

## Fluctuación de los niveles de infección de *Nosema* spp. en abejas melíferas bajo condiciones tropicales de Mérida, Yucatán

Luis A. Medina-Medina <sup>a</sup>

Jorge A. Vivas-Rodríguez <sup>b</sup>

Roberto C. Barrientos-Medina <sup>c</sup>

Azucena Vargas-Valero <sup>d\*</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Apicultura, Yucatán, México.

<sup>b</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Sureste. Yucatán, México.

<sup>c</sup> Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

<sup>d</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

\*Autor de correspondencia: [vargas.azucena@inifap.gob.mx](mailto:vargas.azucena@inifap.gob.mx)

### Resumen:

La nosemosis es una enfermedad de las abejas adultas, causada por el microsporidio *Nosema* spp., que afecta el intestino medio de las abejas. Los altos niveles de infección de una colonia pueden ocasionar reducción de la población, bajo rendimiento de miel y pérdida de la colonia. Para identificar el período con mayor nivel de infección de *Nosema* spp. en las colonias de abejas africanizadas, y determinar su fluctuación, de septiembre a mayo se obtuvieron un total de 361 muestras de abejas recolectadas de 19 colonias de abejas africanizadas. Los datos del número de esporas en abejas adultas se correlacionaron con la temperatura, la humedad relativa y precipitación pluvial. El número de esporas por abeja varió durante el periodo de estudio. El número más alto se registró en septiembre con  $857,781 \pm 2.23$  esporas por abeja, seguido por el mes de octubre y noviembre con  $542,188 \pm 1.03$  y  $217,813 \pm 0.32$  esporas por

abeja, respectivamente. Se observó una correlación entre el número de esporas por abeja, la humedad relativa y precipitación pluvial, lo cual indicó que la enfermedad puede estar influenciada por las condiciones climáticas, por lo tanto, se requieren más estudios a lo largo de los años para monitorear su comportamiento.

**Palabras clave:** *Nosema* spp., *Apis mellifera*, infección, Factores climáticos.

Recibido: 12/05/2023

Aceptado: 11/09/2025

La apicultura como toda actividad primaria está amenazada por diversas enfermedades y parasitosis que afectan el desarrollo de las colonias de abejas. La nosemosis es causada por el microsporidio *Nosema* spp, el cual recientemente *Nosema* fue reclasificado como *Vairimorpha*<sup>(1)</sup>, sin embargo, esta reclasificación no fue ampliamente reconocida por otros científicos del área apícola a nivel mundial<sup>(2)</sup> por lo tanto, mientras se resuelve la controversia en el presente escrito se seguirá manteniendo como género *Nosema*. El microsporidio infecta las células epiteliales del intestino medio de las diferentes castas de abejas, alterando la digestión y absorción de nutrientes en las obreras, zánganos y reinas provocando desnutrición a las abejas por la incapacidad de asimilar los nutrientes<sup>(3)</sup>. Los daños que puede ocasionar son graves si el nivel de infección es elevado, como pueden ser la reducción de la población, bajo rendimiento de miel hasta la pérdida de la colonia. Actualmente está comprobado que la enfermedad está causando un impacto negativo en la actividad apícola a nivel mundial<sup>(4,5)</sup>

Para las abejas melíferas se ha descrito que *Nosema apis* y *Nosema ceranae* son dos especies de microsporidios que causan la nosemosis. Anteriormente, se consideró que *N. apis* era el único agente causal de la nosemosis en las abejas *Apis mellifera* occidentales, es decir abejas del continente americano<sup>(6)</sup>. Sin embargo, en el año 2006 se identificó que *N. ceranae* también podía infectar a las poblaciones de *A. mellifera* de todo el mundo y no sólo a la abeja asiática, su hospedero original<sup>(7)</sup>. *N. apis* se caracteriza por una virulencia moderada, al grado que en ciertas ocasiones las colonias de abejas pueden recuperarse por sí mismas bajo condiciones ambientales favorables<sup>(6)</sup>. En cambio, *N. ceranae* es más virulenta, se ha asociado con una baja producción de miel, debilidad y mortalidad de las abejas de las colonias, sin presentar signos visibles de la enfermedad<sup>(8)</sup>.

Estudios realizados en Europa demostraron que la prevalencia y la intensidad de infección por *Nosema* spp. en *A. mellifera* no son constantes durante todo el año, y que fluctúan entre estaciones y regiones geográficas, con altos niveles de infección en primavera y otoño<sup>(9)</sup>. Así

mismo, en Serbia<sup>(10)</sup>, en Suiza y Turquía<sup>(11)</sup> las prevalencias de *Nosema* spp. no son constantes, y que la temperatura puede influir en la incidencia de la nosemosis.

En el Norte de Asia<sup>(12)</sup> *Nosema* spp. está presente en zonas con climas subárticos o veranos cálidos, sin que existan diferencias significativas en la incidencia de la infección entre ambos climas. En América del Norte, se encontraron altos niveles de infección por *N. ceranae* en primavera y verano, siendo perjudicial para las abejas melíferas y la productividad de la colonia, siempre y cuando las infecciones superaran el millón de esporas por abeja<sup>(5)</sup>. Así mismo, en los Estados Unidos de América, se demostró que la intensidad de las infecciones por *Nosema* spp. en las colonias de abejas melíferas varía según la estación del año, encontrando niveles altos de la infección en primavera y bajos niveles en otoño<sup>(13)</sup>.

Por otro lado, estudios realizados en Costa Rica con abejas africanizadas se encontró la presencia de *N. ceranae* con una prevalencia del 70.7 % y un rango de 1 a 25 millones de esporas por abeja<sup>(14)</sup>; así también, en el mismo país se encontró que la fluctuación de la nosemosis es variable con el número mayor de esporas por abeja en el mes de julio<sup>(15)</sup>.

Para el caso de México la fluctuación a lo largo de los meses no ha sido estudiada, se han realizado estudios en cuanto a la intensidad de la infección en ciertas zonas y en diferentes climas, pero no un monitoreo constante en cuanto a la fluctuación<sup>(16)</sup>. En las condiciones tropicales de Yucatán, México, se observó que la infección causada por *N. ceranae* afecta negativamente el tiempo de inicio y duración de la actividad de pecoreo de las abejas de origen africanizado, así como la longevidad de las obreras<sup>(17)</sup>.

Debido a lo anterior, a la importancia de la nosemosis y a los escasos estudios sobre el comportamiento estacional de *Nosema* spp. en climas tropicales y con abejas melíferas africanizadas. El objetivo fue identificar el período con mayor nivel de infección de *Nosema* spp. en las colonias de abejas africanizadas, así como también, determinar su fluctuación durante nueve meses del año (septiembre-mayo).

El presente estudio se realizó en un apiario de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán, ubicado en la localidad de Xmatkuil (20° 51' 51" N, 89° 36' 45" O), a 15.5 km de la ciudad de Mérida, Yucatán. La región presenta un clima cálido sub-húmedo con lluvias en verano (Aw<sub>0</sub>), con precipitación pluvial promedio anual de 1,127 mm y al mes de 94 mm para la ciudad de Mérida, temperatura promedio anual de 26.8 °C y humedad relativa promedio anual de 78 %<sup>(18)</sup>.

Antes de iniciar los muestreos, se realizó un diagnóstico preliminar para determinar el nivel de infección en todas las colonias de abejas, las cuales todas fueron positivas. Posteriormente, las muestras de abejas se recolectaron de 19 colonias con dos cuerpos (cámara de cría y un alza) alojadas en colmenas Langstroth, con reinas africanizadas fecundadas naturalmente.

Los muestreos se realizaron por la mañana cada 14 días, de septiembre a mayo, dando un total de 361 muestras de abejas. Para determinar el nivel de infección de cada colonia se colectaron entre 100 y 150 abejas adultas de la parte superior del segundo cuerpo o alza. De cada muestra se tomaron 60 abejas para determinar la presencia de *Nosema* spp. y cuantificar la severidad de la infección (número de esporas/abeja), contando las esporas presentes en el tracto digestivo de las obreras. De acuerdo a la técnica de Cantwell, para realizar el análisis consistió en retirar el abdomen de las 60 abejas adultas que se colocaron en un mortero al que se añadieron 60 ml de agua destilada<sup>(19)</sup>. Los abdómenes se maceraron hasta obtener una mezcla homogénea que posteriormente se filtró a través de un cedazo para eliminar las impurezas. Para contar el número de esporas en la muestra de las abejas, se depositó una gota de la solución macerada en ambos retículos de una cámara de Neubauer y posteriormente se observó en un microscopio compuesto a 400 aumentos. Los resultados del análisis sirvieron para calcular el nivel de infección promedio por abeja.

Durante el periodo de muestreo se obtuvieron los datos climatológicos mensuales de humedad relativa, precipitación pluvial y temperatura ambiente, proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), del Observatorio Meteorológico de la ciudad de Mérida, Yucatán.

Los datos de las variables promedio del número de esporas por abeja, humedad relativa, precipitación pluvial y temperatura ambiente se correlacionaron a través de un análisis multivariado utilizando la correlación de Pearson y un análisis de regresión a través de un modelo lineal del paquete estadístico Statgraphics Plus 5.1<sup>®</sup> (2001).

De acuerdo con los resultados de este trabajo, se observó que el nivel de infección de la enfermedad fue variable durante los nueve meses de estudio. Se observó que septiembre fue el mes con el registro de infestación más alta, con un promedio de  $857,781 \pm 2.23$  esporas por abeja.

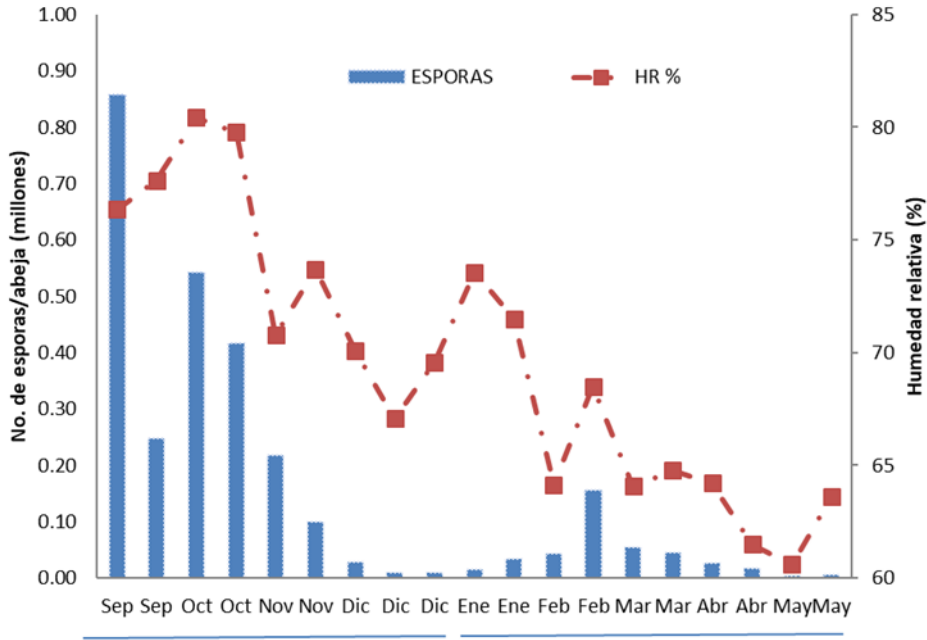
Durante el mes de octubre se registró un promedio de  $542,188 \pm 1.03$  esporas por abeja, seguido por el mes de noviembre con promedio de  $217,813 \pm 0.32$  esporas por abeja, mes donde empezó a descender el nivel de infección (Cuadro 1).

**Cuadro 1:** Número de esporas de *Nosema* spp., por abeja, temperatura ambiental, humedad relativa y precipitación pluvial durante el periodo de estudio

	<b>Esp/abeja (millones) X±D.E.</b>	<b>Esporas/abeja Min - Max</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Humedad relativa (%)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
Septiembre	0.86±2.23	50,000–9'147,500	28.9	76.4	3.2
Septiembre	0.25±0.20	19,000–722,500	28.3	77.6	11.3
Octubre	0.54±1.03	120,000–4'355,000	26.7	80.4	3.9
Octubre	0.42±0.75	57,500–3'190,000	26.7	79.8	1.2
Noviembre	0.22±0.32	3,750–1'332,500	24.0	70.8	0.0
Noviembre	0.10±0.06	47,500–272,500	23.5	73.7	0.3
Diciembre	0.03±0.05	5,000–192,500	22.3	70.1	0.0
Diciembre	0.01±0.00	5,000–17,500	24.1	67.1	0.4
Diciembre	0.01±0.01	2,500–47,500	25.3	69.6	0.0
Enero	0.02±0.03	0–127,500	25.0	73.6	0.4
Enero	0.03±0.09	0–395,000	21.5	71.5	0.8
Febrero	0.04±0.07	0–192,500	23.0	64.1	0.0
Febrero	0.16±0.58	0–2,550,000	25.1	68.5	0.0
Marzo	0.06±0.10	0–335,000	24.1	64.1	0.1
Marzo	0.04±0.06	0–252,500	26.3	64.8	0.3
Abril	0.03±0.05	0–200,000	27.8	64.2	0.0
Abril	0.02±0.03	0–110,000	28.5	61.5	0.0
Mayo	0.00±0.01	0–25,000	29.8	60.6	0.0
Mayo	0.01±0.01	0–22,500	29.6	63.6	0.0

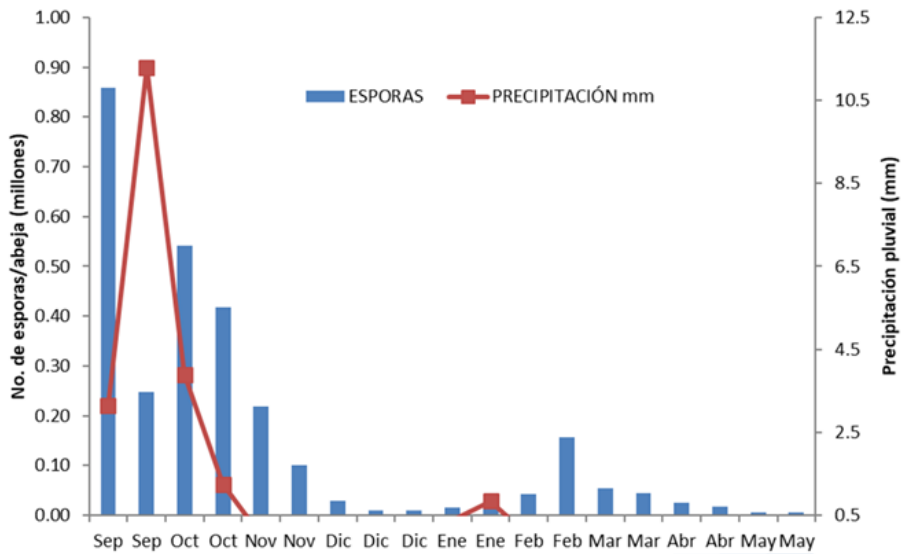
La fluctuación de los niveles de infección de *Nosema* spp, en las colonias de abejas africanizadas presentó correlación positiva con la humedad relativa. A medida que se incrementó la humedad relativa se presentó un aumento en el promedio de esporas por abeja (Figura 1).

**Figura 1:** Número de esporas de *Nosema* spp. por abeja en colonias de abejas africanizadas y el porcentaje de humedad relativa



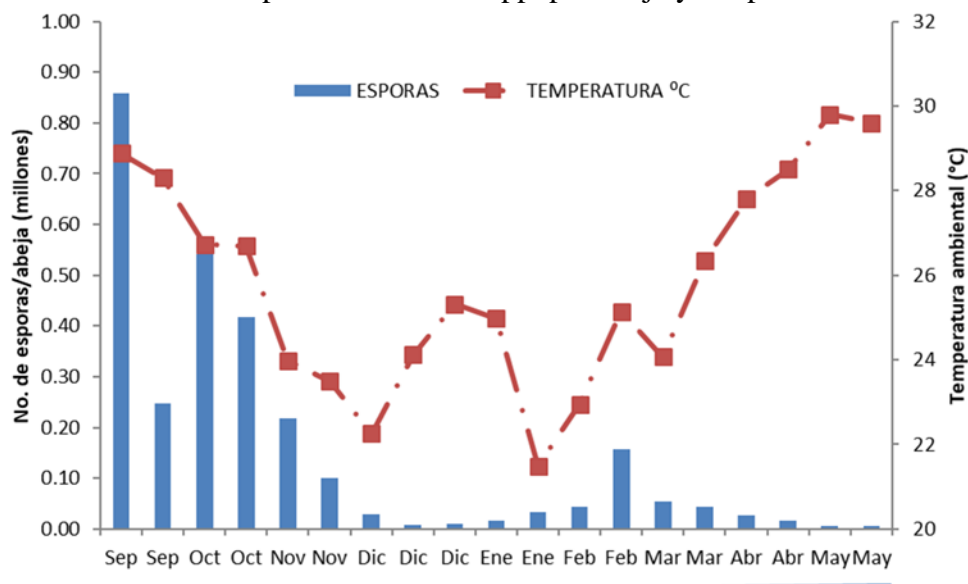
De igual manera se puede observar una influencia de la precipitación pluvial en el incremento del promedio de esporas por abeja, ya que a medida que se incrementó la precipitación pluvial se elevó el número de esporas, contribuyendo la diseminación y multiplicación de éstas (Figura 2).

**Figura 2:** Número de esporas de *Nosema* spp. por abeja y precipitación pluvial (mm)



En correspondencia con la temperatura ambiental registrada durante el periodo de estudio, no se observó correlación con los niveles de infestación de *Nosema* spp. en las colonias de abejas africanizadas bajo las condiciones ambientales del sitio en el que se condujo el trabajo (Figura 3).

**Figura 3:** Número de esporas de *Nosema* spp. por abeja y temperatura ambiental (°C)



El análisis de correlación de Pearson para determinar la relación entre el número de esporas de *Nosema* spp por abeja y las variables humedad relativa, precipitación pluvial y temperatura ambiental, resultó positiva con la humedad relativa y la precipitación pluvial (Cuadro 2).

**Cuadro 2:** Correlación del número de esporas de *Nosema* spp. con la humedad relativa, precipitación pluvial y temperatura ambiental

	<b>Humedad relativa</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Temperatura</b>
Número de esporas	0.698	0.450	0.295
Nivel de significancia	0.0009	0.05	0.22
r <sup>2</sup> (%)	48.6	20.2	8.67
n	19	19	19

r<sup>2</sup> = variabilidad de las esporas; n = número de muestras.

En cuanto al análisis de regresión, el coeficiente de correlación del número de esporas y humedad relativa presentó una relación moderadamente fuerte, existiendo una relación estadísticamente significativa ( $P > 0.0009$ ); para el caso de la precipitación indicó una relación

relativamente débil existiendo relación estadísticamente significativa ( $P>0.05$ ); y para la temperatura reveló una relación relativamente débil, sin que exista una relación estadísticamente significativa ( $P>0.22$ ).

El resultado obtenido en el presente estudio reflejó que el nivel de infección de *Nosema* spp. es muy variable durante la mayor parte del año; estos resultados coinciden con diversos estudios<sup>(11,20,21)</sup> donde la fluctuación de la nosemosis varía a lo largo del año, lo cual refleja una variación a lo largo de los meses aún con diferentes condiciones climáticas y subespecies de abejas.

Bajo las condiciones propias de la región, en específico el área y los meses donde se llevó a cabo el estudio, la mayor infección se presentó durante el periodo de mayor precipitación pluvial y elevada humedad relativa, todo esto independientemente de la cantidad de precipitación registrada en los meses evaluados y el historial registrado. Esto indica que durante los periodos de lluvia que correspondieron a los meses de septiembre-octubre se podría facilitar la diseminación y multiplicación de las esporas entre las abejas de las colonias, además de que se pueden incrementar los brotes de la enfermedad en las colonias, debido a la escasez del flujo de néctar y polen durante estos periodos, por tanto, se requiere continuar el monitoreo durante todo el año para observar su comportamiento en los meses no estudiados y abarcar un mayor número de muestras para descartar diferencias en los niveles de infección debido a errores en la técnica de diagnóstico, muestreo y a los factores bióticos y abióticos.

De manera similar, McAfee et al<sup>(22)</sup> encontraron altos niveles de infección en los meses de mayor precipitación pluvial, atribuyendo el incremento al limitado pecoreo de las abejas, de modo que la enfermedad puede permanecer latente durante todo el año y manifestarse en brotes repentinos y rápido contagio entre las abejas, después de periodos prolongados de hacinamiento, como consecuencia de ciclos de lluvias persistentes, frío y vientos intensos<sup>(23)</sup>. Otro estudio realizado en Costa Rica<sup>(15)</sup> con abejas africanizadas encontraron que la mayor cantidad de esporas por abeja se presenta en el mes de julio y, para los meses de octubre y noviembre también hubo presencia de esporas en menor cantidad, sin embargo, este estudio sólo comprendió cinco meses (julio-noviembre). Caso contrario a la presente investigación que se realizó durante nueve meses, encontrando mayor presencia de esporas entre los meses de septiembre a octubre y a partir de noviembre tienden a bajar. Este patrón de la disminución de esporas posiblemente se debe a las condiciones del clima tropical, dado que el invierno en la región no presenta temperaturas muy bajas. Por lo tanto, no existen condiciones favorables para la diseminación y multiplicación de las esporas, porque el pecoreo y las actividades de las abejas no se encuentran limitadas. Las abejas pueden realizar vuelos para evacuar sin mayores problemas; tampoco existen las condiciones de riesgo para el contagio y dispersión de esporas entre los individuos de la colonia. Otro factor a tomar en consideración es el origen de las abejas africanizadas que presentan diversos mecanismos de resistencia a determinadas

enfermedades<sup>(24)</sup>, por tanto, los niveles de infección se pueden mantener bajo control, en comparación con lo que ocurre con las abejas de origen europeo en países con climas extremadamente fríos, reportando una enfermedad con mayor frecuencia y altas prevalencias de *N. apis*<sup>(14)</sup>, esto debido a que los vuelos de limpieza son impredecibles y de corta duración, así como también, debido al estrés ocasionado por las bajas temperaturas durante el invierno<sup>(15)</sup>.

Adicionalmente, considerar que cuando se encuentra alta prevalencia y altos niveles de infección de la nosemosis, se puede deber a la presencia de la espora *N. ceranae*, la cual es una enfermedad altamente patógena que ha parasitado a las abejas melíferas, afectando a las abejas africanizadas; sin embargo, aun con altos niveles de infección las colonias de abejas pueden o no presentar signos clínicos de la enfermedad<sup>(24)</sup>. Para el presente estudio, el máximo rango detectado de esporas por abeja fue hasta nueve millones de esporas por abeja, por lo que estos niveles encontrados posiblemente se deben a la presencia de *N. ceranae* en la región<sup>(19)</sup>; sin embargo, debido al tipo de abejas (africanizadas) las colonias pueden verse afectadas, pero también, presentar mayor resistencia a las enfermedades<sup>(23)</sup>.

Bajo condiciones de clima tropical, es importante conocer las épocas cuando se presentan mayores niveles de infección para tomar medidas de prevención y control contra esta enfermedad, proporcionando algún tipo de tratamiento cuando los niveles de infección superen el millón de esporas por abeja<sup>(5)</sup>, por lo que es de importancia que se inicien programas de capacitación a los apicultores.

En conclusión, la nosemosis prevalece durante el periodo de estudio correspondiente de septiembre a mayo, presenta variabilidad en el promedio de esporas por abeja, en el cual pueden influir las condiciones climáticas, ya que los altos niveles de infección se presentaron durante los periodos de mayor precipitación pluvial. Sin embargo, altos niveles de infección podrían causar graves daños en la población de la colonia. Por tanto, se sugiere realizar más estudios durante varios años, abarcando un mayor número de muestras y áreas para descartar diferencias en los niveles de infección debido a diversos factores bióticos y abióticos.

#### **Literatura citada:**

1. Tokarev YS, Huang WF, Solter LF, Malysh JM, Becnel JJ, Vossbrinck CR. A formal redefinition of the genera *Nosema* and *Vairimorpha* (Microsporidia: Nosematidae) and reassignment of species based on molecular phylogenetics. *J Invertebr Pathol* 2020;169: 107279.
2. Bartolomé C, Higes M, Hernández RM, Chen YP, Evans JD, Huang Q. The recent revision of the genera *Nosema* and *Vairimorpha* (Microsporidia: Nosematidae) was flawed and misleads bee scientific community. *J Invertebr Pathol* 2024;206:108146.

3. Eiri DM, Suwannapong G, Endler M, Nieh JC. *Nosema ceranae* can infect honey bee larvae and reduces subsequent adult longevity. PLoS ONE 2015;10(5).
4. Urbietta-Magro A, Higes M, Meana A, Gómez-Moracho T, Rodríguez-García C, Barrios L, Martín-Hernández R. The levels of natural *Nosema* spp. infection in *Apis mellifera iberiensis* brood stages. Int J Parasitol 2019;49(8):657- 667.
5. Emsen B, de la Mora A, Lacey B, Eccles L, Kelly PG, Medina-Flores CA, Petukhova T, Morfin N, Guzman-Novoa E. Seasonality of *Nosema ceranae* infections and their relationship with honey bee populations, food stores, and survivorship in a North American region. Vet Sci 2020;7(3):1-14.
6. Fries I. *Nosema apis* - a parasite in the honey bee colony. Bee World 1993;74(1):5-19.
7. Fries I, Martín R, Meana A, García-Palencia P, Higes M. Natural infections of *Nosema ceranae* in European honey bees. J Apic Res 2006;45(4):230-233.
8. Higes M, Martín-Hernández R, Botías C, Bailón GE, González-Porto AV, Barrios L, *et al.* How natural infection by *Nosema ceranae* causes honeybee colony collapse. Environ Microbiol 2008;10(10):2659-2669.
9. Meixner MD, Francis RM, Gajda A, Kryger P, Andonov S, Uzunov A, *et al.* Occurrence of parasites and pathogens in honey bee colonies used in a European genotype-environment interactions experiment. J Apic Res 2014;8839(53):215-229.
10. Matović, K, Vidanović D, Manić M, Stojiljković M, Radojčić S, Debeljak Z, *et al.* Twenty-five-year study of *Nosema* spp. in honey bees (*Apis mellifera*) in Serbia. Arabia J Biol Sci 2020;27(1):518-523.
11. Retschnig G, Williams GR, Schneeberger A, Neumann P. Cold ambient temperature promotes *Nosema* spp. intensity in honey bees (*Apis mellifera*). Insects 2017;8(1).
12. Ostroverkhova NV, Konusova OL, Kuche AN, Kireeva TN, Rosseykina SA. Prevalence of the microsporidian *Nosema* spp. in honey bee populations (*Apis mellifera*) in some ecological regions of North Asia. Vet Sci 2020;7(3):1-17.
13. Traynor KS, Rennich K, Forsgren E, Rose R, Pettis J, Kunkel G, *et al.* Multiyear survey targeting disease incidence in US honey bees. Apidologie 2016;47:325-437.
14. Calderón RA, Sánchez LA. Nosemosis in africanized honey bee colonies (*Apis mellifera*) in the tropical conditions of Costa Rica: *Nosema apis* or *Nosema ceranae*. Cienc Vet 2021;39(2):1-8.

15. Moreno E, Calderón RA, Ramírez M, Van Veen J. Prevalencia de *Nosema* spp. (Microsporidia: Nosematidae) en abejas africanizadas en Atenas, Costa Rica: número de esporas y nivel de infección durante la época lluviosa. *Cienc Vet* 2021;39(1):1-18.
16. Tapia-González JM, Alcaraz-Oceguera G, Macías-Macías JO, Contreras-Escareño F, Tapia-Rivera JC, Chavoya-Moreno FJ, Martínez-Gonzales JC. Nosemosis en abejas melíferas y su relación con factores ambientales en Jalisco, Mexico. *Rev Mex Cienc Pecu* 2017;8(3):325-330.
17. Fleites-Ayil FA, Quezada-Euán JGG, Medina-Medina LA. Onset of foraging and lifespan of Africanized honey bees (*Apis mellifera*) infected with different levels of *Nosema ceranae* spores in Neotropical Mexico. *Apidologie* 2018;49(6):781-88.
18. CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. Centro Hidrometeorológico Regional “Mérida Yucatán” 2025. <https://smn.conagua.gob.mx/es/centro-hidrometeorologico-yucatan-merida>. Consultado 15 Sep, 2025.
19. Fries I, Ekbohm G; Villumstad E. *Nosema apis*, sampling techniques and honey yield. *J Apic Res* 1984;23(2):102-105.
20. Özkırım, A, Schiesser A, Keskin N. Dynamics of *Nosema apis* and *Nosema ceranae* co-infection seasonally in honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies. *J Apic Sci* 2019;63(1):41-48.
21. Hall RJ, Pragert H, Phiri BJ, Fan QH, Li X, Parnell A, *et al.* Apicultural practice and disease prevalence in *Apis mellifera*, New Zealand: a longitudinal study. *J Apic Res* 2021;60(5)644-658.
22. McAfee A, Alavi-Shoushtari N, Tran L, Labuschagne R, Cunningham M, Tsvetkov N, *et al.* Climatic predictors of prominent honey bee (*Apis mellifera*) disease agents: *Varroa destructor*, *Melissococcus plutonius*, and *Vairimorpha* spp. *PLOS Climate* 2024;3(8): e0000485.
23. Guzman-Novoa E, Morfin N, De la Mora A, Macías-Macías JO, Tapia-González JM, Contreras-Escareño F, *et al.* The process and outcome of the Africanization of honey bees in Mexico: Lessons and future directions. *Front Ecol Evol* 2020;8:1-17.
24. Punko RN, Currie RW, Nasr ME, Hoover SE. Epidemiology of *Nosema* spp. and the effect of indoor and outdoor wintering on honey bee colony population and survival in the Canadian Prairies. *PLoS ONE* 2021;16(10):e0258801.