

# 1 Bioprospección de hongos filamentosos en 2 suelos contaminados con hidrocarburos en 3 Villa Hermosa, Álamo, Veracruz.

4  
5 <sup>a</sup>Dra. Rosa María Arias Mota, <sup>b</sup>Estudiante Jesús Rodrigo  
6 Cruz Cruz, <sup>c</sup>Dr. Benito Hernández Castellanos, <sup>c\*</sup>Dr.  
7 Yadeneyro de la Cruz Elizondo.

8  
9  
10 <sup>a</sup>Instituto de Ecología A.C, km 2.5 antigua carretera a Coatepec 361 el Haya,  
11 [rosa.arias@inecol.mx](mailto:rosa.arias@inecol.mx). Xalapa, Veracruz, México.

12 <sup>b</sup>Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, Reserva Territorial SN, Col.  
13 Santa Bárbara 91096. [lbq.rodrigoacruz@gmail.com](mailto:lbq.rodrigoacruz@gmail.com). Xalapa, Veracruz,  
14 México.

15 <sup>c</sup>Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Campus Xalapa, circuito  
16 Gonzalo Aguirre Beltrán s/n. 91090 Zona Universitaria, Xalapa, Veracruz,  
17 México. [benihernandez@uv.mx](mailto:benihernandez@uv.mx)

18 \*  
19 autor de correspondencia [ydelacruz@uv.mx](mailto:ydelacruz@uv.mx).

## 21 Resumen

22 La contaminación de los suelos por derrames de hidrocarburos  
23 en la zona norte del estado de Veracruz ha generado una gran  
24 problemática que ha traído consigo daños económicos y  
25 ambientales. Este estudio tuvo como objetivo bioprospectar  
26 hongos filamentosos en suelos contaminados por  
27 hidrocarburos para detectar especies con capacidad de  
28 degradar estos contaminantes. Para ello, se realizó el  
29 aislamiento de hongos a partir de suelo contaminado con  
30 hidrocarburo mediante la técnica de diluciones seriadas.  
31 Posteriormente se realizó la ubicación taxonómica a nivel de  
32 género. Adicionalmente se llevaron a cabo diferentes ensayos  
33 con el fin de evaluar el efecto de diferentes concentraciones  
34 de petróleo sobre el crecimiento micelial y la germinación de  
35 las esporas. En los resultados, se aislaron 22 colonias de cepas  
36 de hongos, 17 cepas se ubicaron en el género *Trichoderma*,  
37 tres cepas en el género *Penicillium* y dos cepas en el género  
38 *Aspergillus*. De acuerdo con los resultados aquí expuestos  
39 *Trichoderma* tiene una gran capacidad de degradar los crudos.  
40 En el ensayo realizado en frascos con diferentes  
41 concentraciones del crudo, se puede constatar visualmente el  
42 cambio de coloración oscuro a casi transparente en presencia  
43 de las cepas *Trichoderma* y *Penicillium*; sin embargo, fue más  
44 evidente en *Trichoderma* la encapsulación del crudo. Este  
45 hallazgo ofrece oportunidades para desarrollar estrategias de  
46 remediación con cepas de *Trichoderma* y contribuir en la  
47 recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos en la  
48 zona de estudio.

49 **Palabra claves**—Suelos contaminados, Petróleo crudo,  
50 hongos microscópicos.

## 52 Abstract

53 *Soil contamination due to accidental hydrocarbon spills in the*  
54 *northern part of the state of Veracruz has generated a great*  
55 *problem that has brought with it economic and environmental*  
56 *damage. The objective of this study was to bioprospect*  
57 *filamentous fungi in soils contaminated by hydrocarbons to*  
58 *identify possible species with the capacity to degrade these*  
59 *contaminants. For this purpose, the isolation of fungi from*

60 *soil contaminated with hydrocarbon was carried out using*  
61 *the serial dilution technique. Subsequently, the taxonomic*  
62 *location was carried out at the genus level. Additionally,*  
63 *different tests were carried out to evaluate the effect of*  
64 *different oil concentrations on mycelial growth and spore*  
65 *germination.*

66 *In the results, 22 colonies of fungal strains were isolated from*  
67 *the soil, 17 strains were located in the *Trichoderma* genus,*  
68 *three strains belonged to *Penicillium* and two strains*  
69 *belonged to the *Aspergillus* genus. According to the results*  
70 *presented here, *Trichoderma* has a great capacity to degrade*  
71 *crude oil. In the test carried out in bottles with different*  
72 *concentrations of the crude oil, the change from dark to*  
73 *almost transparent color can be visually observed in the*  
74 *presence of the *Trichoderma* and *Penicillium* strains;*  
75 *However, an encapsulation of crude oil was more evident in*  
76 **Trichoderma*. This finding offers opportunities to develop*  
77 *remediation strategies with *Trichoderma* strains and*  
78 *contribute to the recovery of soils contaminated by*  
79 *hydrocarbons in the study area.*

80 **Key words**— *contaminated soils, crude oil, microfungi*

## 82 1. INTRODUCCIÓN

83 El suelo desempeña un papel fundamental en el  
84 mantenimiento de los servicios de los ecosistemas sobre la  
85 biodiversidad, en la protección de los recursos hídricos, en la  
86 regulación del microclima, en el secuestro de carbono, en la  
87 producción de alimentos y la satisfacción de necesidades  
88 culturales o recreativas [1]. Sin embargo, con la rápida  
89 expansión urbana y la industrialización, los suelos urbanos  
90 están cada vez más expuestos a los contaminantes de  
91 químicos tóxicos como los metales pesados [2].

92 Los hidrocarburos totales de petróleo (HTP) son  
93 contaminantes hidrófobos recalcitrantes, que forman parte de  
94 mezclas complicadas de alifáticos, aromáticos, resinas y  
95 asfáltenos. Los sitios contaminados con HTP son comunes en  
96 todo el mundo, debido a las actividades de exploración y  
97 refinación de petróleo, derrames de petróleo, fugas de tanques  
98 de almacenamiento subterráneos y escorrentías/descargas  
99 industriales. Los HTP, una vez filtrados al suelo, pueden  
100 afectar las propiedades fisicoquímicas del suelo y alterar el  
101 equilibrio biológico. Además, son altamente tóxicos y se  
102 consideran cancerígenos, lo que representa un riesgo para la  
103 salud humana y el ecosistema [3]. Por lo tanto, los métodos  
104 de tratamiento para suelos contaminados con HTP son  
105 necesarios y han atraído una amplia atención científica  
106 durante las últimas décadas. Se han propuesto diferentes  
107 métodos físicos y químicos para el tratamiento de suelos  
108 contaminados con HTP como el tratamiento térmico [4],  
109 lavado de suelos y procesos de oxidación avanzados. Estas  
110 tecnologías requieren menos tiempo y son muy eficientes,  
111 pero son costosas, perjudiciales para el medio ambiente o  
112 técnicamente complicadas. Por otro lado, las técnicas de  
113 biorremediación se consideran métodos simples, ecológicos  
114 y relativamente económicos para la remediación de  
115 contaminantes orgánicos recalcitrantes [5].

116 Los procesos involucrados en la degradación de las  
117 moléculas de hidrocarburos se han estudiado ampliamente en  
118 una variedad de microorganismos terrestres y modelo

119 mediante varios enfoques que incluyen cromatografía de  
120 gases, cromatografía líquida de alta resolución y ensayos  
121 enzimáticos; recientemente se ha evaluado el uso de hongos  
122 de origen marino y terrestres [6]. Estos estudios han  
123 proporcionado pruebas sólidas sobre la amplia contribución  
124 de los hongos a la metabolización del petróleo crudo atacando  
125 a los n-alcenos, moléculas de cadena larga, que son poco  
126 degradadas por las bacterias [7]. La presencia creciente de  
127 hidrocarburos en los suelos representa una seria amenaza para  
128 la salud humana y el equilibrio ecológico. La contaminación  
129 por hidrocarburos, derivada principalmente de actividades  
130 industriales y derrames accidentales, plantea desafíos  
131 ambientales significativos.

132 Los hongos, como organismos microbianos versátiles, han  
133 demostrado poseer habilidades únicas en la degradación de  
134 hidrocarburos; su capacidad para secretar enzimas  
135 especializadas y adaptarse a entornos contaminados sugiere  
136 un potencial valioso para la remediación ambiental.

137 El uso de hongos autóctonos logra además una eficiencia de  
138 eliminación de contaminantes del 79.7% [8]; algunos hongos  
139 producen ciertas enzimas que se desarrollan como de carácter  
140 lignocelulósico, secretando diversas exoenzimas, tales como:  
141 lacasas, manganoso peroxidasas (MnP) y lignino peroxidasas  
142 (LiP) [9]. Las enzimas lignolíticas despolimerizan la lignina,  
143 un compuesto complejo formado por muchos anillos  
144 aromáticos. La despolimerización de la lignina, así como de  
145 la celulosa, genera compuestos más simples que entonces son  
146 absorbidos por las hifas para su desarrollo y reproducción;  
147 también intervienen diversos procesos del desarrollo del  
148 hongo y la esporulación, la síntesis de melanina y otros  
149 pigmentos y en procesos de patogénesis de plantas y animales  
150 [10].

151 Los hongos, por sus capacidades metabólicas robustas y  
152 diversas, eliminan eficazmente los productos tóxicos y  
153 recalcitrantes como hidrocarburos poliaromáticos,  
154 hidrocarburos clorados, aceites minerales y pesticidas, que se  
155 acumulan en el suelo y juegan un papel importante en la  
156 biorremediación. La biorremediación aprovecha los  
157 microorganismos potenciales para eliminar los contaminantes  
158 acumulados en la naturaleza; en este contexto los hongos son  
159 candidatos potenciales que producen enzimas hidrolizantes  
160 que desempeñan un papel importante en la descomposición de  
161 los materiales de desecho y se adaptan a diferentes  
162 condiciones ambientales, lo que les permite sobrevivir en  
163 diversas condiciones [11].

164 Esta investigación se centra en la exploración de la diversidad  
165 fúngica en suelos contaminados por hidrocarburos, con el  
166 objetivo de identificar especies autoctonas con habilidades  
167 destacadas para la degradación de estos contaminantes.

168 En México, la industria del petróleo ha tenido un impacto  
169 negativo en materia ambiental, ya que ha provocado  
170 contaminación de los mantos freáticos, afectando la  
171 biodiversidad, la fertilidad de los suelos y por consecuencia el  
172 crecimiento de las plantas [12]. Estos siniestros dañan los  
173 suelos agrícolas, provocando un daño económico y social  
174 debido a la inutilización de estos suelos para la producción de  
175 cultivos o ganadería [13]. Actualmente en los municipios de  
176 la zona norte del estado de Veracruz particularmente en  
177 municipios de Poza Rica, Tuxpan, Panuco, Álamo existe una

178 alta contaminación derivada de la expropiación o búsqueda  
179 de pozos petrolíferos [14].

180 Los compuestos hidrocarbonados aromáticos policíclicos  
181 están en la lista de contaminantes de prioridad, por su  
182 ubicuidad en el medio ambiente, toxicidad, mutagenicidad y  
183 carcinogenicidad [15]. Por lo tanto, es importante encontrar  
184 alternativas para eliminar estos compuestos; en este sentido,  
185 los microorganismos autóctonos presentes en ambientes  
186 contaminados son la clave para resolver la mayoría de los  
187 desafíos asociados con la biodegradación y la  
188 biorremediación de sustancias contaminantes [16]. Los  
189 hongos tienen la habilidad de degradar compuestos  
190 persistentes, como los hidrocarburos, ya que produce enzimas  
191 extracelulares que catalizan reacciones que degradan la  
192 lignina [13]. El interés de este trabajo se centra en la  
193 bioprospección de hongos que proliferan en presencia de  
194 hidrocarburos, los cuales pueden ser utilizados en un futuro  
195 como una alternativa de biorremediación.

### 196 Método

197 La zona de estudio se encuentra en las coordenadas  
198 20°57'54.0"N 97°35'47.9"W que se localiza en la comunidad  
199 de Villa Hermosa Álamo Veracruz. En la figura 1 se observa  
200 una mancha de color oscuro es la perforación realizada por la  
201 compañía PEMEX en la propiedad del Sr. José Bautista  
202 (Figura 1). En la tabla 1, se presentan los valores de referencia  
203 de las propiedades fisicoquímicas del suelo analizado.

204 Fig. 1. Zona de estudio contaminado de petróleo crudo.



205 Fuente: elaboración propia

206 Estas determinaciones se basaron en la Norma oficial  
207 Mexicana NOM-21-RECNAT-2000, la cual establece las  
208 especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de  
209 suelos. Estudios, muestreo y análisis.

210 **Tabla1.** Propiedades fisicoquímicas del suelo.

211 Parámetro	212 concentración
213 pH	214 5.9
215 Materia orgánica (%)	216 1.72
217 Carbono Orgánico (%)	218 0.99
219 Carbono Total (%)	220 2.17
221 Nitrógeno Total (%)	0.2
C/N	4.9
Conductividad eléctrica (mS/cm)	0.11
P Olsen (mg/kg)	4.9
K (cmol/kg)	0.4
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.0
Arcilla (%)	42.3
Limos (%)	31.1
Arenas (%)	26.6
Fe (mg/kg)	18.2
Cu (mg/kg)	0.5
Zn (mg/kg)	2.3
Mn (mg/kg)	1.4

222 **Aislamiento e identificación de las cepas del suelo**

223 Para el aislamiento de los hongos se utilizó la técnica de  
 224 diluciones seriadas, que consistió en pesar 10g de suelo y  
 225 colocar en un matraz Erlenmeyer de 250 mL con 100 mL de  
 226 agua destilada, se agitó y se tomó 1mL de la mezcla con una  
 227 micropipeta y se procedió a pasar a un tubo de ensayo con  
 228 9mL de agua destilada y así sucesivamente hasta tener una  
 229 disolución 10<sup>5</sup>. Posteriormente, se tomó 1mL de cada dilución  
 230 y se sembraron por triplicado en medio de papa dextrosa agar  
 231 PDA (pH 7). Las cajas se incubaron a 25°C. Una vez que  
 232 emergieron las colonias se purificaron en medio de PDA (pH  
 233 7). Las cepas aisladas se caracterizaron macroscópicamente  
 234 por las características de sus colonias y se identificaron a nivel  
 235 de género con la ayuda de un microscopio compuesto y de  
 236 literatura especializada [17; 18; 19 y 20].

237  
 238 **Efecto de diferentes concentraciones de petróleo crudo  
 239 sobre el crecimiento de las cepas aisladas.**

240 Se prepararon placas petri con medio de papa dextrosa agar  
 241 (PDA) y medio mineral. Para preparar el medio mineral se  
 242 adicionó NaCl (0.5 g /L), (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.1 g /L), NaNO<sub>3</sub> (0.2  
 243 g /L), MgSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O (0.025 g /L), K 2 HPO<sub>4</sub> 3H<sub>2</sub>O (1.0 g /L)  
 244 y KH<sub>2</sub> PO<sub>4</sub> (0.4 g /L) y 20 gr de agar, pH 7.0. Ambos medios  
 245 se les adicionó 2% de petróleo crudo y se utilizó un  
 246 tratamiento control (0% de petróleo crudo).

247 Se inocularon diez cepas en PDA y medio mineral (0%, 2%,  
 248 por triplicado siguiendo la metodología de Fernández [21].  
 249 Las cepas se incubaron a 28°C y se les midió el diámetro de la  
 250 colonia durante 10 días. Posteriormente se calcularon los  
 251 porcentajes de inhibición con la siguiente fórmula:  
 252 %IM=(CML-CMI)/CML\*100

253 Donde:

254 %IM= Porcentaje de inhibición

255 CML = Crecimiento micelial libre (cm)

256 CMI = Crecimiento micelial influido (cm)

257  
 258 Las cepas que mostraron menor porcentaje de inhibición o una  
 259 mayor resistencia al petróleo se colocaron nuevamente en  
 260 placas con PDA y medio mineral a diferente concentración de  
 261 petróleo crudo (10%, 20%, 30%, 40% y 50%). En estas se  
 262 registraron las características morfológicas de las colonias  
 263 mediante el estereoscopio. Posteriormente se evaluó la  
 264 tolerancia mediante la reducción en el número de esporas en  
 265 medio sólido mineral al 2% con un control sin petróleo crudo.  
 266 Esta se llevó a cabo con la ayuda de una cámara de newbauer.  
 267 Adicionalmente se analizó la tolerancia en medio líquido de  
 268 papa dextrosa y medio mineral adicionados con 0% (control),  
 269 2%, 4% y 6% de petróleo crudo durante 21 días. En este caso,  
 270 la degradación se analizó visualmente a través del color de  
 271 medio.

272  
 273 **2. CONTENIDO**

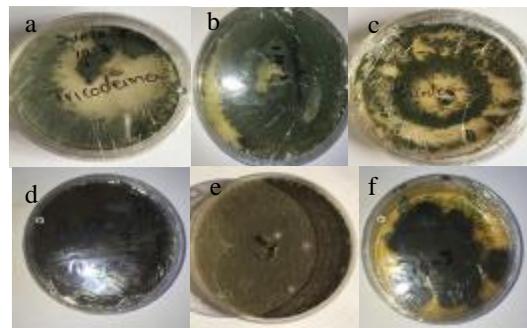
274 **2.1 Resultados**

275 **Aislamiento y caracterización de las cepas**

276 En total se aislaron 22 cepas de hongos del suelo contaminado  
 277 por hidrocarburos, clasificadas de acuerdo con sus  
 278 características morfológicas expresadas en los medios de  
 279 cultivo. En la figura 2 se presentan algunas cutivos de las

280 cepas aisladas, donde se observan su color y forma de la  
 281 colonia.

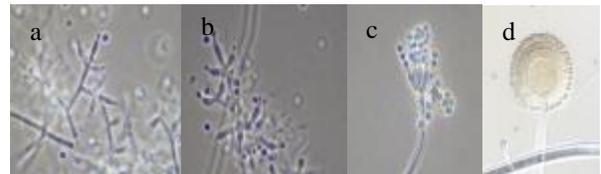
282  
 283 Fig. 2. Colonias de cepas aisladas a, b y c) *Trichoderma sp4*; d)  
 284 *Aspergillus niger*, e y f) *Penicillium sp3*.



285  
 286  
 287  
 288  
 289  
 290  
 291  
 292  
 293  
 294  
 295  
 296 Fuente: elaboración propia

297  
 298 De las 22 cepas aisladas, 17 cepas se ubicaron en el género  
 299 *Trichoderma*, tres cepas pertenecen al género *Penicillium* y  
 300 dos cepas al género *Aspergillus*. En la figura 3 se observan  
 301 algunas de las características microscópicas de tres géneros  
 302 observados.

303  
 304 Fig. 3. Estructuras microscópicas de los géneros de las cepas  
 305 detectadas: a y b) *Trichoderma*; c) *Penicillium* y d) *Aspergillus*.

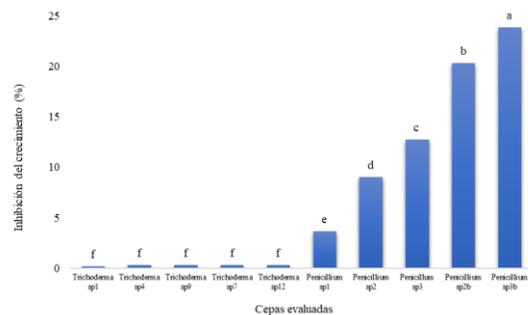


306  
 307  
 308  
 309  
 310  
 311  
 312  
 313 Fuente: elaboración propia

314 **Efecto de diferentes concentraciones de petróleo crudo  
 315 sobre el crecimiento de las cepas aisladas de suelo con  
 316 hidrocarburos**

317 En medio sólido, las cepas que presentaron menor inhibición  
 318 en el desarrollo micelial fueron *Trichoderma sp4*,  
 319 *Trichoderma sp7*, *Trichoderma sp1*, *Trichoderma sp11*,  
 320 *Trichoderma sp9*. La cepa *Penicillium sp3* mostró una mayor  
 321 inhibición en su desarrollo micelial (23.93%). Es importante  
 322 señalar que ninguna de las cepas evaluadas se inhibió  
 323 completamente su crecimiento micelial (Figura 4).

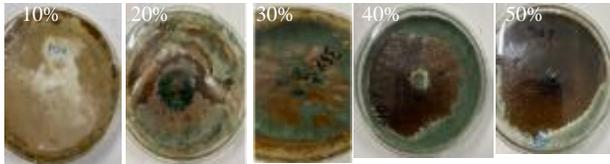
324  
 325 Fig. 4. Inhibición del crecimiento micelial de diez cepas de hongos  
 326 aisladas de suelo contaminado con hidrocarburos.



327  
 328  
 329  
 330  
 331  
 332  
 333  
 334  
 335  
 336  
 337  
 338 Fuente: elaboración propia

339 La cepa *Trichoderma* sp12 creció en medio de PDA con  
 340 petróleo crudo al 10%, 20%, 30%, 40% y 50%. Bajo estas  
 341 condiciones se observó la producción de micelio algodonoso  
 342 en 10% de petróleo y producción de conidios en el medio con  
 343 20-50 % de petróleo crudo. En las placas con 20% y 30% la  
 344 producción de conidios se extendió en toda la caja, sin  
 345 embrago, en las placas de 40% y 50% la producción de  
 346 conidios se limitó a las orillas de la caja Petri (Figura 5).

347  
 348 Fig. 5. Inhibición del crecimiento micelial de diez cepas de hongos  
 349 en medio de cultivo con petróleo crudo a 10, 20, 30, 40 y 50%.



350  
 351  
 352  
 353  
 354  
 355  
 356 Fuente: elaboración propia

357 Si bien se observó producción de conidios en las cepas de  
 358 *Trichoderma*, en la cuantificación de conidios en cámara de  
 359 Neubauer se observa que las cepas de *Penicillium* sp1,  
 360 *Penicillium* sp2, *Penicillium* sp3 se ven menos reducidas en el  
 361 número de esporas que las cepas de *Trichoderma* sp1,  
 362 *Trichoderma* sp4, *Trichoderma* sp9, *Trichoderma* sp7 y  
 363 *Trichoderma* sp12 (Tabla 2).

364  
 365 En el medio líquido se pudo detectar de manera visual la  
 366 degradación del hidrocarburo en presencia de las cepas de  
 367 *Trichoderma* y *Penicillium* en comparación con el tratamiento  
 368 testigo (sin hongo) a los 25 días. En el caso de *Trichoderma*  
 369 sp2 se observa una reducción del hidrocarburo en la  
 370 concentración de 2, 4 y 6%, mientras que en el caso de  
 371 *Penicillium* sp1 se observa en la concentración del 4 y 6%  
 372 (Figura 6 y 7).

373  
 374  
 375 Tabla 2. Número de esporas contabilizadas en el medio control y en  
 376 el medio con 2% de petróleo crudo de diez cepas evaluadas.

Cepa	Número de esporas en medio control	Número de esporas en medio con 2% de petróleo	Diferencia
<i>Trichoderma</i> sp 1	3,240,000	37,000	3,203,000
<i>Trichoderma</i> sp4	3,000,000	30,200	2,969,800
<i>Trichoderma</i> sp9	2,700,000	31,000	2,669,000
<i>Trichoderma</i> sp7	2,060,000	28,200	2,031,800
<i>Trichoderma</i> sp12	1,610,000	41,200	1,568,800
<i>Penicillium</i> sp1	1,480,000	16,800	1,463,200
<i>Penicillium</i> sp2a	1,470,000	13,200	1,456,800
<i>Penicillium</i> sp3b	1,260,000	14,000	1,246,000
<i>Penicillium</i> sp2b	1,150,000	15,200	1,134,800
<i>Penicillium</i> sp3b	1,140,000	14,400	1,125,600

377  
 378  
 379  
 380  
 381  
 382  
 383  
 384  
 385  
 386  
 387  
 388  
 389  
 390  
 391  
 392  
 393  
 394  
 395 Fuente: elaboración propia

396 Fig. 6. Frascos con petróleo crudo a diferentes concentraciones A y  
 397 B a 2%, C y D 4%; E y F 6% inoculado con *Trichoderma* sp2 y  
 398 *Penicillium* sp1 después de 25 días.



400  
 401  
 402  
 403  
 404 Fuente: elaboración propia

405  
 406  
 407 Fig. 7. Frascos con petróleo crudo a diferentes concentraciones A y  
 408 B a 2%, C y D 4%; E y F 6% inoculado con *Trichoderma* sp2 y  
 409 *Penicillium* sp1 después de 25 días.



410  
 411  
 412  
 413  
 414  
 415  
 416  
 417  
 418 Fuente: elaboración propia

## 419 2.2 Discusión

420 Los primeros estudios donde se aborda la temática del  
 421 crecimiento de hongos en hidrocarburos se realizaron  
 422 utilizando parafina como sustrato, misma que fue utilizada  
 423 por los hongos como fuente de carbono [22]. A partir de esta  
 424 fecha, diversos estudios reportan el crecimiento de hongos y  
 425 levaduras en diferentes medios con hidrocarburos. En este  
 426 trabajo, los géneros aislados del suelo contaminado con  
 427 hidrocarburos fueron *Aspergillus*, *Penicillium* y  
 428 *Trichoderma*; sin embargo, el mayor número de cepas  
 429 aisladas fueron de *Trichoderma*. Estos géneros, han sido  
 430 reportados como hongos cosmopolitas de distribución  
 431 mundial [23].

432 En diversos estudios [24, 25, 26] de meta-análisis pudieron  
 433 constatar que los géneros que aparecieron con mayor  
 434 frecuencia en el crudo y sus derivados fueron *Penicillium*,  
 435 *Aspergillus* y *Fusarium*, seguidos por *Rhizopus*, *Trichoderma*  
 436 y *Acremonium* todos estos pertenecientes al Phylum  
 437 Ascomycota. La posible explicación de la dominancia de  
 438 hongos del Phylum Ascomycota es que la mayoría de estos  
 439 son habitantes comunes de suelo, por lo cual están  
 440 continuamente expuestos a este tipo de contaminantes y que  
 441 algunos son capaces de sintetizar enzimas oxidativas  
 442 extracelulares del sistema de degradación de lignina, tales  
 443 como lacasa, lignina peroxidasa y manganeso peroxidasa  
 444 relacionados con la degradación de hidrocarburos [27]. Los  
 445 integrantes del Phylum Ascomycota han demostrado poseer  
 446 una plasticidad genética es decir que un determinado  
 447 genotipo pueda cambiar y producir diferentes fenotipos  
 448 debido a su exposición a factores bióticos y abióticos.  
 449 Aunque son numerosas las especies de hongos aisladas en  
 450 suelos contaminados, no todas tienen la capacidad de  
 451 degradar hidrocarburos, de ahí la importancia de realizar  
 452 ensayos *in vitro* con diferentes concentraciones de crudo y  
 453 verificar su capacidad para degradarlos. [28] aislaron 64  
 454 especies de hongos filamentosos en un suelo contaminado

455 con crudo, sin embargo, solamente 6 mostraron habilidad para  
 456 degradar hidrocarburos.  
 457 En este estudio, a partir de diez cepas, se verificó que solo  
 458 cinco cepas del género *Trichoderma* no fueron inhibidas en su  
 459 crecimiento micelial (menos del 5%) y cinco cepas de  
 460 *Penicillium*, se inhibieron en un 25% con respecto a su testigo;  
 461 sin embargo, el número de conidios en las cepas de  
 462 *Penicillium* se redujeron en menor medida que las cepas de  
 463 *Trichoderma* bajo las diferentes concentraciones del crudo,  
 464 esto podría ser como resultado de la respuesta de la  
 465 sobrevivencia por parte de las cepas de *Penicillium* ante el  
 466 efecto negativo del crudo. Es importante señalar que los  
 467 resultados obtenidos fueron similares tanto en PDA como en  
 468 el medio mínimo mineral y concuerdan con lo detectado por  
 469 Fernández [21]; no obstante, se recomienda realizar más  
 470 pruebas en medios mínimos para verificar que el hongo está  
 471 utilizando los hidrocarburos como fuente de carbono y no los  
 472 del medio de cultivo. A pesar de esto, en el ensayo realizado  
 473 en frascos con diferentes concentraciones de hidrocarburo se  
 474 puede constatar visualmente el cambio de coloración oscuro  
 475 por la presencia del crudo a casi hialino en presencia de las  
 476 cepas *Trichoderma* y *Penicillium* sin embargo fue más  
 477 evidente en *Trichoderma* la encapsulación del crudo. Este  
 478 resultado se corrobora con el estudio de Argumedo [29] quien  
 479 confirmó la capacidad de *Trichoderma harzianum* para tolerar  
 480 y sobrevivir a los medios de cultivo contaminados con  
 481 petróleo crudo; dicho autor enfatiza que los hongos de este  
 482 género son capaces de mineralizar y degradar hidrocarburos  
 483 poliaromáticos.  
 484 Resulta interesante relacionar la presencia de *Trichoderma* y  
 485 *Penicillium* en un suelo contaminado y ácido. Arias et al [30]  
 486 en un estudio de hongos del suelo en cafetales con diferente  
 487 tipo de manejo, señalan una preferencia de *Penicillium* para  
 488 proliferar en suelos con mayor acidez y de *Trichoderma* en  
 489 suelos con mayor manejo agrícola.  
 490 Los hongos ofrecen ventajas en la biorremediación, como su  
 491 capacidad para formar redes miceliales extendidas  
 492 (suministrando el movimiento de nutrientes entre regiones  
 493 espacialmente separadas y para transportar contaminantes  
 494 orgánicos hidrofóbicos) y su independencia del uso de  
 495 contaminantes como sustrato para su crecimiento. En este  
 496 sentido es sumamente importante utilizar cepas de hongos  
 497 autóctonos para la degradación de los hidrocarburos en los  
 498 suelos. Ossai [8] recomienda el uso de hongos autóctonos para  
 499 lograr una mayor eficiencia de eliminación de contaminantes.  
 500 La optimización de las condiciones ambientales, como la  
 501 temperatura, pH y concentración de nutrientes, es esencial  
 502 para maximizar la eficiencia de los hongos en la  
 503 biodegradación de hidrocarburos. Así que es importante  
 504 realizar estudios adicionales para entender y controlar los  
 505 factores que influyen en la actividad fúngica. Los resultados  
 506 obtenidos de la bioprospección de hongos tienen aplicaciones  
 507 prácticas en la remediación de suelos contaminados por  
 508 derrames de hidrocarburos y la implementación de técnicas  
 509 basadas en hongos puede ser una opción rentable y sostenible  
 510 en comparación con métodos convencionales, ofreciendo una  
 511 solución ambientalmente amigable.  
 512 A pesar de los avances, existen grandes desafíos como la  
 513 adaptación de hongos a condiciones específicas y la

514 escalabilidad de los procesos. Se necesitan más  
 515 investigaciones para abordar estos desafíos, así como para  
 516 explorar nuevas especies fúngicas con capacidades  
 517 mejoradas de biodegradación. De manera general, la  
 518 bioprospección de hongos en suelos contaminados por  
 519 hidrocarburos representa una herramienta valiosa y  
 520 prometedora para la remediación ambiental. A medida que se  
 521 avanza en el conocimiento de la interacción de los hongos  
 522 con los contaminantes, se podrán desarrollar estrategias más  
 523 efectivas y sostenibles para preservar y restaurar la salud de  
 524 nuestros ecosistemas. A través de este proceso, se han  
 525 identificado numerosas especies de hongos con habilidades  
 526 únicas para degradar compuestos orgánicos presentes en los  
 527 hidrocarburos, convirtiéndolos en productos menos tóxicos.  
 528 La producción de enzimas específicas, como las oxidasas y  
 529 las hidrolasas, ha demostrado ser clave en la capacidad de  
 530 estos organismos para descomponer compuestos tóxicos,  
 531 ofreciendo un enfoque natural y sostenible para la limpieza  
 532 de suelos.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

533 La investigación en la bioprospección de hongos en este  
 534 trabajo revela un gran número de especies con capacidades  
 535 para degradar hidrocarburos presentes en el suelo  
 536 contaminado de la zona. Este hallazgo ofrece oportunidades  
 537 para desarrollar estrategias de remediación. Se concluye el  
 538 uso potencial de las cepas de *Trichoderma* como buenos  
 539 candidatos en la biorremediación y se recomienda realizar  
 540 análisis de sus metabolitos y estudios para tratar de  
 541 comprender los mecanismos de degradación de los  
 542 hidrocarburos con el fin de enfocar los resultados en  
 543 oportunidades para la recuperación de suelos contaminados  
 544 por hidrocarburos en la zona de estudio.

#### 3.1 Observaciones generales

545 Esta publicación fue financiada con recurso institucional del  
 546 fondo de consolidación para Cuerpos Académicos 2023, de  
 547 la Dirección General de Desarrollo Académico e Innovación  
 548 Educativa de la Universidad Veracruzana.

### 4. REFERENCIAS

- 549 [1] Liu. “Annual dynamics of global land cover and its long-  
 550 term changes from 1982 to 2015”, Panagea., pp. 1-  
 551 3, 2020.  
 552 [2] Quispe Yupanqui, D. J. “Revisión bibliográfica del uso  
 553 de hongos para la biorremediación de suelos  
 554 contaminados por metales pesados”, Tesis de grado  
 555 Universidad Cesar Vallejo, Perú, 2021.  
 556 [3] Pinedo Ramírez, J. D., Sandoval García, J. F. “Revisión  
 557 bibliográfica del uso de hongos en la  
 558 biorremediación de suelos contaminados por  
 559 agroquímicos”, Tesis de grado, Universidad Cesar  
 560 Vallejo, Perú, 2020.  
 561 [4] Armendariz, A. D. “Propuesta para el tratamiento de  
 562 residuos derivados de la fitorremediación de suelos  
 563 contaminados por metales pesados”, Tesina,  
 564 Universidad Autónoma Del Estado de Morelos,  
 565 2022.

- 573 [5] Shingh, P. "The importance of alternative splicing in  
574 adaptive evolution", *Molecular Ecology.*, 31(7),  
575 pp.1928-1938, 2022.
- 576 [6] Masís-Ramos, S., Meléndez-Navarro, P., Méndez-  
577 Rodríguez, E. "Potencial biotecnológico de los  
578 hongos marinos en las zonas costeras de Costa Rica",  
579 *Revista Tecnología en Marcha.*, 34(2), pp. 48-59,  
580 2021.
- 581 [7] Cecibel, J. V. V. "Evaluación de bacterias y hongos  
582 potencialmente utilizables para la biorremediación  
583 de suelos contaminados por hidrocarburos",  
584 Doctoral dissertation, Universidad Agraria Del  
585 Ecuador, 2020.
- 586 [8] Ossai, I. C. "Remediation of soil and water contaminated  
587 with petroleum hydrocarbon", *Technology and  
588 Innovation*, 17, 2020.
- 589 [9] Carrara, X., Arena, M. "Bacterias y hongos con potencial  
590 biodegradador de hidrocarburos en diversos  
591 ambientes", *Microbiología ambiental en México.*,  
592 pp. 246-263, 2017.
- 593 [10] Khan, M. A. "Microbial diversity changes with  
594 rhizosphere and hydrocarbons in contrasting soils",  
595 *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156, pp.  
596 434-442, 2018.
- 597 [11] Shingh, P. "The importance of alternative splicing in  
598 adaptive evolution". *Molecular Ecology*, pp. 1928-  
599 1938, 2022.
- 600 [12] Benites, A. M. J., Méndez, J. F. R. "Biorremediación de  
601 Agua y Suelo Contaminados por Residuos Orgánicos  
602 de Petróleo en Iquitos", *Ciencia Latina Revista  
603 Científica Multidisciplinar.*, 7(5), pp. 7936-7968,  
604 2023.
- 605 [13] Ramírez, A. T. O., López, C. A. T., Marrufo, O. S.,  
606 Barriga, L. A. M. "Validación sintética de suelos  
607 contaminados por hidrocarburos pesados. Caso de  
608 estudio" *El reventón energético.*, 21(1), pp. 83-93,  
609 2023.
- 610 [14] Ezquível, I. "México, contaminación de suelo y agua por  
611 derrames no remediados", *Diario Reforma.*, pp. 3-4,  
612 2019.
- 613 [15] Tang, J. "Aging effect of petroleum hydrocarbons in soil  
614 under different attenuation conditions", *Agriculture,  
615 Ecosystems and Environment.*, pp. 109-117, 2012.
- 616 [16] Acevedo, D. "Hongos en la Biorremediación", *Ecología  
617 Ambiental.*, pp. 89-90, 2015.
- 618 [17] Houbraken, J., Kocsubé, S., Visagie, C. M., Yilmaz, N.,  
619 Wang, X. C., Meijer, M. Frisvad, J. C.  
620 "Classification of *Aspergillus*, *Penicillium*,  
621 *Talaromyces* and related genera (Eurotiales): An  
622 overview of families, genera, subgenera, sections,  
623 series and species", *Studies in Mycology.*, 95, pp. 5-  
624 169, 2020.
- 625 [18] Samiksha, Kumar, S. "Molecular taxonomy, diversity,  
626 and potential applications of genus *Fusarium*", In  
627 *Industrially Important Fungi for Sustainable  
628 Development: Volume 1: Biodiversity and  
629 Ecological Perspectives*, Cham: Springer  
630 International Publishing., pp. 277-293, 2021.
- 631 [19] Pitt, J. I., Hocking, A. D. "*Aspergillus* and related  
632 teleomorphs", In *Fungi and food spoilage* Cham:  
633 Springer International Publishing., pp. 351-439,  
634 2022.
- 635 [20] Asis, A., Shahriar, S. A., Naher, L., Saallah, S., Fatihah,  
636 H. N. N., Kumar, V., Siddiquee, S. "Identification  
637 patterns of *Trichoderma* strains using  
638 morphological characteristics, phylogenetic  
639 analyses and lignocellulolytic activities", *Molecular  
640 biology reports.*, 48, pp. 3285-3301, 2021.
- 641 [21] Fernandez, G. "Biorremoción de petróleo crudo  
642 mediante cepas de hongos nativos, aislados de  
643 tiraderos de hidrocarburos del Distrito de Cerro  
644 Colorado (Arequipa) y determinación de su  
645 toxicidad mediante bioensayo con *Daphnia pulex*",  
646 Facultad de Ingeniería de Procesos., pp. 41-46,  
647 2021.
- 648 [22] Adetunji, C. O., Anani, O. A., Panpatte, D. "Mechanism  
649 of actions involved in sustainable ecorestoration of  
650 petroleum hydrocarbons polluted soil by the  
651 beneficial microorganism", *Microbial Rejuvenation  
652 of Polluted Environment.*, 2, pp. 189-206, 2021.
- 653 [23] Allende-Molar, R., Báez-Parra, K. M., Salazar-Villa, E.,  
654 Rojo-Báez, I. "Potencial de utilización en la  
655 agricultura", *Tropical and Subtropical  
656 Agroecosystems.*, 25, pp. 088, 2022.
- 657 [24] Toro, M. A. T., Quirama, J. F. R. "Biorremediación en  
658 suelos contaminados con hidrocarburos en  
659 Colombia", *Revista de investigación agraria y  
660 ambiental.*, 3(2), pp. 37-48, 2012.
- 661 [25] Rico-Cerda, J. L., Mondragón-Reynel, P. G., Sánchez-  
662 Yáñez, J. M. "Recuperación de un suelo  
663 contaminado por una mezcla de hidrocarburos",  
664 *Journal of the Selva Andina Research Society.*,  
665 11(2), pp. 75-83, 2020.
- 666 [26] Al-Nasrawi, H. A. "Biodegradation of Crude Oil by  
667 Fungi Isolated from Gulf of México", *Journal of  
668 Bioremediation and Biodegradation.*, pp. 3-4, 2012.
- 669 [27] Di Clemente, N. A. "Remediación de un suelo  
670 crónicamente contaminado con hidrocarburos  
671 policíclicos aromáticos (PAH) combinando la  
672 oxidación química y la inoculación de un hongo  
673 ligninolítico", Doctoral dissertation, Universidad  
674 Nacional de La Plata, 2021.
- 675 [28] Flores-Pantoja, L. E., Briseño-Silva, E., Loeza-Lara, P.  
676 D., Jiménez-Mejía, R. "Actividad antifúngica y  
677 características de promoción de crecimiento vegetal  
678 de *Pseudomonas aeruginosa* y *Enterobacter* sp.  
679 degradadoras de hidrocarburos aisladas de suelo  
680 contaminado". *Acta Biológica Colombiana.*, 27(3).,  
681 pp. 366-376, 2022.
- 682 [29] Argumedo, R. A. "Tolerance and growth of 11  
683 *Trichoderma* strains to crude oil, naphthalene,  
684 phenanthrene and benzo[a]pyrene", *Environ  
685 Manage.*, pp. 291-299, 2012.
- 686 [30] Arias, R. M., Heredia, G. "Fungal diversity in coffee  
687 plantation systems and in a tropical montane cloud  
688 forest in Veracruz, Mexico". *Agroforestry systems.*,  
689 88, pp. 921-933, 2014.