






# Identificación molecular del hongo *Neurospora* spp. aislado de *Haematopinus tuberculatus* de búfalos (*Bubalus bubalis*)

## Molecular identification of the fungus *Neurospora* spp. isolated from *Haematopinus tuberculatus* from buffalo (*Bubalus bubalis*)

Nadia Florencia Ojeda-Robertos<sup>1</sup>, Liliana Aguilar-Marcelino<sup>2</sup>, Roger Iván Rodríguez-Vivas<sup>3</sup>, Ricardo Sánchez-Cruz<sup>4</sup>, Arnoldo Wong-Villarreal\*<sup>5</sup>

<sup>1</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km 25 Carr. Villahermosa-Teapa Ra. La Huasteca, 2ª sección, CP. 86298. Centro, Tabasco, México.

<sup>2</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad, INIFAP. Km 11 Carr. Federal Cuernavaca-Cuautla, No. 8534, Col. Progreso, CP. 62550. Jiutepec, Morelos, México.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. CP. 97700. Mérida, Yucatán, México.

<sup>4</sup>Centro de Ciencias Genómicas, Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador Posdoctorante. Av. Universidad sn, Chamilpa, CP. 62210. Cuernavaca, Morelos, México.

<sup>5</sup>División Agroalimentaria, Universidad Tecnológica de la Selva, Carretera Ocosingo- Altamirano, CP. 29950. Ocosingo, Chiapas, México.

\*Autor de correspondencia: wova79@hotmail.com

### Nota científica

**Recibido:** 7 de febrero de 2024

**Aceptado:** 19 de junio de 2024

**RESUMEN.** Se reporta el aislamiento de dos cepas de hongos del piojo *Haematopinus tuberculatus* proveniente de búfalos de agua criados en el trópico de México. Los piojos con presencia de abundante micelio en su cuerpo, fueron incubados durante 12 h luz/obscuridad para favorecer el crecimiento micelial. Los hongos se transfirieron y aislaron en un medio agar de papa dextrosa (20%). De las dos cepas aisladas, se extrajo ADN genómico y se amplificaron los genes 28S rARN y secuencias ITS. El 76.1% de los piojos colectados presentaron crecimiento de micelio blanquecino en su cuerpo. Se determinó que hongo pertenece al género *Neurospora* spp. El presente estudio permitió el hallazgo del hongo saprófito del género *Neurospora* en el piojo *H. tuberculatus*, el cual fue confirmado mediante su morfología y secuenciación genética.

**Palabras clave:** Artrópodo, micelio, identificación, saprófito, taxonomía.

**ABSTRACT.** The isolation of two fungal strains of the louse *H. tuberculatus* from water buffaloes raised in the tropics of Mexico is reported. Lice with the presence of abundant mycelium on their body were incubated for 12 h light/dark to promote mycelial growth. Fungi were transferred and isolated on potato dextrose agar medium (20%). From the two isolated strains, genomic DNA was extracted and the 28S rRNA genes and ITS sequences were amplified. The 76.1% of the lice collected showed white mycelium growth on their body. It was determined that the fungus belongs to the genus *Neurospora* spp. The present study allowed the discovery of the saprophytic fungus of the genus *Neurospora* in the louse *H. tuberculatus*, which was confirmed through its morphology and genetic sequencing.

**Key words:** Arthropod, mycelium, identification, saprophyte, taxonomy.

## INTRODUCCIÓN

43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80

El piojo *Haematophinus tuberculatus*, es una de las principales especies de ectoparásitos que afectan a los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) (Ojeda-Robertos *et al.* 2022). Estos piojos pertenecen al suborden Anoplura y se caracterizan por tener piezas bucales adaptadas para succionar sangre, además son parásitos permanentes de los búfalos con un ciclo de vida simple que se completa entre 21 y 27 días (Egri 2019). Los piojos sólo pueden sobrevivir por cortos periodos de tiempo en el medio ambiente, por lo que su abundancia y presencia está íntimamente relacionada con la presencia del hospedador (Batista *et al.* 2018). Este género de piojo ocasiona problemas de salud en los rumiantes, entre los que se encuentran, lesiones en la piel, irritación, prurito, intranquilidad, baja de peso, disminución de ganancia de peso y producción de leche (Ojeda-Robertos *et al.* 2022). *H. tuberculatus* es un parásito hematófago por lo que su presencia está relacionada con anemia. Además, es vector de patógenos como bacterias, virus y protozoarios que son de interés en la salud animal y pública (Neglia *et al.* 2013, Veneziano *et al.* 2013). En México, recientemente, se ha notificado la presencia del piojo en hatos de búfalos criados en los estados de Veracruz y Tabasco (Hernández-Velazco *et al.* 2020, Ojeda-Robertos *et al.* 2022), y se ha sugerido como potencial vector de *Anaplasma marginale*, agente que afecta a los bovinos (Hernández-Velazco *et al.* 2020).

Por otro lado, los hongos entomopatógenos, son organismos que han sido utilizados como antagonistas naturales de biocontrol de artrópodos (Alonso-Díaz y Fernández-Salas 2021). Los hongos *Metarhizium anisopliae sensu lato* (s.l.) y *Beauveria bassiana* s.l. han sido utilizados con éxito como enemigos naturales para el control de artrópodos (Ojeda-Chi *et al.* 2011, Romo-Martínez 2013, Ebani y Mancianti 2021). En los trópicos húmedos el hongo filamentoso *Neurospora* spp. es comúnmente encontrado en estrecha asociación con humanos y animales, en lugares tales como fábricas de madera, panaderías, cultivos de maíz, caña de azúcar y arroz, así como en áreas con vegetación quemada. Asimismo, *Neurospora* spp. también ha sido aislado de insectos como *Lucilia cuprina* (Benjo *et al.* 2006). Algunas especies del género *Neurospora* presentan actividad biológica mediante la producción de metabolitos que tienen el potencial de ser agentes biológicos anti-tumorales (contra el cancer invasivo de mama) (Jinu y Jayabaskaran 2015, Han *et al.* 2022), y también se ha notificado que pueden afectar el desarrollo embriogénico (Syed *et al.* 2008) y la oviposición de insectos (Lou *et al.* 2019). Debido al promisorio uso de los hongos para el control biológico de artrópodos, el presente estudio tiene como objetivo reportar la presencia e identificar taxonómica y molecularmente a los hongos aislados a partir del cuerpo de piojos *H. tuberculatus* obtenidos de búfalos de agua en el trópico mexicano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100  
101  
102  
103  
104  
105  
106  
107  
108  
109  
110  
111  
112  
113  
114  
115  
116  
117  
118

### Área de estudio

El estudio se realizó en un rancho de producción bufalina localizado entre los estados de Tabasco y Chiapas, México (17° 54' 21" LN, 93° 06' 07" LO). El clima de la región se caracteriza por ser tropical húmedo, con lluvias en verano, precipitación pluvial anual de 2 550 mm y una temperatura media anual de 27 °C (INEGI 2019). La zona se caracteriza por ser inundable por su cercanía con el río de la Sierra y con un sistema de lagunas que colidan con la unidad productiva.

### Colecta de piojos en búfalos con infestación natural

La colecta de piojos se realizó durante un brote que se presentó en un hato de búfalos de agua (*B. bubalis*). Se seleccionaron al azar 20 búfalas adultas infestadas naturalmente y que previamente no hubieran sido tratados con insecticidas. De los animales seleccionados se colectaron 130 piojos adultos (machos y hembras) y ninfas. El número de piojos incluidos en el estudio dependió del grado de infestación de las búfalas. Los piojos fueron depositados en placas de Petri para su conservación y traslado al laboratorio.

### Identificación de presencia de micelio en los piojos

Los piojos colectados se trasladaron al laboratorio con la finalidad de detectar la presencia de crecimiento miceliar en la cutícula de los parásitos, y de corroborar la identidad de los piojos. Los piojos se mantuvieron a temperatura ambiente (25 °C) y se inspeccionaron individualmente cada 4 h durante las primeras 24 h post-colecta. La inspección individual se realizó para detectar la presencia del micelio en el cuerpo de los parásitos para lo que se utilizó un estereoscopio (20X) (Carl Zeiss modelo StemiDV4®).

Después de las 24 h de observación, se seleccionaron 30 piojos positivos a la presencia de micelio. Los piojos con crecimiento micelial abundante fueron separados y transferidos a otra caja de Petri para ser enviados al laboratorio del CENID Salud Animal e Inocuidad del INIFAP, ubicado en Jiutepec, Morelos, México.

### Identificación morfológica de los piojos

Con el fin de confirmar la identificación taxonómica de acuerdo con un trabajo previamente publicado (Ojeda-Robertos *et al.*, 2022), se seleccionaron aleatoriamente 10 piojos. Los especímenes fueron transferidos a un vial con alcohol al 70% y posteriormente fueron aclarados con hidróxido de potasio y fijados en bálsamo de Canadá. La identificación se realizó con la ayuda de un microscopio compuesto (20X), y se utilizaron las claves taxonómicas descritas por Meleney y Kim (1974).

119

## 120 **Crecimiento del hongo en el laboratorio**

121 Para favorecer el crecimiento de las estructuras fúngicas, los 30 especímenes con abundante  
122 crecimiento de micelio desde las primeras horas de la inspección, se colocaron de forma  
123 individual en placas de Petri (60 x 15 mm), que contenían agua-agar al 2% con el antibiótico  
124 cloranfenicol (Laboratorio Sigma®). Las placas de Petri se incubaron por siete días a  
125 temperatura ambiente (18-25°C) y fotoperiodo de 12 h luz/obscuridad (Barron 1977).  
126 Diariamente se observaron las placas de Petri bajo un microscopio estereoscópico (10X)  
127 con el fin de verificar el proceso del crecimiento del micelio.

128

## 129 **Aislamiento e Identificación morfológica de los hongos**

130 De las placas de Petri. con agar agua y con crecimiento de micelio, se obtuvieron muestras  
131 que se depositaron e incubaron en 15 placas de Petri con el medio agar papa dextrosa  
132 (20%). La incubación se realizó durante cinco días y posteriormente mediante la técnica de  
133 cinta pegante (Díaz *et al.* 1999), se obtuvieron fragmentos del hongo presionando  
134 suavemente el lado pegante sobre el micelio del hongo, después se colocó la cinta sobre  
135 porta objetos con una gota de azul de lactofenol. Para realizar la identificación morfológica,  
136 se observó el micelio teñido con la ayuda de microscopio (Leica DM500®) utilizando los  
137 aumentos de 10X, 40X y 100X.

138

## 139 **Secuenciación del gen 28S rARN e ITS**

140 La identificación molecular se realizó en las dos cepas aisladas anteriormente, el ADN  
141 genómico de los dos hongos se extrajo macerando 100 mg del micelio con nitrógeno líquido  
142 y posteriormente usando el kit de extracción de ADN ZR fungal/bacterial DNA Kit™. Para  
143 la identificación molecular se utilizó el gen 28S rARN que fue amplificado usando los  
144 oligonucleótidos universales eucarióticos D1 y D2 descritos por Boyandin *et al.* (2013), de  
145 igual manera se amplificaron las secuencias conservadas en eucariotas ITS (Internal  
146 transcribed spacer) utilizando los oligonucleótidos ITS1 e ITS4 en las condiciones descritas  
147 por White *et al.* (1990). Los productos de amplificación se purificaron del gel utilizando el  
148 kit GeneJET (Thermo Scientific®) y se secuenciaron en la unidad de secuenciación del  
149 Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (Cuernavaca,  
150 Morelos, México). Las secuencias obtenidas se depositaron en el GenBank del Centro  
151 Nacional de Información Biotecnológica (NCBI) con los números de accesos 28s: D1D2C1  
152 (ON911454) y D1D2C2 (ON911455) e ITS: ITSC1 (ON911478) y ITSC2 (ON911479).  
153 Posteriormente, se realizaron alineamientos múltiples de las secuencias 28S rARN (551  
154 nucleótidos) y para ITS (330 nucleótidos) usando la base de datos NCBI (National Center  
155 for Biotechnology Information), las secuencias referenciadas fueron alineadas utilizando el  
156 software Clustal Omega (Sievers *et al.* 2011). El análisis filogenético de cada matriz de datos

157 se realizó por separado bajo el criterio de neighbor joining con 1 000 bootstrap con el  
158 programa seaview 4.6.1 (Gouy 2010).

159

160

## RESULTADOS Y DICUSIÓN

161

162 El presente estudio reporta el aislamiento de *Neurospora* spp. a partir de un organismo  
163 biológico como el piojo *H. tuberculatus* en México. El hongo *Neurospora* spp. es un  
164 organismo que ha sido aislado de distintos vegetales y sustratos como el suelo y maderas  
165 quemadas (Lee 2012). Aunque existe escasa información, se ha reportado su aislamiento  
166 en algunos organismos biológicos de importancia, como larvas de la mosca *Lucilia cuprina*  
167 (Benjo *et al.* 2006).

168 Los piojos *H. tuberculatus* son ectopásitos que han sido reportados como causantes de  
169 brotes en búfalos en la región (Ojeda-Robertos *et al.* 2022). En este estudio, además de  
170 confirmar la identidad del piojo por medio de claves taxónomicas, se reporta la presencia  
171 de micelio blanco y escaso en el cuerpo de los ectoparasitos desde el momento de la colecta;  
172 sin embargo, a las 24 h post-colecta, se observó crecimiento e invasión con mayor cobertura  
173 (Figura1), lo que indicó la capacidad del hongo para colonizar este insecto. Del total de  
174 piojos colectados el 76.1%, tuvieron la presencia de crecimiento micelial blanco en su  
175 cuerpo (Tabla 1).

176

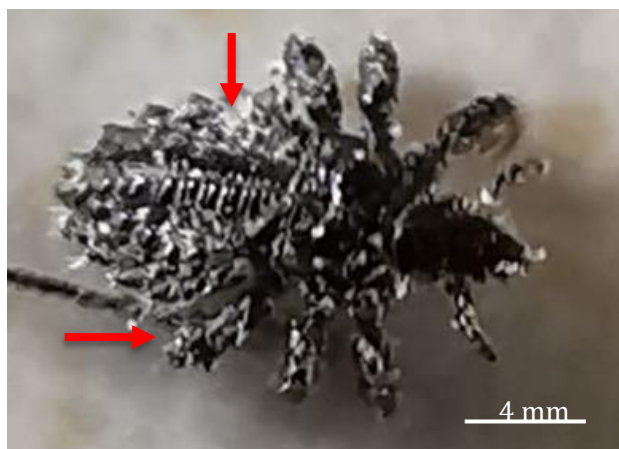
177

178

**Tabla 1.** Número y porcentaje de *H. tuberculatus* con crecimiento micelial de *Neurospora* spp. en búfalos de Tabasco, México.

Número de animal	Total de piojos colectados	Número de piojos con crecimiento de micelio	Porcentaje de piojos con crecimiento de micelio (%)
1	5	1	20.0
2	5	1	20.0
3	7	6	85.7
4	5	1	20.0
5	5	1	20.0
6	8	8	100
7	5	1	20.0
8	10	10	100
9	10	10	100
10	10	8	80.0
11	5	5	100
12	6	5	83.3
13	7	5	71.4
14	5	5	100
15	5	5	100
16	7	6	85.7
17	4	1	25.0
18	5	5	100
19	10	10	100
20	6	5	83.3
Total	130	99	76.1

179  
180  
181  
182  
183  
184  
185  
186  
187  
188  
189  
190  
191  
192  
193  
194



**Figura 1.** Piojo adulto *Haematopinus tuberculatus* invadido por el micelio de *Neurospora* spp. (40X) al momento de la colecta. La flecha roja indica zonas en el cuerpo del piojo invadidas con micelio blanco.

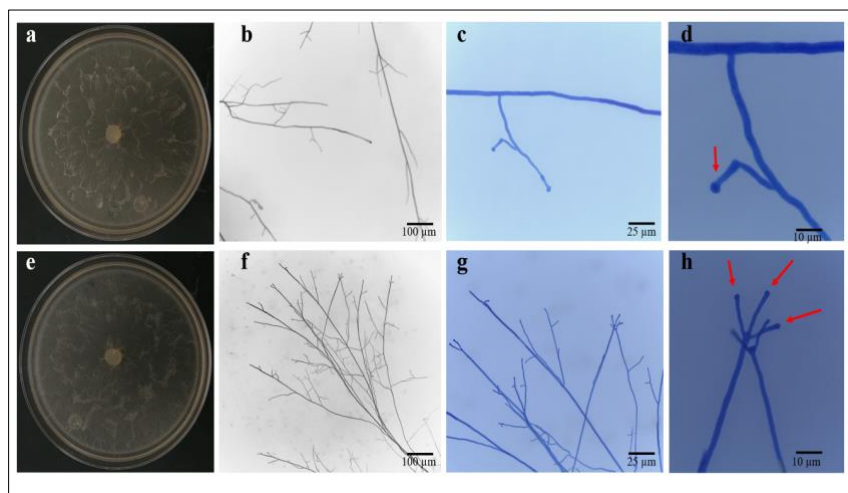
195 El origen del micelio en el cuerpo de los piojos colectados es difícil de explicar, aunque  
196 existen algunas posibilidades, los búfalos de agua como parte de su proceso de  
197 termorregulación corporal requieren refrescarse en agua y lodo (Khongdee *et al.* 2011),  
198 posiblemente, en el lodo de las lagunas donde los búfalos se termoregulan, entran en  
199 contacto junto con sus ectoparásitos con otros organismos vivos como es el caso de los  
200 hongos. Aunque también, se ha reportado que, otra fuente del hongo es el suelo y zonas  
201 con áreas quemadas (Lee 2012). Sin embargo, algo importante de considerar, es que el ciclo  
202 de vida del piojo es corto, se desarrolla de 21 a 27 días y sucede en su totalidad encima del  
203 hospedador lo que podría sugerir la capacidad invasiva y el rápido crecimiento del hongo  
204 en el cuerpo de los parásitos (Batista *et al.* 2018).

205

### 206 **Morfología macroscópica y microscópica de los hongos**

207 El género *Neurospora* es un grupo de hongos ascomicetos que son comunes en áreas  
208 tropicales y subtropicales y su presencia ha sido reportada en varias regiones y países del  
209 mundo (Turner *et al.* 2001). En este género, se han identificado varias especies con  
210 características morfológicas macroscópicas y microscópicas, las cuales varían dependiendo  
211 de la región y del lugar de colecta. En el crecimiento miceliar de las cepas C1 y C2 en el  
212 medio PDA, se detectó un micelio blanco, mientras que por microscopía se pudo observar  
213 la formación de hifas septadas y la presencia de conidios (de origen asexual), por lo que de  
214 acuerdo con estas características macroscópica y microscópica son representativas del  
215 género *Neurospora* (Turner *et al.* 2001).

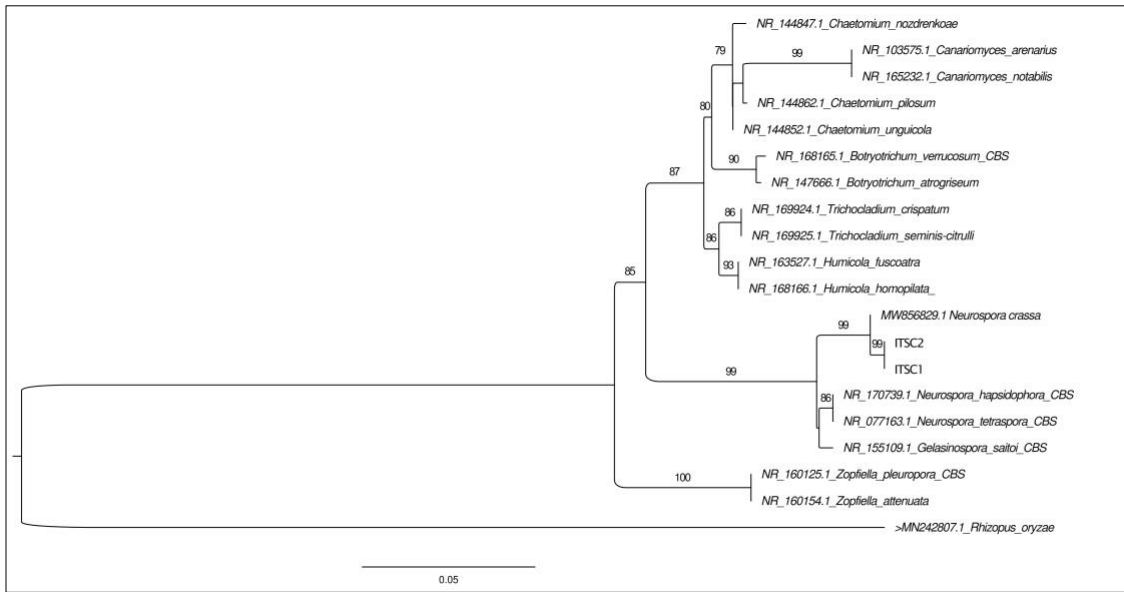
216  
 217  
 218  
 219  
 220  
 221  
 222  
 223  
 224  
 225  
 226  
 227  
 228  
 229  
 230  
 231  
 232  
 233  
 234  
 235  
 236  
 237  
 238  
 239  
 240  
 241  
 242  
 243  
 244  
 245  
 246  
 247  
 248  
 249  
 250  
 251  
 252  
 253  
 254  
 255  
 256  
 257



**Figura 2.** Caracterización macroscópica y microscópica de dos cepas de *Neurospora* spp. Crecimiento micelial de las cepas C1 y C2 en caja de Petri agar dextrosa (40X) (a y e). Características microscópicas con aumento 10X (b y f), 40X (c y g) y 100X (d y h) respectivamente. La flecha roja indica la presencia de conidios.

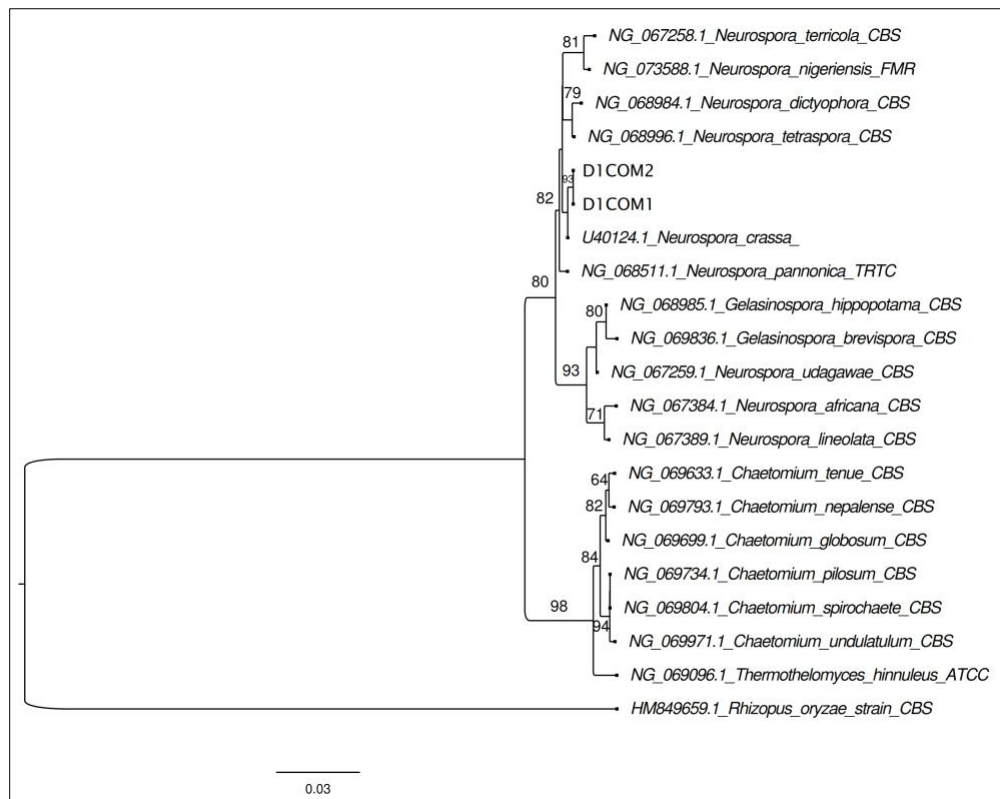
### Identificación molecular

Las secuencias de los genes 28 rRNA y secuencias ITS se analizaron utilizando el algoritmo BLASTn en la base de datos NCBI, donde se alinearon y mostraron una alta similitud con especies del género *Neurospora*. Los árboles filogenéticos se construyeron utilizando fragmentos de las secuencias del gen 28s rRNA y secuencias ITS referenciadas obtenidas del NCBI. Como se observa en la Figura 2, el análisis filogenético de las secuencias ITS muestra que las cepas C1 y C2 están relacionadas con las especies *N. crassa*, *N. hapsidophora*, *N. tetraspora* y *N. saitoi* con un soporte del 99%, mientras que el análisis filogenético de las secuencias del gen 28s rRNA, muestra que las cepas C1 y C2, están relacionadas con las especies *N. crassa* y *N. pannonica* con un soporte del 93% (Figura 3 y 4). Al respecto, Perkins *et al.* (1976), mencionan que es un hongo común en áreas tropicales, y por lo general, se encuentra en zonas de vegetación quemada. Al parecer las ascosporas, permanecen durante un tiempo hasta que las altas temperaturas o incluso ciertos químicos las activan (Ferreira *et al.* 2016). Por otra parte, Ferreira *et al.* (2016) mencionan que algunos hongos ascomicetos filamentosos, como *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Monascus* spp. y *Neurospora* spp., son versátiles y de distribución cosmopolita y son capaces de crecer en diferentes sustratos, sin embargo, hasta el momento, solo ha sido reportado a partir de un organismo vivo (Bejo *et al* 2006). Los macroconidios de *Neurospora* spp. se caracterizan por tener una amplia dispersión aérea, pero tienen corta duración de vida en la naturaleza (Lee 2012), lo que posiblemente explique la presencia en el suelo de las praderas y charcas donde los búfalos se refrescaron para termoregularse y ser la vía para la invasión y colonización de los piojos.



258  
 259  
 260  
 261

**Figura 3.** Análisis filogenético de las cepas C1 (ITS1) y C2 (ITS2) según los resultados de BLAST de las secuencias ITS.



262  
 263  
 264  
 265  
 266

**Figura 4.** Análisis filogenético de las cepas 1 (D1 COM1) y 2 (D1 COM2) según los resultados de BLAST de las secuencias del gen 28S rARN.



267 Algunas especies pertenecientes al género *Neurospora* spp. han sido descritas en la  
268 literatura por su actividad saprobia y su relación con la degradación de plantas (Piontelli  
269 y Diaz 2004) lo que explica su actividad menos especializada cuando se compara con otras  
270 especies de hongos con actividad entomopatógena (St. Leger y Wang *et al.* 2000). En el  
271 presente estudio no fue posible determinar el efecto letal (mortalidad) o subletal  
272 (desarrollo embriogénico y oviposición) del hongo sobre la especie de piojo. De acuerdo a  
273 lo mencionado anteriormente, estos son parásitos obligados y mueren a las pocas horas  
274 después de ser colectados (Egri 2019), por lo que no podemos atribuir la muerte a la  
275 presencia e invasión del hongo, sino a la falta del hospedero.

276 En un estudio realizado por St Leger *et al.* (1997) se comparó la habilidad de hongos  
277 saprófitos, entre ellos *N. crassa* y *A. nidulans*, con otros hongos oportunistas, patógenos de  
278 plantas y entomopatógenos para utilizar los componentes de las paredes celulares de las  
279 plantas y cutícula de insectos en diferentes medios nutritivos y se reportó que *N. crassa* a  
280 pesar de ser un saprófito, secreta proteasas capaces de degradar mucina (Leger *et al.* 1997),  
281 por lo que podría tener una actividad entomopatógena, sin embargo, esto debe ser  
282 estudiado. Estudios previos han demostrado que la mucina es esencial para el desarrollo  
283 embriogénico (Syed *et al.* 2008) y la oviposición de los insectos (Lou *et al.* 2019), en futuros  
284 estudios será necesario evaluar el efecto letal y subletal que podría producir *Neurospora*  
285 spp. sobre *H. tuberculatus* y conocer su papel en el control biológico de este piojo que afecta  
286 a la producción bufalina de México. Al respecto, Liu y Yang (2023), mencionan que las  
287 interacciones entre los micrororganismos y algunos invertebrados del suelo pueden establecer  
288 relaciones predador-presa y dar origen a interacciones más complejas, sin embargo, dada  
289 la biodiversidad de la biota muchas de estas interacciones aún no han sido estudiadas, por  
290 lo que este estudio presenta el aislamiento de un hongo en un sustrato no estudiado  
291 previamente.

292 El presente estudio reporta el hallazgo de un hongo perteneciente al género *Neurospora*  
293 encontrado en el cuerpo de piojos *H. tuberculatus*, los cuales fueron colectados de búfalos  
294 de agua. La identidad del hongo fue confirmado mediante morfología y secuenciación de  
295 marcadores moleculares, por lo que es importante continuar con estudios que ayuden a  
296 comprender la relación biológica entre el hongo y los piojos.

297

298

### AGRADECIMIENTOS

299 A los propietarios y trabajadores del rancho, por su incondicional apoyo por sus  
300 atenciones, disposición, paciencia y colaboración durante la fase de campo.

301

302

### CONFLICTO DE INTERÉS

303 Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

304  
305  
306  
307  
308  
309  
310  
311  
312  
313  
314  
315  
316  
317  
318  
319  
320  
321  
322  
323  
324  
325  
326  
327  
328  
329  
330  
331  
332  
333  
334  
335  
336  
337  
338  
339  
340

## LITERATURA CITADA

- Alonso-Díaz MA, Fernández-Salas A (2021) Entomopathogenic fungi for tick control in cattle livestock from Mexico. *Frontiers in Fungal Biology* 2: 657694. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2021.657694>
- Barron GL (1977) The nematode-destroying fungi. Canadian Biological Publications Ltd. Guelph, Ontario, Canada. 140p.
- Batista HR, Sarturi C, Stelmachtchuk FN, Oliveira DR, Morini AC, Gennari SM, Minervino AHH (2018) Prevalence and risk factors associated with ectoparasite infestation of buffaloes in an Amazonian ecosystem. *Parasites & Vectors* 11: 1-9. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-2917-2>.
- Benjo AD, Lawal OA, Akintola OI (2006) Bacteria and fungi associated with *Lucilia cuprina* (sheep blowfly) larvae. *Research Journal of Agriculture & Biology Science* 2(6): 358-364.
- Boyandin AN, Prudnikova SV, Karpov VA, Ivonin VN, Lanh ĐỖN, Nguyễn TH, Hiệp Lê T, Filichev NL, Levin AL, Filipenko ML, Volova TG, Gitelson II (2013) Microbial degradation of polyhydroxyalkanoates in tropical soils. *International Biodeterioration & Biodegradation* 83: 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.04.014>.
- Díaz R, Gamazo C, López-Goñi I (1999) Manual práctico de microbiología. 2da Edición. Editorial Masson SA. Barcelona, España. 208p.
- Ebani VV, Mancianti F (2021) Entomopathogenic fungi and bacteria in a veterinary perspective. *Biology* 10(6): 479. <https://doi.org/10.3390/biology10060479>
- Egri B (2019) Louse infestation of ruminants. *Bovine Science - A Key to Sustainable Development*. IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.79257. Fecha de consulta: 23 de enero de 2024.
- Ferreira JA, Mahboubi A, Lennartsson PR, Taherzadeh MJ (2016) Waste biorefineries using filamentous ascomycetes fungi: present status and future prospects. *Bioresource Technology* 215: 334-345.
- Gouy M, Guindon S, Gascuel O (2010) SeaView version 4: a multiplatform graphical user interface for sequence alignment and phylogenetic tree building. *Molecular Biology Evolution* 27(2): 221-224. <https://doi.org/10.1093/molbev/msp259>
- Hernández-Velasco A, Sánchez-Montes S, Romero-Salas D, Cruz-Romero A, Jiménez-Hernández JA, Becker I, Aguilar-Domínguez M, Pérez de León A (2020) First record of natural infection with *Anaplasma marginale* in sucking lice infesting the water buffalo (*Bubalus bubalis*) in Mexico. *Parasitology Research* 119: 3853-3856.

- 341 INEGI (2019) Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos  
342 Mexicanos, Tabasco, Centro. Instituto Nacional de Estadística Geografía e  
343 informática, México. <https://www.inegi>. Fecha de consulta: 23 de enero de 2024.
- 344 Jinu MV, Jayabaskaran C (2015) Diversity and anticancer activity of endophytic fungi  
345 associated with the medicinal plant *Saraca asoca*. *Current Research in Environmental*  
346 *& Applied Mycology* 5: 169-179.
- 347 Khongdee T, Sripoon S, Vajrabukka C (2011) The effects of high temperature and wallow  
348 on physiological responses of swamp buffaloes (*Bubalus bubalis*) during winter season  
349 in Thailand. *Journal of Thermal Biology* 36: 417-421.  
350 <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2011.07.006>
- 351 Lee K (2012) Asexual and sexual developments of *Neurospora crassa* on natural substrata.  
352 *Fungal Ecology* 5(2): 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2011.09.001>.
- 353 Liu R, Yang B (2023) Editorial: Soil microbe-arthropod interactions under global change.  
354 *Front Microbiology* 14:1280103. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1280103>
- 355 Lou YH, Shen Y, Li DT, Huang H, Lu JB, Zhang CX (2019) A mucin-like protein is essential  
356 for oviposition in *Nilaparvata lugens*. *Front Physiology* 10: 551.  
357 <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00551>
- 358 Meleney WP, Kim KC (1974) A comparative study of cattle infesting *Haematopinus*, with  
359 redescription of *H. quadripertusus* Fahrenholz, 1916 (Anoplura: Haematopinidae). *The*  
360 *Journal of Parasitology* 60: 507-522.
- 361 Neglia G, Veneziano V, De Carlo E, Galiero G, Borriello G, Francillo M, Campanille G,  
362 Zicarelli L, Manna L (2013) Detection of *Brucella abortus* DNA and RNA in different  
363 stages of development of the sucking louse *Haematopinus tuberculatus*. *BMC*  
364 *Veterinary Research* 9: 1-9.
- 365 Ojeda-Chi MM, Rodríguez-Vivas R I, Galindo-Velasco E, Lezama-Gutierrez R, Cruz-  
366 Vázquez C (2011) Control de *Rhipicephalus microplus* (Acari:Ixodidae) mediante el uso  
367 del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales: Clavicipitaceae):  
368 Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 2:177-192.
- 369 Ojeda-Robertos N, Peralta-Torres JA, López-Hernández KG, Chay-Canul AJ, Ojeda-Chi  
370 MM, Rodríguez-Vivas RI (2022) Pediculosis por *Haematopinus tuberculatus* en búfalos  
371 de agua (*Bubalus bubalis*). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(3): e3283.  
372 <https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3283>.
- 373 Perkins DD, Turner BC, Barry EG (1976) Strains of *Neurospora* collected from nature.  
374 *Evolution* 30(2): 281-313. <https://doi.org/10.2307/2407702>
- 375 Piontelli E, Díaz MC (2004) El entorno humano y la relevancia biológica de las especies de  
376 *Neurospora*: consideraciones en micología médica. *Boletín Micológico* 19: 1-11.  
377 <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2004.19.0.288>
- 378 Romo-Martínez A, Fernández-Ruvalcaba M, Hernández-Velázquez VM, Peña-Chora G,  
379 Lina-García LP, Osorio-Miranda J (2013) Evaluation of natural origin products for the

- 380 control of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) on cattle artificially  
381 infested. Basic Research Journal of Agricultural Science and Review 2: 64-79.
- 382 Sievers F, Wilm A, Dineen D, Gibson TJ, Karplus K, Li W, Lopez R, McWilliam H, Remmert  
383 M, Söding J, Thompson JD, Higgins DG (2011) Fast, scalable generation of high-  
384 quality protein multiple sequence alignments using Clustal Omega. Molecular  
385 Systems Biology. <https://doi.org/10.1038/msb.2011.75>.
- 386 St Leger RJS, Joshi L, Roberts DW (1997) Adaptation of proteases and carbohydrases of  
387 saprophytic, phytopathogenic and entomopathogenic fungi to the requirements of  
388 their ecological niches. Microbiology 143(6): 1983-1992.
- 389 St. Leger RJ, Wang JB (2020) *Metarhizium*: jack of all trades, master of many. Open Biology  
390 10: 200307. <https://doi.org/10.1098/rsob.200307>
- 391 Syed ZA, Härd T, Uv A, Van Dijk-Härd IF (2008) A potential role for *Drosophila* mucins in  
392 development and physiology. PLoS One 3(8): e3041.  
393 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003041>
- 394 Turner BC, Perkins DD, Fairfield A (2001) *Neurospora* from natural populations: a global  
395 study. Fungal Genetic Biology. <https://doi.org/10.1006/fgbi.2001.1247>
- 396 Veneziano V, Neglia G, Cimmino R, Balestrieri A, Rufrano D, Bastianetto E, Santoro M,  
397 Gokbulut C (2013) The efficacy and safety of alphacypermethrin as a pour-on  
398 treatment for water buffalo (*Bubalus bubalis*) infested with *Haematopinus tuberculatus*  
399 (Phthiraptera: Haematopinidae). Parasitology Research 112: 2907-2912.  
400 <https://doi.org/10.1007/s00436-013-3462-8>
- 401 White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor J (1990) Amplification and direct sequencing of fungal  
402 ribosomal RNA genes for phylogenetics, In: Innis MA, Gelfand DH, Sninsky JJ, White  
403 TJ (eds), PCR protocols-A guide to methods and applications. Academic Press. San  
404 Diego California, USA. pp. 315-322.
- 405