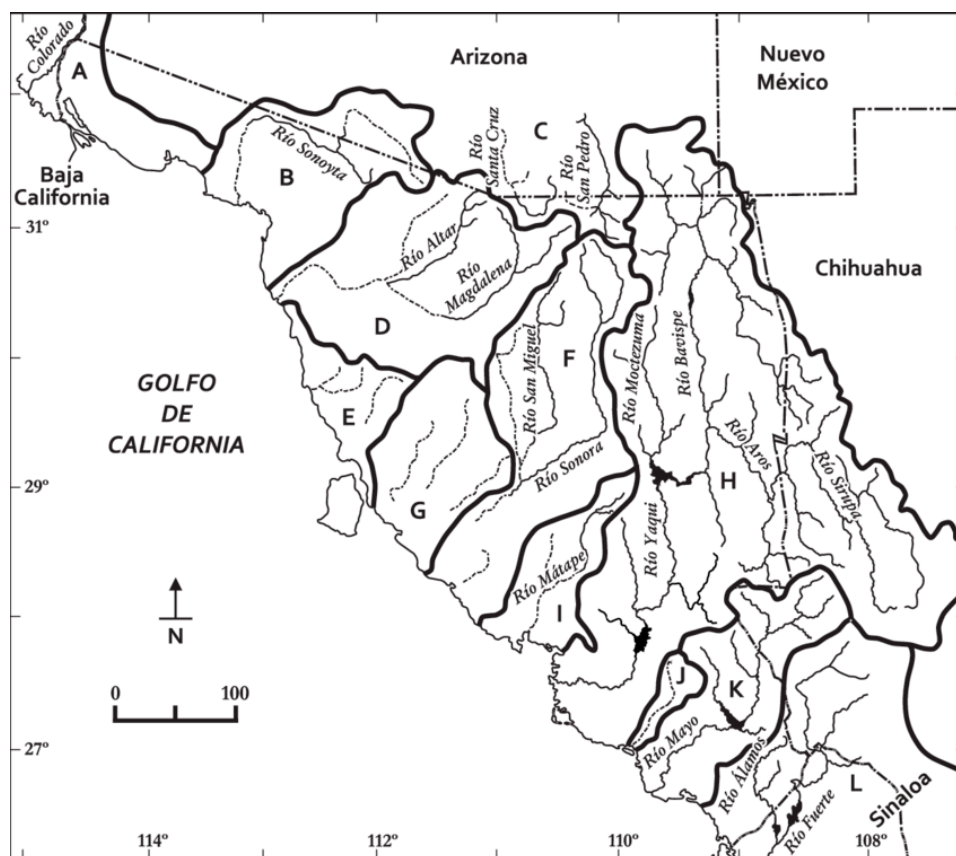


Figura 3. Mapa de cuerpos de agua en la región occidental del estado de Sonora. Se utilizó cartografía hidrológica oficial proporcionada por INEGI (2022) y CONAGUA (2023), procesados en QGIS.

Figure 3. Map of water bodies in the western region of Sonora. Prepared by the authors using hydrological data from CONAGUA (2023) e INEGI (2022), processed in QGIS.

Uso Zootécnico y Riesgo de Infección

Los équidos destinados a trabajo y competencias deportivas presentaron una mayor proporción de casos positivos, en comparación con aquellos utilizados para reproducción ($p = 0.051$). Si bien el resultado no alcanzó el umbral de significancia estadística, la mayor seropositividad observada en caballos destinados a trabajo y deporte refuerza la hipótesis de que la exposición a eventos con alta densidad equina incrementa el riesgo de infección. Este hallazgo es consistente con estudios realizados en América Latina, donde los caballos que participan en competencias ecuestres y transporte han mostrado una mayor tasa de infección debido a la falta de medidas de bioseguridad y la interacción frecuente con otros animales infectados (Patiño-Quiroz *et al.*, 2016). Estos resultados también son similares a los reportados en estudios epidemiológicos en Brasil y Colombia, donde los caballos involucrados en actividades de alto tránsito y competencia han mostrado una mayor prevalencia de AIE (Vallejo-Romero *et al.*, 2021).

Limitaciones del estudio

Este estudio presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados. El tamaño de la muestra, aunque representativo, podría no ser suficiente para extrapolar los hallazgos a nivel estatal. Asimismo, la variabilidad climática en Sonora puede influir en la actividad de los vectores, generando fluctuaciones en la prevalencia de la enfermedad. Otro factor que no fue evaluado en este estudio es la posible interacción de AIE con otras enfermedades infecciosas en équidos, lo que podría influir en la dinámica de transmisión.

Factores Epidemiológicos y Estrategias de Control

El aumento en la seroprevalencia de Anemia Infecciosa Equina (AIE) en Sonora puede estar asociado a diversos factores epidemiológicos que favorecen la transmisión del virus. El escaso cumplimiento de prácticas de bioseguridad en campo podría estar favoreciendo la circulación persistente del virus en la región occidental de Sonora. Esta condición sanitaria obliga a reforzar las estrategias de prevención mediante múltiples frentes.

En primer lugar, es fundamental implementar de manera obligatoria las pruebas serológicas antes de cualquier movilización de équidos, especialmente para eventos ecuestres o transacciones comerciales. En segundo lugar, se debe capacitar a propietarios y médicos veterinarios sobre el uso correcto del instrumental, el manejo seguro de fluidos biológicos y la desinfección del equipo reutilizable. Finalmente, fortalecer la regulación ambiental local es esencial, particularmente en torno a la eliminación de microhábitats propicios para vectores hematófagos como *Tabanus spp.*, cuyas poblaciones pueden sostenerse incluso en zonas áridas si existen cuerpos de agua o irrigación agrícola (CFS, 2023).

Otro factor clave es la presencia de vectores hematófagos, como *Tabanus spp.* y *Stomoxys calcitrans*, los cuales han sido identificados como principales transmisores mecánicos

del virus de la AIE (Patiño-Quiroz *et al.*, 2016). Estudios realizados en regiones tropicales han demostrado que la densidad poblacional de estos insectos aumenta en temporadas cálidas y húmedas, elevando el riesgo de transmisión del virus (Espasandin *et al.*, 2021). Aunque Sonora presenta un clima árido, estudios previos han demostrado que microhábitats húmedos temporales asociados a fuentes de riego agrícola y almacenamiento de agua pueden sustentar poblaciones estacionales de vectores como *Tabanus spp.* y *Stomoxys calcitrans*, incluso en ambientes semiáridos (CFS, 2023).

Diversos estudios han documentado que la reutilización de instrumental veterinario sin procesos adecuados de desinfección constituye un riesgo iatrogénico importante en la transmisión de AIE, particularmente en zonas rurales con limitaciones tecnológicas (Mealey, 2014; CFS, 2023). Pese a que la AIE está incluida en el listado de enfermedades de notificación obligatoria según el DOF (2018) y el Manual de Procedimientos de Sanidad Animal (SENASICA, 2023), en Sonora se ha documentado una limitada implementación de programas de monitoreo serológico sistemático, así como la falta de campañas estatales de diagnóstico masivo. Esto refleja una brecha entre la normativa nacional y su aplicación efectiva a nivel local. En este contexto, la combinación de factores ambientales, operativos y normativos requiere una respuesta integral por parte de las autoridades sanitarias y los actores del sector equino.

Estrategias para el Control del AIE en Sonora

La ausencia de estrategias de control efectivas en Sonora ha resultado en un alarmante aumento de la seroprevalencia, lo que indica una clara deficiencia en la detección y contención del virus. Estos resultados contrastan con contextos donde se han implementado programas exitosos de control, como en Estados Unidos y Canadá, donde la obligatoriedad del diagnóstico de Coggins previo a la movilización ha reducido significativamente la incidencia (CFS, 2023; WOA, 2023), se evidencia la necesidad urgente de establecer normativas más estrictas en México (Almeida *et al.*, 2017; Patiño-Quiroz *et al.*, 2016).

El control de vectores hematófagos es otra estrategia clave para reducir la transmisión del virus. Estudios realizados en México y Brasil han demostrado que el uso de repelentes específicos, barreras físicas y control ambiental han sido efectivos para disminuir la exposición de los équidos a insectos transmisores. En Sonora, la implementación de estas medidas podría ser crucial, especialmente en épocas del año donde las condiciones climáticas favorecen la proliferación de estos vectores.

Asimismo, la capacitación en bioseguridad para veterinarios y propietarios ha sido una herramienta efectiva en la reducción de la transmisión iatrogénica del virus en otras regiones de América Latina (CFS, 2023). La reutilización de instrumental veterinario sin adecuada desinfección ha sido señalada como un factor de transmisión iatrogénica documentada, particularmente en zonas rurales con acceso limitado a tecnología de esterilización (Mealey, 2014; CFS, 2023).

Promover el manejo adecuado del instrumental veterinario, la esterilización rigurosa de equipos y la aplicación de protocolos estrictos de control sanitario podría minimizar el riesgo de propagación del virus en ranchos y establos.

Finalmente, el monitoreo epidemiológico continuo es fundamental para evaluar la evolución de la enfermedad y tomar decisiones informadas en cuanto a su control. La implementación de pruebas serológicas periódicas en poblaciones de alto riesgo ha sido clave en programas de control en países como Canadá y Estados Unidos, donde la AIE ha sido prácticamente erradicada en algunas regiones gracias a la detección temprana y la eliminación de animales positivos (Patiño-Quiroz *et al.*, 2016; WOA, 2023; CFS, 2023).

CONCLUSIONES

Este estudio evidenció una seroprevalencia del 38.4% en équidos del oeste de Sonora refleja una posible circulación activa del virus, superior a registros históricos y nacionales. Aunque no se encontraron asociaciones estadísticamente significativas con variables epidemiológicas, se identificaron tendencias que sugieren líneas de investigación prioritarias. Las limitaciones del presente estudio, tales como el diseño transversal, la cobertura geográfica restringida y la ausencia de indicadores vectoriales directos, deben ser consideradas al interpretar los hallazgos. Se recomienda priorizar tres medidas fundamentales: a) implementación obligatoria de pruebas diagnósticas previas a eventos ecuestres o movimientos comerciales; b) fortalecimiento de estrategias de control vectorial en temporadas críticas; y c) capacitación técnica en bioseguridad para propietarios y personal veterinario. Estas acciones, adaptadas a las condiciones socioproductivas de la región, podrían contribuir significativamente a reducir la transmisión de la enfermedad y fortalecer la sanidad equina regional.

De acuerdo con los reportes oficiales de SENASICA (2023), durante el periodo 2020 - 2022 se registraron focos activos de AIE en al menos 12 estados del país, siendo Veracruz, Chiapas y Puebla los de mayor incidencia acumulada. En contraste, Sonora ha reportado casos esporádicos, lo que podría indicar una sub-notificación asociada a limitada vigilancia diagnóstica. Sin embargo, la cobertura diagnóstica efectiva aún es baja en estados del norte, como Sonora, donde los flujos comerciales y la escasa vigilancia favorecen la persistencia del virus.

Finalmente, se sugiere que futuras investigaciones contemplen el análisis espacial de factores de riesgo, incluyendo la ubicación de cuerpos de agua, rutas de movilización equina y caracterización entomológica de vectores locales, de acuerdo con lineamientos internacionales de vigilancia (WOAH, 2023).

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

REFERENCIAS

- Almeida, V.M.A., Oliveira, C.H.S., Fiorillo, K.S., Martins, M.F., Leite, R.C. y Reis, J.K.P. 2017. Prevalence of equine infectious anemia in stud farms in Minas Gerais, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(3), pp. 1335–1346. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n3p1335>
- Canon, R.M. y Roe, R.T. 1982. *Livestock Disease Surveys: A Field Manual for Veterinarians*. Australian Government Publishing Service. <https://catalogue.nla.gov.au/catalog/447109>
- Centro de Seguridad Alimentaria y Salud Pública (CFS). 2023. *Anemia infecciosa equina. Ficha técnica*. Iowa State University. https://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/es/anemia_infecciosa_equina.pdf
- Coggins, L. 1972. Diagnostic tests for equine infectious anemia. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 160(3), pp. 253–256. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4333633/>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2023. Estadísticas del Agua en México. <https://www.gob.mx/conagua>
- Cursino, C.M., Silva, A.C., Oliveira, L.M.M.L., Souza, G.N. y Oliveira, C.A. 2018. Seroprevalence of equine infectious anemia in Equidae seized in the municipality of Petrópolis, Brazil. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 38(11), pp. 2156–2160. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190073>
- Fonseca, M.G., Costa, M.F.O., Machado, G., de Oliveira, M.D. y de Oliveira, J.P.B., 2020. Seroprevalence for equine infectious anemia in Equidae seized in the municipality of Manaus, Brazil. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 40(11), pp. 881–886. <https://doi.org/10.1590/1678-5150-PVB-6641>
- González, I. 2011. Equine infectious anemia: Clinical and epidemiological perspectives. *Revista Veterinaria*, 22(3), pp. 187–194. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/view/2207>
- INEGI. 2020. Censo Agropecuario. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2020/>
- INEGI. 2022. Estadísticas Climatológicas por Entidad. <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>
- Mealey, R.H. 2014. Equine infectious anemia virus. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 30(3), pp. 561–577. <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2014.08.001>
- Morales, A., Méndez, A. y Morales, M. 2015. Anemia infecciosa equina. Una revisión. *Revista del Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel"*, 46, pp. 64–74. <http://ve.scielo.org/pdf/inhrr/v46n1-2/art08.pdf>
- Murillo, C. 2012. Epidemiología y control de la anemia infecciosa equina en México. *Revista de Salud Animal*, 34(2), pp. 85–95. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2012000200002
- Núñez, G. 2016. *Determinación de la presencia del virus de anemia infecciosa equina en caballos muestreados en el Sur de Sonora*. Tesis de licenciatura, Acervo de biblioteca de Instituto Tecnológico de Sonora. <https://sib.itson.edu.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=70828>
- Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), 2019. *Manual terrestre. Capítulo 3.5.6 Anemia infecciosa equina*. París, Francia. https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahm/3.05.06_EIA.pdf
- Organización Mundial de Sanidad Animal (WOAH), 2023. *Equine Infectious Anemia*. WOA Disease Cards. <https://www.woah.org/en/disease/equine-infectious-anaemia/>

- Patiño-Quiroz, B.E., Gómez, R.S. y Herrera, L.J. 2016. Prevalencia de anemia infecciosa equina en caballos de tracción en el municipio de Florencia (Caquetá). *Ciencia y Agricultura*, 13(2), pp. 39–45. <https://revistas.uniamazonia.edu.co/index.php/ciencia/article/view/382>
- QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System (Version 3.32). Open Source Geospatial Foundation. <https://qgis.org/en/site/>
- Sánchez-Contreras, A.A., Estrada-Coates, A.T., Alva-Trujillo, M., Muñoz-Melgarejo, S., López-Guerrero, A. y Canales-Rubio, M. 2018. Diagnóstico serológico de anemia infecciosa equina y piroplasmosis en équidos de trabajo del municipio de Veracruz, Veracruz, México. *Agrociencia*, 52(Esp), pp. 39–46. <https://www.agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1721>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2018. Norma Oficial Mexicana NOM-046-ZOO-1995, Campaña Nacional contra la Anemia Infecciosa Equina. Diario Oficial de la Federación, 29 de noviembre de 2018. Disponible en: https://dof.gob.mx/index_113.php?year=2018&month=11&day=29
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2017. *Manual de obtención y envío de muestras para el diagnóstico de la anemia infecciosa equina*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279216/MANUAL_TOMA_Y_ENV_O_DE_MUESTRAS_DE_LA_ANEMIA_INFECCIOSA_EQUINA.pdf
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2023. Manual de Procedimientos de Sanidad Animal. <https://www.gob.mx/senasica>
- Vallejo-Romero, A., Londoño, A.F. y Cuartas, M. 2021. Genetic identification, clinical and epidemiological aspects of an equine infectious anemia virus outbreak in Colombia. *VirusDisease*, 32(3), pp. 453–460. <https://doi.org/10.1007/s13337-021-00678-w>
- Villa-Mancera, A., Hernández-Martínez, D. y Rojas-Martínez, C. 2021. Prevalence of equine infectious anemia virus in horses and donkeys in two Mexican states. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 73(4), pp. 919–926. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-13142>