







## Micobiota en la piel de anuros de la cuenca del río Coatán, Chiapas, México

### Fungi on the skin of anurans from Coatan river watershed, Chiapas, Mexico

Leidy Yadira Mejía-Velázquez<sup>1</sup> ,  
Edgar Tovar-Juárez<sup>3\*</sup> ,  
Dory Gledis Ramos-Pérez<sup>2</sup> ,  
Víctor Albores-Flores<sup>2</sup> ,  
Yaneth Estrada-Santos<sup>1</sup> ,  
Jalsen I. Teco-Bravo<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chiapas. Coordinación de la Licenciatura de Ingeniero en Sistemas Costeros. Calzada Las Escolleras s/n, CP. 30830. Puerto Madero, Chiapas, México.

<sup>2</sup>Instituto de Biociencias, Universidad Autónoma de Chiapas. Blvd. Príncipe Akishino s/n, Solidaridad 2000, CP. 30798. Tapachula de Córdova y Ordoñez, Chiapas, México.

\*Autor de correspondencia: [edgar.tovar@unach.mx](mailto:edgar.tovar@unach.mx)

#### Artículo científico

**Recibido:** 28 de febrero 2022

**Aceptado:** 30 de junio 2022

**Como citar:** Mejía-Velázquez LY, Tovar-Juárez E, Ramos-Pérez DG, Albores-Flores V, Estrada-Santos Y, Teco-Bravo JI (2022) Micobiota en la piel de anuros de la cuenca del río Coatán, Chiapas, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(2): e3300. DOI: 10.19136/era.a9n2.3300

**RESUMEN.** Como consecuencia del cambio de uso de suelo, las poblaciones de anfibios han sido amenazadas por una especie de hongo patógeno, pero existen otras especies de hongos potencialmente mortales de las que poco se sabe de ellos. Las cuencas del estado de Chiapas han sido alteradas y las especies de anuros pueden estar expuestas a hongos patógenos, por ello, el objetivo del trabajo fue determinar la presencia y riqueza de hongos en la dermis de anuros de la cuenca del río Coatán, Chiapas, México. Se recolectaron 90 individuos de siete especies de anuros de las zonas baja, media y alta de la cuenca. Se obtuvieron fragmentos de piel del dorso y vientre de cada individuo y se cultivaron en medios PDA y TGH. La riqueza de especies de hongos y las variables ambientales se compararon entre zonas. Se identificaron 24 especies en siete especies de anuros. La zona baja presentó la mayor riqueza de especies, el mayor número de especies por hospedero y en el tejido ventral el mayor número de especies. La composición de especies de la zona media difirió de otras zonas. Ambientalmente las tres zonas fueron diferentes. Algunos géneros de hongos son patógenos de anfibios, reptiles o plantas; no se observaron individuos enfermos o muertos en campo. El cambio de uso de suelo favorece la presencia de hongos en la piel de los anuros, y estos pueden ser dispersores naturales patógenos para otras especies incluyendo de uso agrícola, aspecto que debe considerarse para investigaciones futuras.

**Palabras clave:** Anfibios, cuenca hidrográfica, hongos imperfectos, ranas, sureste de México.

**ABSTRACT.** As a result of the land use change, amphibian populations have been threatened by a species of pathogenic fungus, but there are other species of potentially mortal fungi about which little is know The watersheds of Chiapas coast have been severely altered, and several species of anurans are exposed to pathogenic fungi, therefore the aim of this work was determine the richness fungal species on the skin of anurans from the Coatan river watershed in Chiapas, Mexico. A total of 90 individuals of different species of anurans were collected from lower, middle and upper zones of the watershed. Skin fragments from dorsum and belly of each individual were dissected and cultured in PDA y TGH medium, isolated and identified to species level when it was possible. Differences between composition of fungi species and environmental variables of each watershed zones were analyzed. A total of 24 fungi species were identified in seven anuran species from different habitat; in the Lower zone, the highest fungi species richness, the highest species number per host and higher species number in the ventral tissue were found. The species composition was different at the middle zone, and all zones were environmentally different. Some fungi genera found here have been reported as pathogens of amphibians, reptiles or plants, no sick or death individuals were observed. Agriculture activities promote the presence of fungi on anurans skin, an these can be natural dispersers of pathogenic fungi for several species including those of agricultural importance.

**Key words:** Amphibians, watershed, imperfect fungi, frogs, mexican southeast.

## INTRODUCCIÓN

El surgimiento de enfermedades infecciosas emergentes en seres humanos, plantas y fauna silvestre ha acaparado la atención de especialistas en salud pública y de la conservación de la biodiversidad a nivel mundial. La aparición de estas enfermedades se ha asociado con el cambio climático global, el cual ha alterado las condiciones ambientales y con ello la relación parásito-huésped favoreciendo a los primeros, incrementando su incidencia, capacidad infecciosa y propagación (Mendoza-Almeralla *et al.* 2015, Herath *et al.* 2021). Los anfibios han sido uno de los grupos taxonómicos más afectados por las enfermedades infecciosas emergentes, sobre todo las causadas por hongos (Daszak *et al.* 2004, Mendoza-Almeralla *et al.* 2015). Sus características anatómicas como su delgada piel y alta dependencia a las condiciones ambientales los hacen altamente susceptibles (Johnson y Speare 2005, Wells 2007).

Para evitar el crecimiento de organismos patógenos en su piel, los anfibios secretan péptidos, aminas biogénicas, alcaloides entre otros compuestos (Cortázar-Chinarro *et al.* 2020), además tienen una comunidad microbiana como línea de defensa contra patógenos (Rollins-Smith 2020). Para muchas especies esta estrategia no es suficiente ya que, en las últimas décadas, alrededor del mundo, las poblaciones de cientos de especies se han reducido acercándolas a su extinción (Thumsová *et al.* 2021). La quitridiomycosis, es una enfermedad provocada por el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis*, que se desarrolla en las células de la piel de los anfibios, alterando su permeabilidad lo que provoca su muerte (Mendoza-Almeralla *et al.* 2015, Russo *et al.* 2018, Rollins-Smith 2020).

Los trabajos sobre hongos patógenos en anfibios en México se han enfocado en determinar la presencia y prevalencia principalmente de *B. dendrobatidis* y la quitridiomycosis (García-Feria *et al.* 2019, Hernández-Martínez *et al.* 2019, Bolom-Huet *et al.* 2019). Pero poco se ha documentado sobre otros géneros de hongos potencialmente patógenos como *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Mucor* y *Cladosporium* que desarrollan enfermedades

como dermatitis micótica, cromomycosis, mucormycosis y queratitis potencialmente mortales por sí mismas o interaccionan con otros parásitos, generando coinfecciones con consecuencias también mortales (Mendoza-Henao *et al.* 2012, Herczeg *et al.* 2021).

El cambio de uso de suelo ha alterado la relación natural de las variables ambientales, incrementado la presencia y el desarrollo de hongos patógenos en México (Mendoza-Almeralla *et al.* 2015). Los cambios en la temperatura ambiental, salinidad, humedad, pH del suelo (por el uso de agroquímicos como el sulfato de amonio, el nitrato de amonio y la urea que aumentan la acidez del suelo), y la movilización continua de ganado, benefician el crecimiento y dispersión de la mayoría de las especies de hongos patógenos (Cingolani *et al.* 2008, Mendoza-Henao *et al.* 2012, Turner *et al.* 2021).

Las cuencas hidrográficas del estado de Chiapas en México han experimentado importantes alteraciones de la estructura y la extensión de la vegetación original para dar paso a actividades de ganadería, agricultura y de urbanización (Cayuela *et al.* 2006, Castro 2010). Por ejemplo, la cuenca del río Coatán, al sureste de este estado, mantiene solo el 17.4% de la vegetación original; en esta cuenca el clima es cálido húmedo, con precipitación que va los 1 500 a los 3 500 mm anuales (SMN 2010), condiciones propicias para el desarrollo tanto de anfibios como de hongos. El conocimiento sobre la incidencia de hongos en anfibios en la región sursureste de México es escaso, los únicos registros que se tienen son los de Cheng *et al.* (2011) quienes reportan a *B. dendrobatidis* y el de Bolom-Huet *et al.* (2019) que describe la distribución potencial del hongo *B. dendrobatidis*, a partir de registros directos de la zona alta de la sierra madre de Chiapas.

Debido a que algunos hongos patógenos pueden incrementar su incidencia en ambientes perturbados (Cingolani *et al.* 2008, Mendoza-Almeralla *et al.* 2015) y desarrollar enfermedades que pueden provocar la muerte en sus hospederos. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la presencia y riqueza de especies de hongos de la dermis de anuros de la cuenca del río Coatán, en el estado de Chiapas, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La cuenca del río Coatán se localiza al oriente de la Sierra Madre del estado de Chiapas y de la Planicie Costera del Pacífico Mexicano (Figura 1). Es una cuenca binacional compartida con Guatemala con una extensión de 733 km<sup>2</sup> de los cuales el 75% se encuentra en territorio mexicano (García-García y Kauffer-Michel 2011) y cuenta con un clima general cálido húmedo con dos temporadas definidas: lluvias, de mayo a octubre y secas, de noviembre a abril (García 2004).

La cuenca presenta tres tipos de relieves: 1) La Sierra Alta Volcánica ocupa el 42.81% del área total. La vegetación predominante es el bosque mesófilo de montaña, el bosque de pino-encino y la pradera de alta montaña, las principales actividades humanas de esta zona son la agricultura y ganadería de autoconsumo (Grajales *et al.* 2008). 2) La Sierra Baja de laderas tendidas y lomeríos, se ubica entre la zona media de la cuenca, ocupa el 35.45% de la superficie. La vegetación característica de esta zona es la selva baja subcaducifolia y la selva mediana perennifolia. La principal actividad humana es el cultivo comercial de café de sombra, y la agricultura y ganadería de autoconsumo (Grajales *et al.* 2008). 3) La llanura costera abarca el 21.74% del área y se ubica en la zona más baja de la cuenca, la mayor parte de la superficie de esta zona está destinada a la agricultura y ganadería intensiva, tanto de temporal como permanente. La vegetación original en esta zona es prácticamente inexistente, en esta zona el cauce principal del río Coatán, atraviesa la ciudad de Tapachula, la segunda más poblada del estado de Chiapas (CNA 2014).

### Recolecta de las muestras

El área de la cuenca del río Coatán se dividió en tres zonas de acuerdo con el tipo de vegetación: zona alta-Sierra Alta Volcánica (ZA), zona media-Sierra Baja (ZM) y zona baja-Llanura costera (ZB). En cada zona se eligió un sitio de muestreo que tuviera actividad humana característica de la zona (ZA: cultivo de maíz, ZM: cultivo de café y ZB: cultivo de

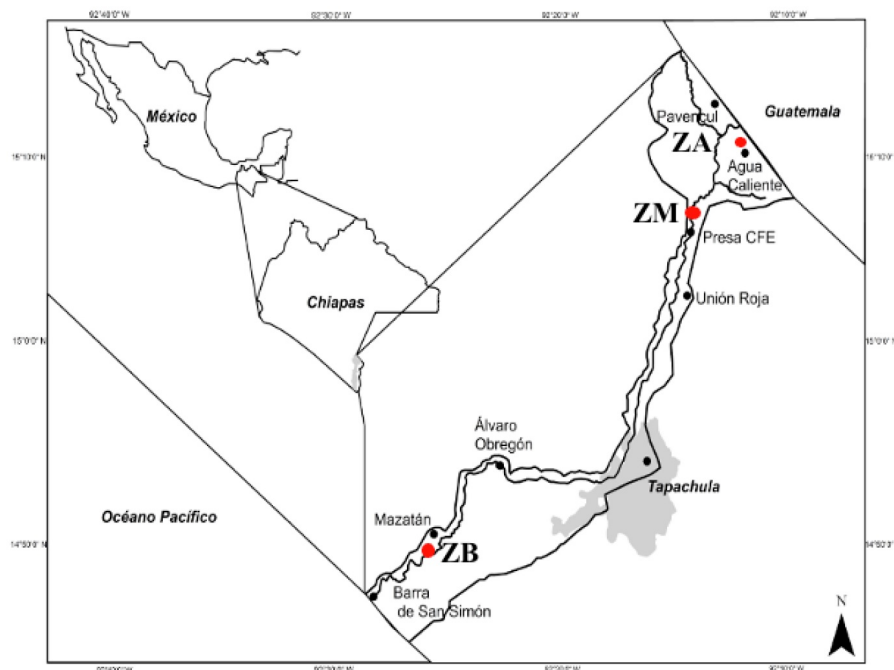
maíz-potrero) y con al menos un arroyo para que la ausencia de agua no fuera un factor limitante para la presencia de anfibios. En cada sitio se recolectaron 10 individuos del orden Anura mediante el método de encuentro visual descrito por Rueda-Almonacid *et al.* (2006). Cada individuo localizado fue manipulado con guantes de látex estériles y colocado de forma individual en bolsas nuevas de polietileno, adicionalmente se registró el tipo de hábitat del individuo (Arborícola, Charca u Hojarasca), así como los valores de temperatura ambiental y humedad relativa mediante una sonda multiparamétrica (Sper-Scientific, 850070), de temperatura del agua con un termómetro de alcohol, el pH de agua con un potenciómetro portátil (Hanna HI 98107) y el pH del suelo con un potenciómetro para suelo. La identificación de las especies se realizó en campo utilizando las claves de identificación de Köhler (2011) y se trasladaron al laboratorio para su procesamiento.

### Aislamiento de hongos

A cada individuo se le aplicó la eutanasia y se enjuagaron con abundante agua destilada. A cada ejemplar se le hicieron cuatro cortes de 1 cm<sup>2</sup>, dos en el vientre y dos en el dorso, los cuales se colocaron individualmente en solución salina débil (DS) (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) y en agitación para el desprendimiento de esporas. Posteriormente se inocularon 100 µL de solución DS tanto del vientre como del dorso en medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA) y se incubaron durante 20 días entre 27 y 30 °C. Este medio se utilizó para favorecer el crecimiento de hongos que no necesariamente fueran patógenos para los anuros. De igual manera se inocularon 100 µL de muestra del vientre y del dorso de cada anfibio en medio de cultivo TGhL y se incubaron durante 21 días entre 17 y 23 °C; este medio se utilizó para el crecimiento de hongos que pudieran estar infectando a los anuros. Cada medio de cultivo fue acondicionado con ácido tartárico (10% p/v) para evitar la proliferación de bacterias.

### Purificación e identificación morfológica de los hongos

La purificación de las cepas se realizó me-



**Figura 1.** Área de la cuenca del río Coatán, los puntos corresponden a los sitios de colecta de los anuros en tres zonas de la cuenca. ZA = zona alta, ZB = zona media, ZB zona baja.

diente la resiembra del micelio en el medio de cultivo correspondiente y su incubación durante 20 días bajo las condiciones arriba mencionadas. La identificación de las cepas se realizó con base en las estructuras microscópicas de los micelios teñidos con azul de lactofenol, observando en un microscopio de contraste de fases, y utilizando las claves de identificación morfológica de Barnett y Hunter (1998) y Kieffer y Morelet (2000). Cuando fue posible reconocer el género, pero no se tuvo certeza de la especie las cepas fueron reconocidas como una unidad taxonómica y se nombraron con el nombre del género y un valor numérico para distinguir entre formas distintas (sp1, sp2).

### Análisis estadístico

Para identificar diferencias en la composición de especies de hongos presentes en los anuros de las distintas zonas de la cuenca, se realizó un análisis de escalas multidimensionales no métricas (nMDS), utilizando el índice de similitud de Sorensen como criterio de clasificación. Los valores de las variables

ambientales fueron normalizados y se realizó un análisis de componentes principales para identificar las variables que contribuyeron en mayor medida en la diferenciación ambiental entre las zonas de la cuenca. Los análisis estadísticos fueron realizados con el software PAST versión 3.14 (Hammer *et al.* 2001).

## RESULTADOS

Se identificaron 14 géneros y 24 especies de hongos (Tabla 1) en la piel de 34 individuos de siete especies de anuros en las distintas zonas de la cuenca del río Coatán. Las especies de anuros identificadas para la ZB fueron: *Craugastor rhodopis*, *Craugastor loki*, *Leptodactylus melanonotus* y *Engystomops pustulosus*; para la ZM: *Smilisca baudinii*, *Lithobates maculatus*, *C. rhodopis*, *C. loki* y para la ZA: *L. maculatus* y *Smilisca cyanosticta*. El mayor número de especies de hongos se encontró en la ZB con 16 especies, seguido de la ZM con 12 especies y la ZA con 11 especies. En la ZB también se encontró

**Tabla 1.** Tabla de presencia-ausencia de los géneros de hongos en diferentes especies de anuros de la cuenca del río Coatán, Chiapas, México. ZB = zona baja, ZM = zona media, ZA = zona alta. Tipo de hábitat de la especie: H = hojarasca, CH = charca, A = arborícola.

Especies de anfibios	ZB		ZM			ZA	
	<i>C. rhodopis</i> H	<i>E. pustulosus</i> CH	<i>C. loky</i> H	<i>L. melanonotus</i> H	<i>S. baudinii</i> H	<i>L. maculatus</i> CH	<i>S. cyanosticta</i> A
<i>Arthrobotryum</i> sp. 1	-	-	-	-	+	-	-
<i>Aspergillus</i> Sp. 1	+	+	+	-	-	+	+
<i>Aspergillus</i> Sp. 2	+	+	+	-	-	-	+
<i>Aspergillus</i> Sp. 3	+	-	+	-	-	-	+
<i>Aspergillus</i> Sp.4	-	-	-	+	-	-	-
<i>Aspergillus</i> Sp. 5	-	-	-	+	-	-	-
<i>Aspergillus</i> Sp.6	-	-	-	-	+	-	-
<i>Clasterosporium</i> Sp.1	-	-	+	-	-	-	-
<i>Dendrographium</i> Sp.1	-	-	-	-	-	+	-
<i>Fusarium solani</i>	+	-	-	-	-	-	-
<i>Gonytrichum</i> Sp.1	-	-	-	-	-	-	+
<i>Hongo perfecto</i> Sp.1	-	-	-	-	-	-	+
<i>Memnoniella</i> Sp.1	-	-	+	-	-	-	+
<i>Paecilomyces</i> Sp.1	-	-	+	-	-	-	-
<i>Penicillium</i> Sp.1	+	+	+	+	+	+	+
<i>Penicillium</i> Sp.2	-	-	+	+	-	-	+
<i>Penicillium</i> Sp.3	-	-	+	-	+	+	+
<i>Penicillium</i> Sp.4	-	-	+	-	+	+	-
<i>Penicillium</i> Sp. 5	-	-	-	-	-	+	-
<i>Penicillium</i> Sp. 6	-	-	-	-	-	-	+
<i>Periconia</i> Sp.1	+	+	+	+	-	-	+
<i>Rhizoctonia</i> Sp.1	-	-	-	+	-	+	-
<i>Scopulariopsis</i> Sp.1	+	+	-	-	-	-	+
<i>Trichoderma</i> Sp.1	-	-	-	-	-	+	-

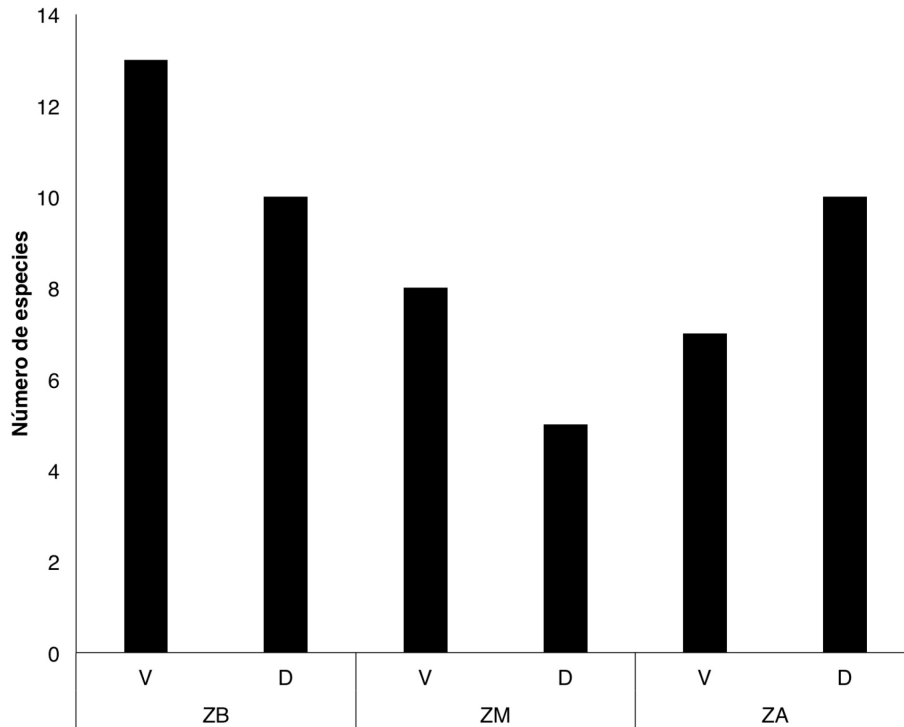
el mayor número de especies por hospedero con 4, seguido de la ZA con tres especies y la ZM con una especie. El tejido ventral presentó el mayor número de especies de hongos (Figura 2). Las especies *Penicillium* sp1, *Penicillium* sp3, *Aspergillus* sp1 y *Aspergillus* sp2 se encontraron en las tres zonas de la cuenca. Las especies *Penicillium* sp1 y *Periconia* sp1 fueron las más frecuentes, ya que se encontraron en todos los individuos de la ZB, y la especie *Penicillium* sp3 en todos individuos de la ZM.

Las especies *Penicillium* sp5, *Trichoderma* sp1, *Paecilomyces* sp1, *Clasterosporium* sp1, *Fusarium solani*, *Arthrobotryum* sp1, *Aspergillus* sp4 y *Aspergillus* sp5 fueron encontradas exclusivamente en individuos de hábitat de hojarasca. *Aspergillus* sp6, *Dendrographium* sp1, *Rhizoctonia* sp1 y *Gonytrichum* sp1 se encontraron únicamente en individuos de hábitat acuático, mientras que *Penicillium*

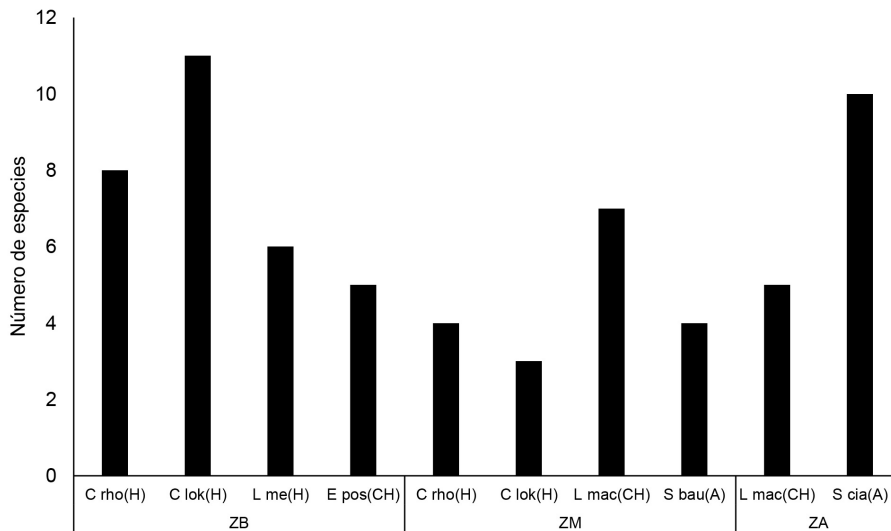
sp6 estuvo presente solo en anuros de hábitat arborícola.

*Penicillium* sp6 estuvo presente solo en anuros Los anfibios de hábitat acuático tuvieron el mayor número de especies de hongos en la piel (Figura 3). De manera general la composición de especies de hongos fue similar zona ZB y la zona ZA (Figura 4).

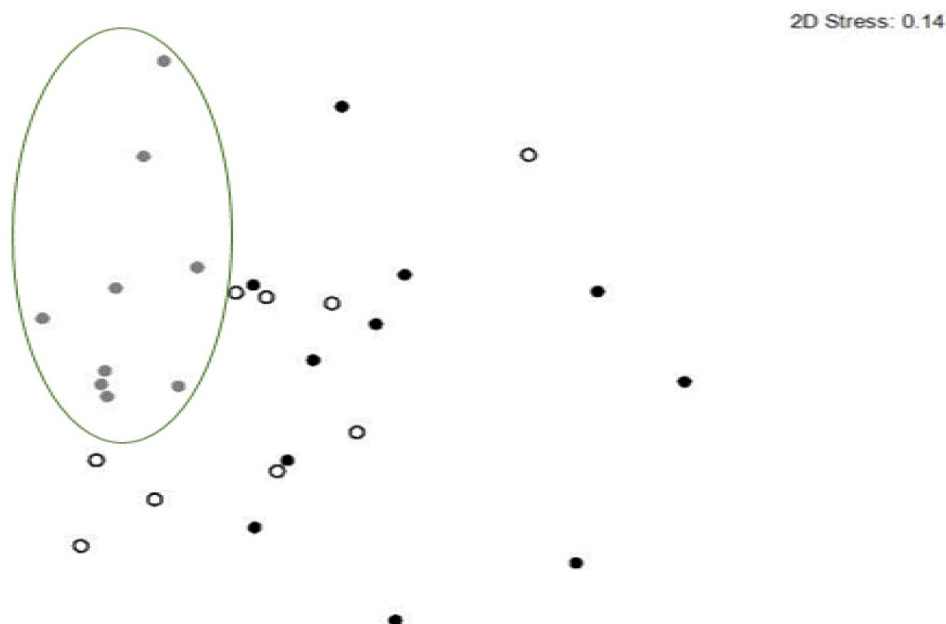
En la ZB de la cuenca se encontraron los valores más bajos de pH tanto en suelo como en agua y mayor temperatura ambiental. Los valores de humedad relativa fueron similares entre la ZM y ZA (Tabla 2). En el diagrama de ordenación del análisis de componentes principales se observó una diferenciación de cada zona de la cuenca en términos ambientales, las variables que tuvieron mayor contribución fueron el pH del agua (CP1 = -0.6829), la temperatura ambiental (CP1 = 0.472), la humedad relativa (CP2 = 0.75) y pH del suelo (CP2 = 0.12), la



**Figura 2.** Número total de especies de hongos presentes por región de la piel de anuros colectados en las diferentes zonas de la cuenca del río Coatlán. V = región ventral, D = región dorsal; ZB = zona baja, ZM = zona media, ZA = zona alta.



**Figura 3.** Número de especies de hongos en la piel de anfibios encontrados según su hábitat y especie de anuro en tres zonas de la cuenca del río Coatlán. C rho = *Craugastor rhodopsis*, C Lok = *Craugastor loki*, L me = *Leptodactylus melanonotus*, E pos = *Engystomops pustulosus*, L mac = *Lithobates maculatus*, S bau = *Smilisca baudinii*, S c = *Smilisca cyanosticta*. ZB = zona baja, ZM = zona media, ZA = zona alta. Lugar de colecta: H = hojarasca, CH = charca, A = arborícola.



**Figura 4.** Diagrama de ordenación MDS de especies de hongos encontrados en la piel de anuros colectados en las diferentes zonas de la cuenca del río Coatán, los puntos encerrados en el ovalo de color gris corresponden a la ZM. Zona baja (ZB) = Puntos negros, Zona alta (ZA) = círculos color blanco.

variación explicada al CP1 fue del 94.46% y acumulada al CP2 del 99.8% (Figura 5).

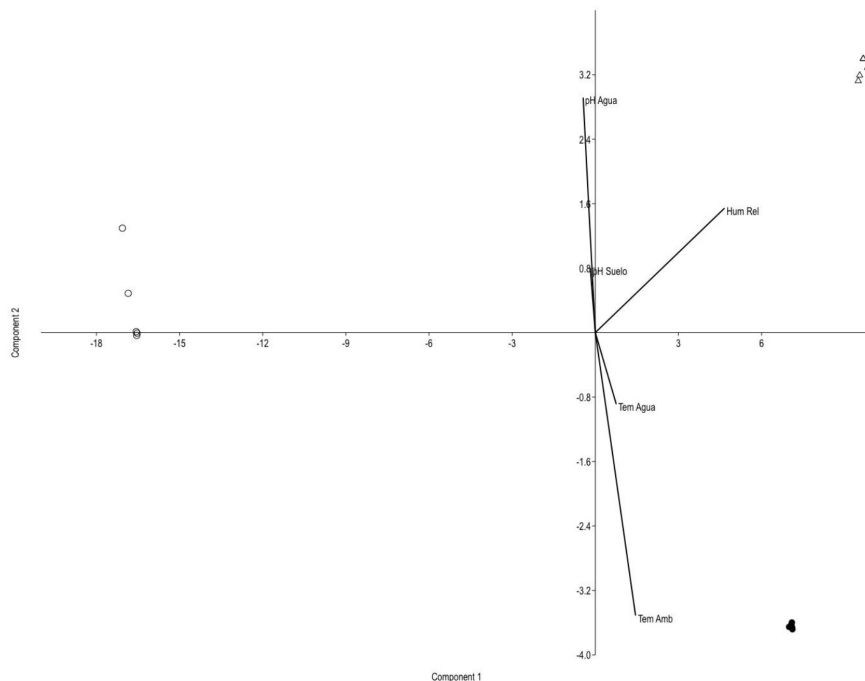
## DISCUSIÓN

Los géneros más representativos de los anuros de cuenca del río Coatán fueron *Penicillium* y *Aspergillus*, para ambos géneros no se reporta evidencia sobre su relación con alguna enfermedad en anuros. Pero la especie *Penicillium griseofulvum* se reporta como patógena de la tortuga *Megalochelys gigantea* (Mendoza-Henao et al. 2012). Los géneros encontrados en este trabajo como *Memnoniella*, *Arthrobotryum* y *Scopulariopsis*, no han sido reportados como agentes patógenos en anuros, por lo que su presencia en ellos probablemente sea ocasional al entrar en contacto con el suelo, o material en descomposición ya que *Arthrobotryum* y *Scopulariopsis* son saprobicos de restos de plantas y animales en descomposición, respectivamente (Heredia et al. 2018, da Silva-Peixoto et al. 2020, Pérez-Cantero y Guarro 2020). Los géneros *Periconia*, *Paecilomyces*, *Fusarium* y *Rhizoctonia*, tampoco

han sido reportados como agentes patógenos en anuros, no obstante, algunos de ellos son patógenos de plantas de cultivo como soya, maíz, papa y frijol, de insectos y de vertebrados incluyendo al hombre (Carr et al. 2003, Juárez-Becerra et al. 2010, da Silva-Peixoto et al. 2020). La presencia de estos géneros se observó principalmente en las ZB y ZA de la cuenca, en donde estos cultivos predominan (ZB maíz y soya, ZA maíz, frijol y papa), su presencia en anuros sugiere que fueron ocasionalmente adheridos al entrar en contacto directo con el suelo o materia vegetal. Una composición de especies de hongos similar a la del presente trabajo fue reportada por da Silva-Peixoto et al. (2020) de la piel de *Rhinella major* y *Rhinella marina* de la región de Santarém en Brasil, encontrando los géneros *Scopulariopsis*, *Trichoderma*, *Paecilomyces*, *Aspergillus* y *Penicillium*, siendo los dos últimos los más representativos. Es probable que la composición de especies reportada por da Silva-Peixoto et al. (2020) como la del presente trabajo sean producto de la proximidad a zonas agropecuarias. En este sentido, incluir sitios de muestreo en zonas no perturbadas, per-

**Tabla 2.** Parámetros ambientales en las diferentes zonas de la cuenca del río Coatán.  
 ZA = zona alta, ZM = zona baja, ZB = zona baja. +/- = desviación estándar.

	ZB		ZM		ZA	
	Media	+/-	Media	+/-	Media	+/-
Temperatura ambiental	30.19	0.0672	26.08	0.1095	20.44	0.7635
Temperatura agua	22.43	0.1177	21.56	0.0894	18.08	0.0447
pH suelo	5.67	0.1797	6.70	0.0083	7.2	0
pH agua	6.03	0.0433	9.91	0.1878	10.50	0.0887
Humedad Relativa	74.582	0.0460	79.14	0.1341	56.52	1.6917



**Figura 5.** Análisis de componentes principales de las variables ambientales de la cuenca del río Coatán. Zona baja = círculos color negro, Zona media = triángulos, Zona alta = círculos color blanco. El porcentaje de la variación explicada al componente uno es del 94.46% y acumulada al componente dos del 99.8%.

mitiría conocer la microbiota nativa de la piel de los anuros. Conocer la biota nativa de la piel de los anuros tiene importantes implicaciones para su conservación. Evidencia reciente ha mostrado que la microbiota (bacterias principalmente) de la piel de los anfibios funciona como la primera línea de defensa contra enfermedades, incluyendo la quitridiomycosis (Rebollar *et al.* 2020, Pereira y Woodley 2021); no obstante el papel de los hongos en esta microbiota es poco entendido (Kearns *et al.* 2017), especies de los géneros *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Trichoderma* producen sustancias con propiedades antimicrobianas, probióticas y antioxidantes que pueden contribuir a la resistencia ante la incidencia de patógenos (Kearns

*et al.* 2017, da Silva-Peixoto *et al.* 2020).

En los anuros de la ZB de la cuenca se encontró el mayor número de especies de hongos, el mayor número de hongos por hospedero y la zona ventral el mayor número de especies. En esta zona también se presentaron los valores más bajos de pH en suelo y agua. Se ha reportado que las actividades agropecuarias favorecen la presencia y propagación de hongos, ya que los fertilizantes agrícolas acidifican el suelo, lo cual propicia el crecimiento de la mayoría de ellos (Cingolani *et al.* 2008). Al haber una mayor presencia de hongos, la región ventral de la piel de los individuos es más vulnerable por estar en contacto directo con el medio ya sea acuoso o terrestre



(Pough *et al.* 2004). Al respecto Prakash *et al.* (2015) y Gómez-Cornelio y Morón Ríos (2018) mencionan que la diversidad de hongos en la hojarasca varía de acuerdo con las condiciones ambientales, al grado de descomposición y la biomasa. En las zonas ZB y ZM la cantidad de hojarasca donde fueron capturados los individuos era un elemento importante y presentaba un avanzado grado de descomposición, sobre todo en la ZM donde se determinó mayor humedad relativa. Es importante mencionar que la hojarasca difirió entre zonas en cuanto a composición de especies que la originan, siendo predominantemente de pastos y maíz en la ZB y de café en la ZM. Es probable que esta diferencia en la composición de la hojarasca sea responsable del menor número de especies por hospedero, ya que en la ZM las hojas de café tienen un alto contenido de fenoles (Hasanah *et al.* 2016), los cuales persisten durante la descomposición de las hojas, lo que dificultan la colonización de hongos sapróbicos (Paulus *et al.* 2006), y por consiguiente se reduce la probabilidad de encuentro entre hongos y anuros. el menor número de especies de hongos por hospedero en la ZM sugiere que el tipo es un factor que influye en la presencia o ausencia de los hongos en la piel de los anuros.

Los anuros de hábitat acuático (charca), también presentaron un importante número de especies, probablemente porque fueron colectados en ríos o charcas que se encontraban dentro de las zonas de actividad agrícola. Además de que en estas charcas fluyen aguas residuales agropecuarias y domésticas, además algunas (ZB) son utilizadas como abrevaderos. Los resultados coinciden con los reportados por Woodhams y Alford (2005), Kriger *et al.* (2007) y Mendoza-Henao *et al.* (2012) quienes mencionan que los anfibios asociados a cuerpos de agua en zonas agropecuarias tienen mayor probabilidad de ser hospederos de hongos, ya que están más expuestos a esporas que se adhieren a las patas del

ganado que pasa a través de ellos o cuando se acercan a tomar agua.

De acuerdo con Bolom-Huet *et al.* (2019), en las zonas altas de la Sierra Madre de Chiapas, se ha reportado el hongo *B. dendrobatidis*, el cual en ningún individuo recolectado y analizado se encontró evidencia de su presencia. Al respecto, Moura-Campos *et al.* (2021) mencionan que la patogenicidad de *B. dendrobatidis* puede ocurrir de manera estacional, especialmente cuando la temporada de secas se extiende de forma anómala, lo que influye en el sistema inmune de los anfibios y en la probabilidad de propagación de la enfermedad entre individuos. El no haber encontrado individuos infectados por *B. dendrobatidis* pudo deberse a la genética, la microbiota en la piel, el uso de pesticidas y fertilizantes en la región, la susceptibilidad de los hospederos o la temperatura no fueron favorables para su presencia (Fisher y Garner 2020, Turner *et al.* 2021).

## CONCLUSIONES

La riqueza de especies de hongos de la piel de anuros de la cuenca del río Coatán fue de 24 especies. Los anuros de la ZB tuvieron la mayor riqueza, el mayor número de especies por hospedero y en el tejido ventral se tuvo el mayor número de especies de hongos. La presencia de hongos patógenos de plantas de cultivo en la piel de los anuros hace que estos organismos puedan actuar como agentes dispersores, sobre todo porqué más de la mitad de las especies de hongos encontradas pertenecen a géneros con alto éxito en la dispersión por esporas (*Aspergillus* y *Penicillium*), por lo que se requiere estudiar el papel de los anuros en la propagación de hongos en plantaciones agrícolas y áreas de ganadería para considerarlo en las estrategias de manejo de parasitosis y patogenia de hongos.

## LITERATURA CITADA

Barnett HL, Hunter BB (1998) Illustrated genera of imperfect fungi. 4th Edition. The American Phytopathological Society. Minnesota, USA. 240p.

- Bolom-Huet R, Pineda E, Díaz-Fleischer F, Muñoz-Alonso AL, Galindo-González J (2019) Known and estimated distribution in Mexico of *Batrachochytrium dendrobatidis*, a pathogenic fungus of amphibians. *Biotropica* 51: 731-746.
- Castro SG (2010) Los impactos ecológicos en Chiapas. Otros Mundos, A.C. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. <https://otrosmundoschiapas.org/cambio-climatico-los-impactos-ecologicos-en-chiapas/>. Fecha de consulta: 5 de marzo del 2018.
- Cayuela L, Rey-Benayas JM, Echeverría C (2006) Clearance and fragmentation of tropical montane forests in the Highlands of Chiapas, Mexico (1975-2000). *Forest Ecology and Management* 226: 208-218.
- Carr A, Elósegui O, Bel Padrón N (2003) Reproducción de dos cepas nativas del hongo entomopatógeno *Pae-cilomyces fumosoroseus* (Wize) Brown & Smith sobre diferentes soportes líquidos y sólidos. *Fitosanidad* 7: 7-11.
- Cheng TL, Rovito SM, Wake DB, Vredenburg VT (2011) Coincident mass extirpation of neotropical amphibians with the emergence of the infectious fungal pathogens *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108: 9502-9507.
- Cingolani AM, Noy-Meir I, Renison DD, Cabido M (2008) La ganadería extensiva: ¿es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos? *Ecología Austral* 18: 253-271.
- Cortázar-Chinarro M, Meyer-Lucht Y, Van der Valk T, Richter-Boix A, Laurila A, Höglund J (2020) Antimicrobial peptide and sequence variation along a latitudinal gradient in two anurans. *BMC Genetics* 21: 1-16.
- CNA (2014) Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía en la cuenca de la costa de Chiapas. Universidad de Ciencias y artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez Chiapas. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99925/PMPMS\\_CC\\_Costa\\_de\\_Chiapas.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99925/PMPMS_CC_Costa_de_Chiapas.pdf). Fecha de consulta: 10 de enero de 2019.
- da Silva-Peixoto A, de Sousa-Guedes D, dos Santos-Bentes V, da Silva NS, Canto ESM, Kawashita-Ribeiro RA, Fernandes GDST (2020) Fungal community on skin tissue of amphibians collected in the Santarém region, Pará, Brazil. *Brazilian Journal of Development* 6: 82336-82356.
- Daszak P, Tabor GM, Kilpatrick AM, Epstein J, Plowright AR (2004) Conservation Medicine and New Agenda for Emerging Diseases. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1026: 1-11.
- Fisher MC, Garner TW (2020) Chytrid fungi and global amphibian declines. *Nature Reviews Microbiology* 18: 332-343.
- García-Feria LM, Brousser-Olivares DM, Cervantes-Olivares RA (2019) Factores abióticos y bióticos determinantes para la presencia de *Batrachochytrium dendrobatidis* en anfibios mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana* 35: 1-18.
- García-García A, Kauffer-Michel EF (2011) Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: un acercamiento a su delimitación y problemática general. *Frontera Norte* 23: 131-161.
- García E (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México. 97p.
- Gómez-Cornelio S, Morón-Ríos A (2018) La identidad de la hojarasca de árboles tropicales determina la riqueza de hongos saprobios y la pérdida de biomasa. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 5: 425-433.
- Grajales M, De la Piedra R, López J (2008) Diagnóstico biofísico y socioeconómico de la parte media y alta de la subcuenca Coatán, Chiapas. *Avances en Investigación Agropecuaria* 12: 28-44.

- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education. *Paleontología Electrónica* 4: 1-9.
- Hasanah M, Hilma H, Suwasono P (2016) Antioxidant activity of extracts and fractions from *Coffee arabica* L. Leaves by DPPH radical scavenging method. *Scientific Journal of PPI-UKM* 3: 162-165.
- Herath J, Ellepola G, Meegaskumbura M (2021) Patterns of infection, origins, and transmission of ranaviruses among the ectothermic vertebrates of Asia. *Ecology and Evolution* 11: 15498-15519.
- Heredia G, Arias-Mota RM, Mena-Portales J, Castañeda-Ruiz RF (2018) Saprophytic synnematosous microfungi. New records and known species for Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89: 604-618.
- Hernández-Martínez LA, Romero-Méndez U, González-Barrios JL, García-De la Peña MC, Amezcuita-Torres A (2019) Nuevos registros y prevalencia de *Batrachochytrium dendrobatidis* en anuros de la cuenca Nazas-Aguanaval en la región norte-centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90: 1-9. DOI: 10.22201/ib.20078706e.2019.90.2934.
- Herczeg D, Ujszegi J, Kásler A, Holly D, Hettyey A (2021) Host-multiparasite interactions in amphibians: a review. *Parasites & Vectors* 14: 1-20. DOI: 10.1186/s13071-021-04796-1.
- Johnson M, Speare R (2005) Possible modes of dissemination of the amphibian chytrid *Batrachochytrium dendrobatidis* in the environment. *Disease of Aquatic Organisms* 65: 181-186.
- Juárez-Becerra GP, Sosa-Morales ME, López-Malo A (2010) Hongos fitopatógenos de alta importancia económica: descripción y métodos de control. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 4: 14-23.
- Kearns PJ, Fischer S, Fernández-Beaskoetxea S, Gabor CR, Bosch J, Bowen JL, Tlustý MF, Woodhams DC (2017) Fight fungi with fungi: antifungal properties of the amphibian mycobiome. *Frontiers in Microbiology* 8: 2494. DOI: 10.3389/fmicb.2017.02494.
- Kieffer E, Morelet M (2000) The deuteromycetes, mitosporic fungi classification and generic key. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 300p.
- Köhler G (2011) Amphibians of Central America. Herpeton Verlag Elke Kohler. Offenbach, Germany. 380p.
- Kruger KM, Pereoglou F, Hero J (2007) Latitudinal variation in the prevalence and intensity of chytrid (*Batrachochytrium dendrobatidis*) infection in eastern Australia. *Conservation Biology* 21: 1280-1290.
- Mendoza-Henao AM, Aguirre-Rojas L, Sarria M, Giraldo A (2012) Hongos dérmicos saprofitos de *Dendropsophus columbianus* (Hylidae) en Caloto, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural* 16: 33-40.
- Mendoza-Almeralla C, Burrowes P, Parra-Olea G (2015) La quitridiomycosis en los anfibios de México: una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86: 238-248.
- Moura-Campos D, Greenspan SE, DiRenzo GV, Neely WJ, Toledo LF, Guilherme B (2021) Fungal disease cluster in tropical terrestrial frogs predicted by low rainfall. *Biological Conservation* 261: 1-8. DOI: 10.1016/j.biocon.2021.109246.
- Paulus BC, Kanowski J, Gadek PA, Haydé KD (2006) Diversity and distribution of saprobic microfungi in leaf litter of Australian tropical rainforest. *Mycological Research* 110: 1441-1454.
- Pereira KE, Woodley SK (2021) Skin defenses of North American salamanders against a deadly salamander fungus. *Animal Conservation* 24: 552-567.
- Pérez-Cantero A, Guarro J (2020) Current knowledge on the etiology and epidemiology of *Scopulariopsis* infections. *Medical Mycology* 58: 145-155.

- Prakash CP, Thirumalai E, Rajulu MG, Thirunavukkarasu N, Suryanarayanan TS (2015) Ecology and diversity of Leif litter fungi during early-stage decomposition in a seasonally dry tropical forest. *Fungal Ecology* 17: 103-113.
- Pough FH, Andrews R, Cadle JE, Crump ML, Savitzki AH, Wells KD (2004) *Herpetology*, Third Edition. Prentice Hall. New York, USA. 726p.
- Rebollar EA, Martínez-Ugalde E, Orta AH (2020) The amphibian skin microbiome and its protective role against Chytridiomycosis. *Herpetologica* 76: 167-177. DOI: 10.1655/0018-0831-76.2.167.
- Rollins-Smith LA (2020) Global amphibian declines, disease, and the ongoing battle between *Batrachochytrium fungi* and the immune system. *Herpetologica* 76: 178-188.
- Russo CJM, Ohmer ME, Cramp RL, Franklin CE (2018) A pathogenic skin fungus and sloughing exacerbate cutaneous water loss in amphibians. *Journal of Experimental Biology* 221: 1-9 jeb.167445. DOI: 10.1242/jeb.167445.
- Rueda-Almonacid JV, Castro F, Cortez C (2006) Técnicas para el inventario y muestreo de anfibios: Una compilación. En: Angulo A, Rueda-Almonacid JV, Rodríguez-Mahecha JV, La Marca E (eds) *Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la Región Tropical Andina*. Conservación Internacional. Bogotá DC, Colombia. pp: 221-255.
- SMN (2010) Normales Climatológicas por Estado. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-porestado?estado=chis>. Fecha de consulta: 29 de noviembre de 2018.
- Thumsová B, González-Miras E, Faulkner SC, Bosch J (2021) Rapid spread of a virulent amphibian pathogen in nature. *Biological Invasions* 23: 3151-3160.
- Turner A, Wassens S, Heard G, Peters A (2021) Temperature as a driver of the pathogenicity and virulence of amphibian chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatidis*: A systematic review. *The Journal of Wildlife Diseases* 57: 477-494.
- Wells KD (2007) *The ecology and behavior of amphibians*. University of Chicago Press. Chicago, USA. 1400p.
- Woodhams DC, Alford RA (2005) Ecology of chytridiomycosis in rainforest stream frog assemblages of tropical Queensland. *Conservation Biology* 19: 1449-1459.