



RECURSOS INFORMATIVOS

PUBLICACIÓN

Artículo divulgación

Paisajes modificados por actividades humanas y su efecto en la biodiversidad y microbioma de roedores y murciélagos de la península de Yucatán

Descripción:

Artículo de divulgación en el que se explica la relación entre la pérdida de la biodiversidad y el incremento de los brotes de enfermedades infecciosas emergentes y reemergentes, específicamente las que son transmitidas por animales. Se describe asimismo la asociación entre los microorganismos (microbioma) y vertebrados, específicamente roedores y murciélagos, con el objetivo de comprender el efecto que tiene la modificación del ambiente por actividades humanas sobre la diversidad de fauna y la riqueza de su microbioma. Recurso desarrollado para el proyecto PAPIIT IV200241 “Monitoreo y diagnóstico integral de la diversidad del holobioma (microbioma y viroma), con énfasis en SARS-CoV-2, en la interfaz humano-animal en la península de Yucatán”, con el apoyo del programa UNAM-DGAPA-PAPIIT.

Para citar:

Vázquez-Domínguez, E., Borja-Martínez, G., Pérez-Jiménez, N., Sánchez-Soto, M.F., Hernández-Canchola, G., Falcón, L.I., Gaona, O. (2025). Paisajes modificados por actividades humanas y su efecto en la biodiversidad y microbioma de roedores y murciélagos de la península de Yucatán. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología, UNAM.

Contribuciones:

Autores

Ella Vázquez Domínguez
Gabriela Borja Martínez
Nastienka Pérez Jiménez
María Fernanda Sánchez Soto
Giovani Hernández-Canchola
Luisa I. Falcón Álvarez
Osiris Gaona Pineda

Fecha de publicación:

13 de marzo de 2026

Palabras clave:

Bacterias, Biodiversidad, Biología, Ecología, Evolución

Descripción de uso educativo:

En este artículo de divulgación se explica cómo la pérdida de la biodiversidad y modificación del paisaje por actividades humanas afectan la diversidad de fauna y la riqueza de su microbioma. Se describe la información que se utiliza para llevar a cabo estudios de este tipo, incluyendo genética de hospederos (murciélagos y roedores silvestres), la diversidad del microbioma asociado y las características del paisaje, para entender cómo evoluciona el hospedero y su microbioma en relación con el paisaje donde se distribuye.

Derechos de autor:

D. R.©, 2025, UNAM. CC BY-NC-ND

Paisajes modificados por actividades humanas y su efecto en la biodiversidad y microbioma de roedores y murciélagos de la península de Yucatán

Ella Vázquez-Domínguez^{1*}, Gabriela Borja-Martínez¹, Nastienka Pérez-Jiménez¹, María Fernanda Sánchez-Soto², Giovani Hernández-Canchola³, Luisa I. Falcón², Osiris Gaona²

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología, Av. Universidad 3000, Ciudad de México, 04510, México

²Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología-Sede Mérida, Ucu, 97357, Yucatán, México

³Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Museo de Zoología Alfonso L. Herrera, Ciudad de México, 04510, México

* evazquez@ecologia.unam.mx

En los últimos 70 años hemos visto una acelerada y dramática pérdida de biodiversidad a escala mundial. Esta pérdida ha sido más notable en las zonas tropicales y del Sur Global. Las causas de la disminución en la biodiversidad son múltiples, destacando las que generan una transformación del hábitat resultado de las actividades humanas, en particular la deforestación, la agricultura, la ganadería y la urbanización. De forma paralela a la pérdida de la biodiversidad, se han incrementado los brotes de enfermedades infecciosas emergentes y re-emergentes, específicamente las que son transmitidas por animales. Estas enfermedades son conocidas como *enfermedades zoonóticas*, que técnicamente se definen como cualquier enfermedad infecciosa que se transmite de los animales no-humanos al ser humano y viceversa.

El incremento de estas enfermedades se explica por la pérdida de biodiversidad y la transformación de la naturaleza que pueden provocar un cambio en las dinámicas de los ecosistemas, es decir en las relaciones entre todos los componentes del ecosistema (la flora y la fauna, los factores abióticos como el suelo y los nutrientes, etcétera). Ello altera las relaciones entre organismos potencialmente patógenos y sus hospederos. Asimismo, cuando se modifica el entorno se difumina la frontera entre las zonas más o menos conservadas y las habitadas por los seres humanos, lo que facilita e incrementa el contacto directo entre la gente, sus mascotas y animales de granja con la fauna silvestre y sus patógenos asociados. Las especies silvestres o domésticas que utilizan recursos de zonas antrópicas son conocidos como *animales sinantrópicos*.

Todos los animales, plantas y hongos multicelulares dependen de microorganismos para sobrevivir. A dichos microorganismos asociados se le conoce como el *microbioma*, que incluyen virus, bacterias, arqueas y hongos microscópicos. Los organismos que conforman el microbioma viven y proliferan en la piel, el sistema respiratorio, reproductivo y digestivo de los animales y los seres humanos, así como en otras partes de su cuerpo. Como un ejemplo de la utilidad del microbioma, éste ayuda a digerir los alimentos que de otra manera los animales no podrían asimilar; también contribuye a mantener su sistema inmune sano. En las plantas, el microbioma habita en las raíces, tallos y hojas, facilitando la obtención de nutrientes como el nitrógeno; además, les ayuda a protegerse contra depredadores y parásitos, y puede facilitar su supervivencia en ambientes desérticos o muy húmedos.

El microbioma en general representa una relación *mutualista*, lo que quiere decir que los microorganismos también se benefician, ya que sus hospederos les proveen de recursos y de un ambiente adecuado para llevar a cabo su ciclo de vida completo. Al conjunto del organismo hospedero y su microbioma se le conoce como *holobioma*. El trabajo de científicas y científicos ha permitido conocer que el microbioma varía en relación con diversos aspectos del hospedero, incluyendo sus características genéticas, la dieta, el sexo, la etapa de desarrollo, la conducta y la respuesta inmune. El microbioma a su vez regula funciones fisiológicas del hospedero, como la eficiencia alimentaria, el balance de nutrientes, el crecimiento, el metabolismo, la resistencia o desarrollo de enfermedades, entre otras.

El *paisaje*, en el sentido ecológico de la palabra, es otro factor clave en la dinámica de la relación hospedero-microbioma. Las variables climáticas (como la temperatura y la humedad), las ambientales (como son la altitud sobre el nivel del mar, la topografía y la vegetación, así como la presencia de ríos y montañas), y las antropogénicas (incluyendo carreteras, zonas agrícolas, infraestructura urbana, etcétera), afectan la composición, la transmisión y la incidencia de las comunidades microbianas. Igual de importante en esta relación hospedero-microbioma es la configuración de los ambientes en la *matriz* del paisaje, es decir si se distribuyen en parches, bordes, corredores, u otra forma.

La modificación del paisaje y la transformación antropogénica de los ecosistemas ha modificado a las poblaciones de animales silvestres y a sus comunidades microbianas asociadas, alterando las relaciones que hospedero y huéspedes han establecido durante millones de años. A este desbalance en las comunidades del holobioma se le conoce como *disbiosis*. Dentro de la disbiosis se reconocen varios procesos no excluyentes, entre ellos la pérdida de diversidad de microorganismos del microbioma, la pérdida de microorganismos benéficos específicos, y el incremento de organismos patógenos.

Con base en todo lo anterior, resalta la importancia de conocer a detalle los efectos de la perturbación del ambiente en la interacción humano-animal, para determinar los procesos de disbiosis, los efectos sobre las comunidades y los ecosistemas, así como el potencial origen de enfermedades emergentes y re-emergentes. Sin duda, éste es uno de los grandes retos de investigación de nuestro siglo.

Modificación ambiental antrópica y su efecto sobre comunidades de roedores y murciélagos de la península de Yucatán

Como ejemplo, aquí describimos un estudio sobre la genética de hospederos y la diversidad de su microbiota intestinal asociado, en particular de especies de murciélagos y de roedores silvestres, y su relación con el paisaje en la península de Yucatán. El estudio implica varias fases de trabajo, primero caracterizamos el paisaje describiendo los factores que lo componen, por ejemplo, el tipo de vegetación, el uso de suelo, ciertas variables climáticas y antrópicas, entre otras. Asimismo, para obtener la información sobre la microbiota de los animales silvestres y sinantrópicos, utilizamos herramientas moleculares y secuenciación genómica y estimamos su riqueza, composición y diversidad. También evaluamos los niveles de diversidad y diferenciación genética de los hospederos (las especies de ratones y de murciélagos) con datos genómicos. Finalmente, determinamos cuál es la relación entre el paisaje, la genética poblacional del hospedero y los patrones de diversidad de su microbioma, en distintas regiones y a lo largo de diversos gradientes desde conservadas hasta urbanizadas.

Entre las preguntas que nos planteamos en el estudio (ver figura 1) queremos saber si las características del microbioma cambian a lo largo de un gradiente regional, desde Mérida (ambiente urbano) a Tizimín (semi-conservado) y a Calakmul (conservado). También queremos saber qué pasa al interior de cada región, considerando asimismo un gradiente local desde ambientes urbanos a conservados.

Lo primero que hicimos fue describir las superficies del paisaje de cada uno de los sitios de estudio. Para ello utilizamos imágenes satelitales del Sentinel-2A de la Agencia Espacial Europea, datos de INEGI y datos ambientales que tomamos nosotros en campo. Estimamos múltiples índices de vegetación, ambientales y de perturbación antrópica, que son útiles para responder las preguntas que nos propusimos responder. Con esos índices generamos mapas a una resolución de 10 m de todos los sitios de estudio; por ejemplo, el *Índice de Vegetación Mejorado* (EVI en inglés) con el que vemos la cantidad de vegetación (cobertura) que hay en los sitios, el *Índice de Superficies Artificiales* (ASI en inglés) con el que determinamos la extensión de área modificada, o el *Índice de Temperatura Superficial* (LST en inglés). Como se aprecia en

la figura 2, estos mapas muestran las diferencias en el paisaje que hay dentro y entre regiones. Por ejemplo, en el extremo izquierdo de la imagen se puede distinguir la región más urbanizada, que es la ciudad de Mérida y que es la que tiene menos vegetación. Cuando comparamos estos mismos valores con los otros dos sitios de estudio de nuestro gradiente vemos que en Tizimín, la región semi-conservada, el valor promedio del EVI se parece más al de Calakmul, la región más conservada y con una mayor cobertura vegetal; sin embargo, los valores de ASI de Tizimín son mayores porque una amplia extensión de superficie ha sido modificada para fines agrícolas y ganaderos. La temperatura superficial es mayor en Mérida ya que es el sitio que tiene más área modificada y menos vegetación (ver Figura 2).

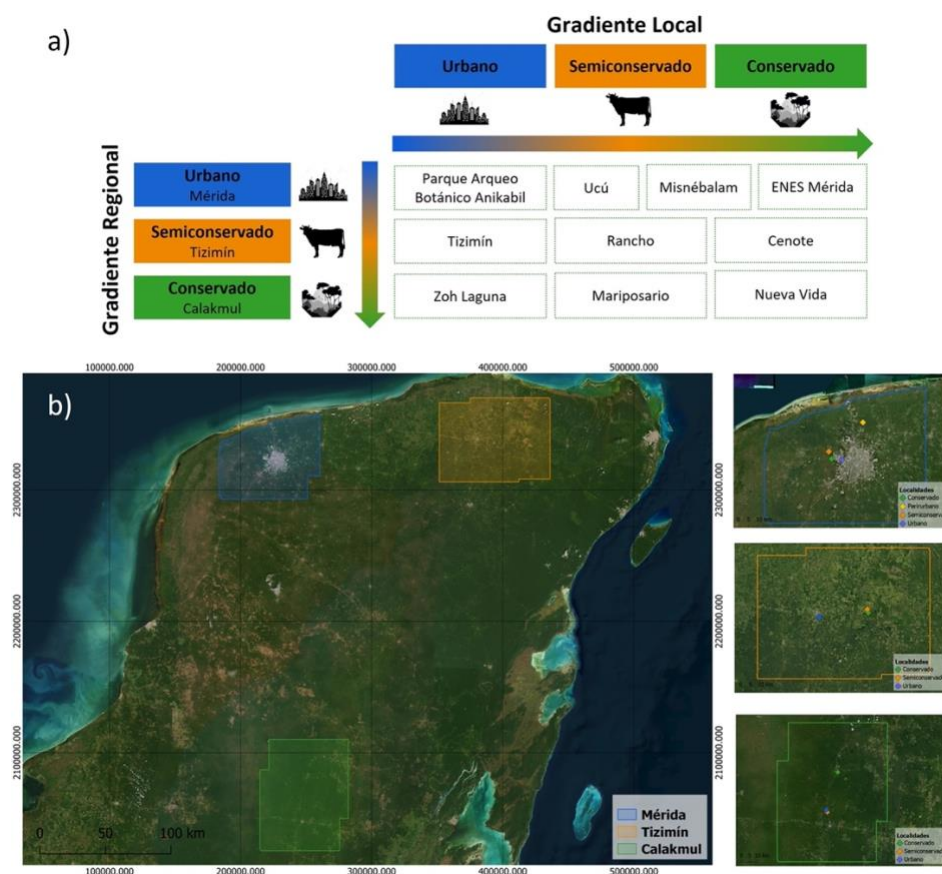


Figura 1. a) Diseño de muestreo en la península de Yucatán, donde se detallan el gradiente de conservación regional (Mérida, Tizimín, Calakmul) y sus correspondientes gradientes locales (localidades de muestreo del estudio). El ‘Parque Arqueológico Botánico Anikabil’ (en Mérida) y Nueva Vida (en Calakmul) son los extremos de urbanización – conservación de nuestro gradiente regional. b) Mapa con la ubicación geográfica de las regiones (izquierda) y localidades de estudio (derecha).

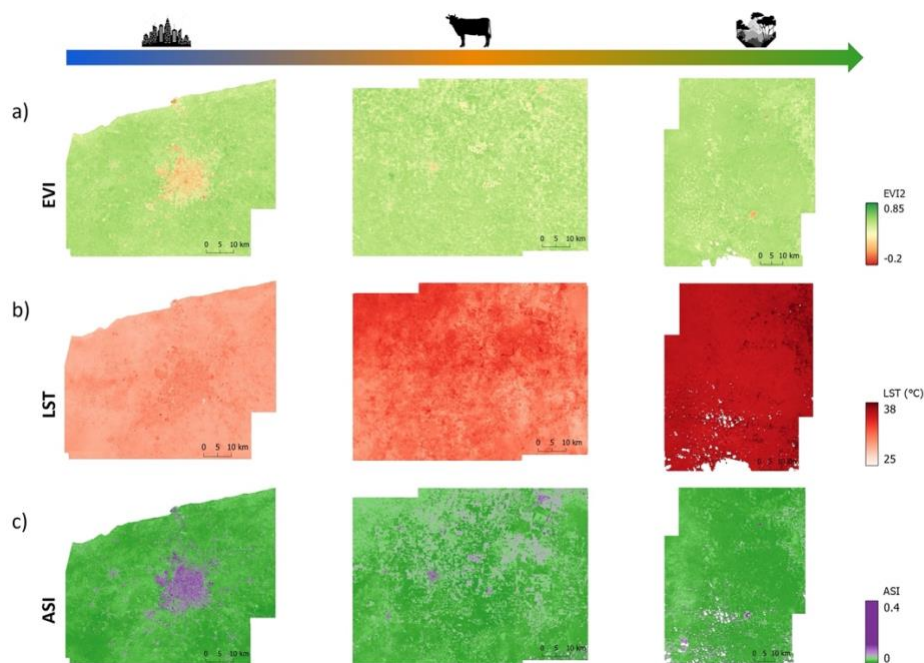


Figura 2. Mapas que ilustran algunos de los índices que hemos calculado para nuestro estudio. Cada columna representa una región del gradiente (de izquierda a derecha, Mérida, Tizimín, Calakmul). Índices: **(a)** EVI (vegetación), **(b)** LST (temperatura superficial), **(c)** ASI (superficies alteradas). Se aprecia, por ejemplo, que Mérida (extremo izquierdo) tiene menor cobertura de vegetación, mayor temperatura superficial y mayor área urbanizada en comparación con las otras dos regiones.

Diversidad faunística y su microbioma en el gradiente de conservación

Encontramos patrones de distribución faunística muy interesantes, ya que las comunidades de animales cambian entre regiones y localidades según el gradiente de conservación. Es decir, observamos que, de Calakmul a Tizimín y a Mérida, las especies de ratones y murciélagos son diferentes, como lo ilustran los polígonos que están más alejados en la Figura 3. Las localidades más conservadas de Tizimín y Calakmul tienen mayor diversidad de especies, con presencia de roedores (por ejemplo, *Ototylomys phyllotis* y *Sigmodon toltecus*) y murciélagos (*Dermanura phaeotis* y *Carollia sowelli*) que encontramos sólo en estos sitios. En comparación, en Mérida —la región más modificada— la diversidad es menor. Además, las especies más abundantes están presentes en las tres regiones; un ratón (*Peromyscus yucatanicus*) y dos murciélagos (*Artibeus jamaicensis* y *Glossophaga mutica*).

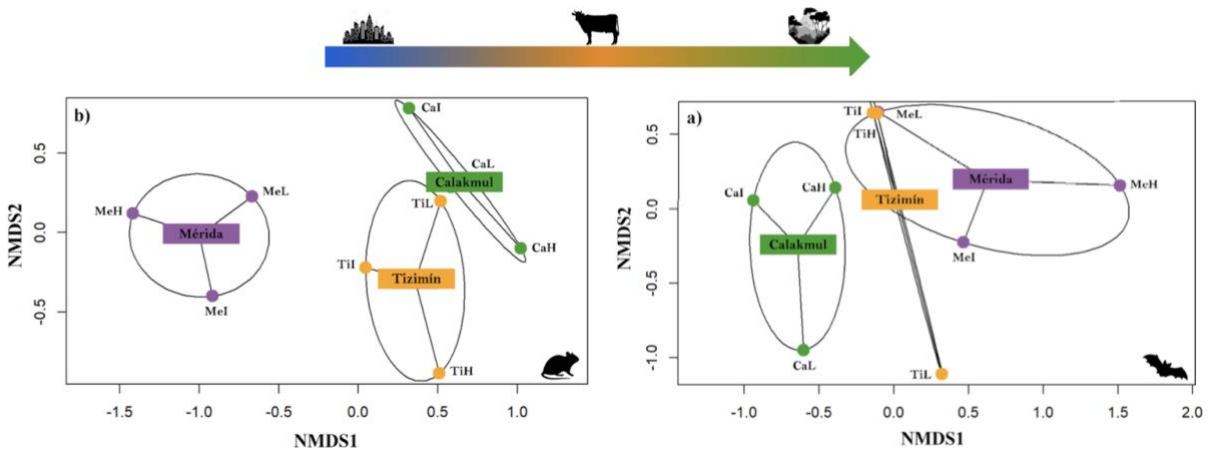


Figura 3. Resultados de un análisis multivariado (NMDS) que se basa en las especies presentes (su abundancia) en cada sitio y en el grado de conservación de los sitios en el gradiente regional y el local. La información contenida en los polígonos de líneas negras muestra qué tanto se parecen o no las comunidades de roedores (izquierda) y murciélagos (derecha).

Desde la perspectiva del microbioma observamos patrones muy reveladores de riqueza, abundancia y diversidad. En particular para los roedores, encontramos que las especies que tienen un bacterioma intestinal más diverso son las que están presentes en las zonas conservadas (como *Sigmodon toltecus*) (Figura 4a). Asimismo, el conjunto de los bacteriomas (es decir el bacterioma de todas las especies presentes en un sitio) en la localidad urbana de Mérida (la más modificada) es el menos diverso y más diferente de todos (Figura 4b, Figura 5). En contraste, la mayor diversidad está en las localidades más conservadas (Tizimin y Calakmul). Respecto a los murciélagos, no encontramos que la composición y riqueza del microbioma difiera entre especies ni entre paisajes cuando se comparan de forma global. Sin embargo, al considerar a las cuatro especies más abundantes, la composición del bacterioma de *Artibeus jamaicensis* es significativamente diferente en el sitio conservado de Calakmul respecto a las otras regiones. Es muy interesante constatar además que cada especie de murciélago hospeda a una microbiota diferente, relacionado con su estrategia de alimentación (diversidad funcional) entre frugívoros e insectívoros (Figura 6).

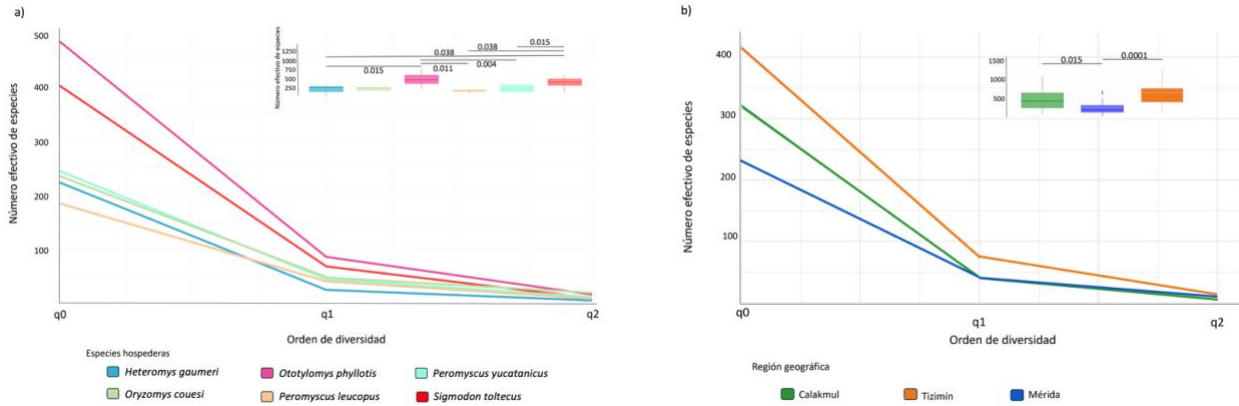


Figura 4. Diversidad del microbioma bacteriano (bacterioma) del intestino de los roedores (a) entre las especies estudiadas y (b) entre regiones. Los valores del eje de las 'x' representan la riqueza de especies bajo diferentes métricas que hacen referencia al número total de especies (q0), de especies más comunes (q1) y de especies más abundantes (q2). Como ejemplo, en (a) *Ototylomys phyllotis* es el roedor con mayores valores de diversidad. En los gráficos de bigotes (parte superior de cada gráfico) se indican las comparaciones que son estadísticamente diferentes, como se aprecia en (b) que Mérida es diferente comparada con Tizimín y con Calakmul.

Nuestros resultados también muestran patrones particulares al estimar el recambio, es decir la medida que indica cuánto cambian las comunidades bacterianas entre hospederos en una región y entre regiones. Estos análisis se hacen comparando pares de especies, y lo que observamos para el caso de los roedores es que los bacteriomas son diferentes entre las especies que las hospedan, pero también son distintas entre las regiones de Mérida, Tizimín y Calakmul. Estos resultados confirman que Calakmul, la región más conservada y con mayor diversidad, es muy distinta de las otras regiones y donde *Ototylomys phyllotis* (recordemos que este ratón lo encontramos en las zonas conservadas) tiene la mayor diversidad de bacterioma entre las especies presentes. Asimismo, encontramos que Mérida se diferencia por una menor diversidad asociada casi exclusivamente al bacterioma de *Peromyscus yucatanicus* y al de *Artibeus jamaicensis*. Podemos confirmar que la alta diversidad microbiana que identificamos en Calakmul está asociada con la alta conectividad del paisaje que tiene esta región.

En la ecología de las enfermedades el objetivo primordial es estudiar y conocer las bacterias con potencial patogénico, tanto para los animales silvestres y domésticos como para el ser humano. Con base en nuestros resultados podemos destacar el orden de las Enterobacterales, presente en el ratón *Peromyscus yucatanicus* de la región de Mérida (la más urbanizada; como se muestra con una flecha azul en la figura 5) y en muy alta abundancia (dominante) en el murciélago *Glossophaga soricina* de Mérida y Tizimín (Figura 7). Respecto a

A. jamaicensis, Enterobacteriaceae y Staphylococcaceae fueron abundantes en la región conservada (Calakmul), mientras que la abundancia de Streptococcaceae se incrementó en Tizimín, y Erwiniaceae en el paisaje más urbanizado (Mérida). Asimismo, detectamos bacterias de las familias Clamydiae (orden Verrucomicrobiales, señalada con flecha azul en la figura 5) y Yersiniaceae (Enterobacterales); de ambas familias existen algunas especies patógenas. También encontramos presencia de los géneros *Helicobacter* y *Campilobacter* en el roedor *Sigmodon toltecus* de la región de Tizimín, bacterias que podrían asociarse a enfermedades del sistema digestivo (por ejemplo, *Helicobacter pylori* en humanos). Es muy importante enfatizar que la presencia de potenciales patógenos oportunistas en la microbiota intestinal no es un indicador de que los roedores y los murciélagos de la península de Yucatán sean reservorios para la transmisión de enfermedades zoonóticas bacteriales. Lo que significa es que éstos forman parte de las comunidades de su microbioma, las cuales varían a lo largo del gradiente de conservación estudiado.

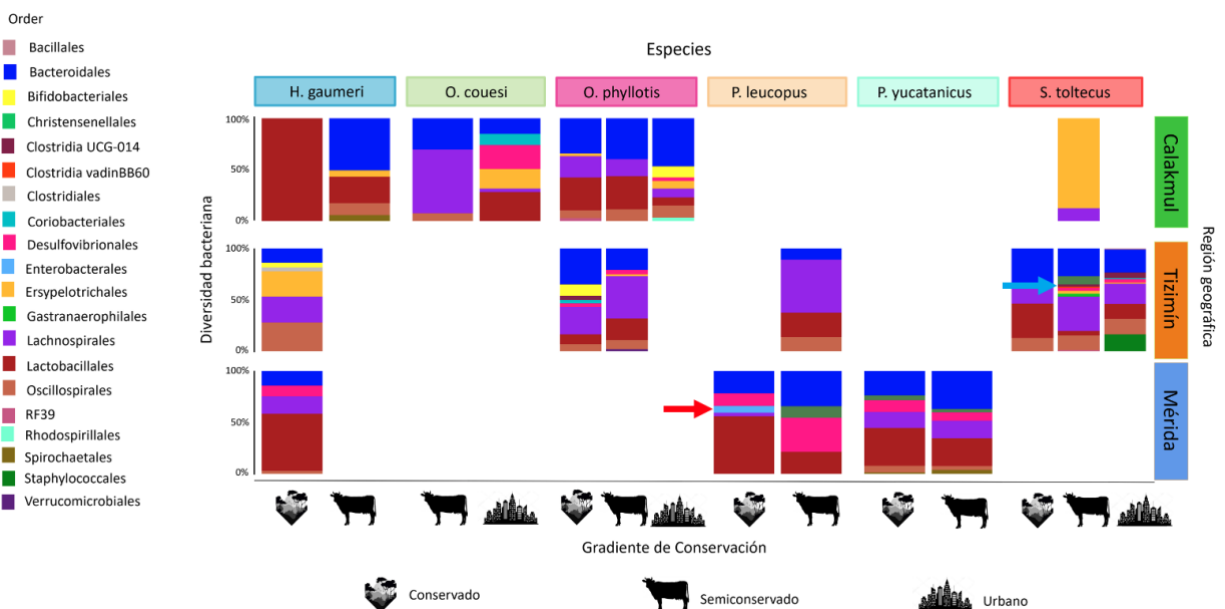


Figura 5. Diagrama que muestra la diversidad a nivel de orden de microorganismos (lista en la parte izquierda) del microbioma intestinal en las especies de roedores estudiadas por región (Calakmul, Tizimín, Mérida) y gradiente de conservación dentro de cada región (conservado, semi-conservado, urbano). El total de órdenes diferentes es menor en Mérida. Se indican con flecha roja el orden de las Enterobacterales presente en el ratón *Peromyscus leucopus* de la región de Mérida, y el orden de las Verrucomicrobiales con flecha azul en *Sigmodon toltecus* de Tizimín.

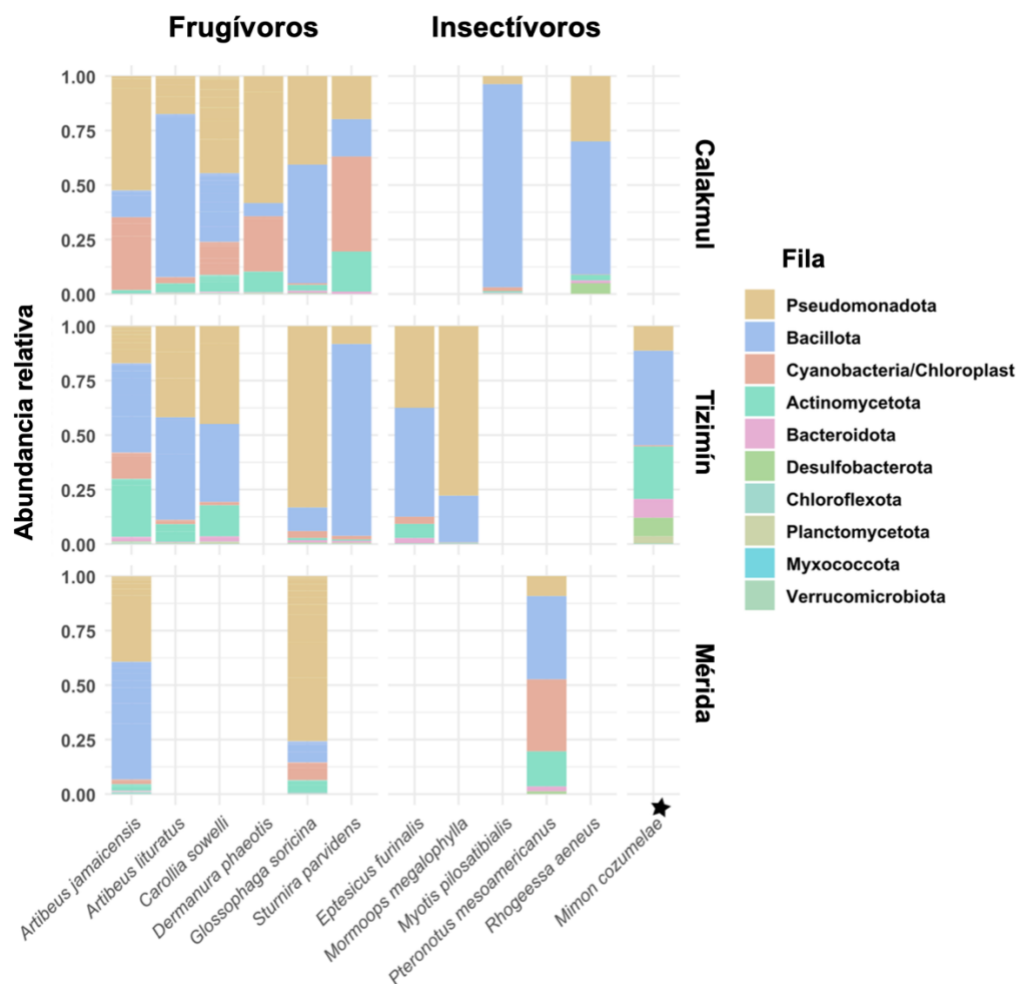


Figura 6. Composición de la microbiota intestinal de las especies de murciélagos estudiadas, donde se muestra la abundancia relativa de los 10 fila más abundantes para los murciélagos frugívoros e insectívoros presentes en las tres regiones (Calakmul, Tizimín, Mérida). La estrella negra indica una especie para la que sólo se obtuvo un individuo (*Mimon cozumelae*).

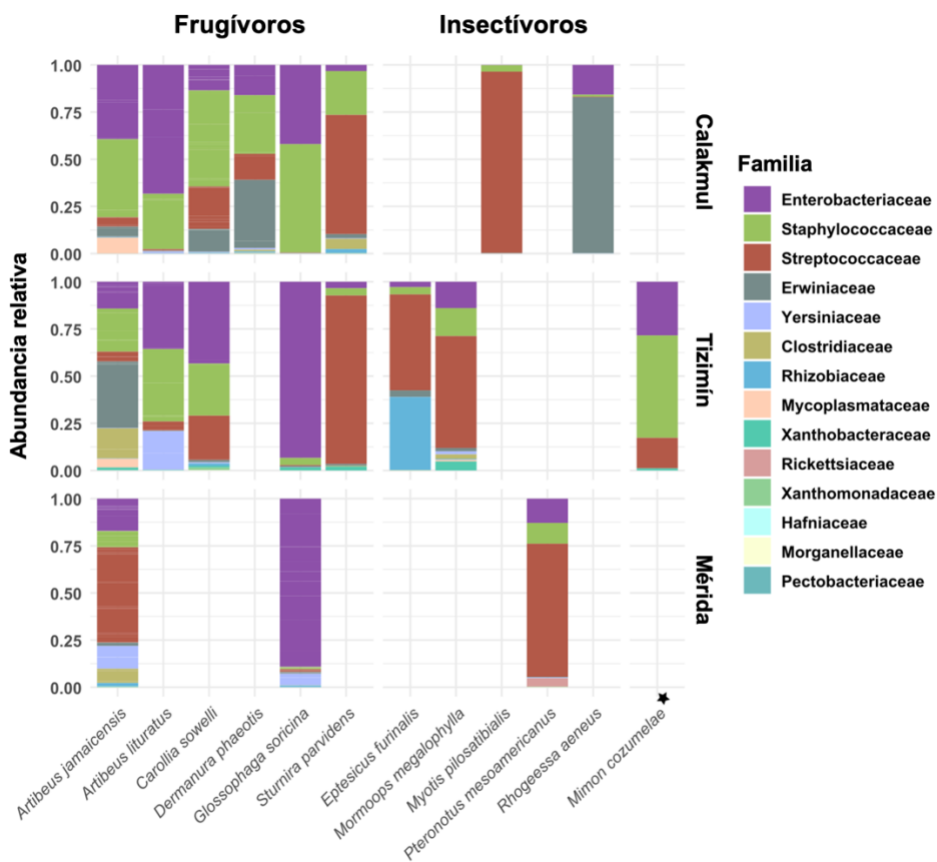


Figura 7. Abundancia relativa de familias de bacterias potencialmente patógenas identificadas en la microbiota intestinal de las especies de murciélagos frugívoros e insectívoros estudiadas, presentes en las tres regiones (Calakmul, Tizimín, Mérida).

Conclusiones y perspectivas

En conjunto, los resultados hasta ahora de nuestro proyecto del holobioma en la península de Yucatán contribuyen a documentar que sí hay un efecto del gradiente de antropización sobre la diversidad taxonómica y funcional de los hospederos, así como en la riqueza, abundancia y diversidad de su microbioma. En otras palabras, que mientras más conservado es el hábitat el microbioma de los roedores y murciélagos que estudiamos presenta una mayor diversidad de microorganismos. Cabe asimismo resaltar que evaluamos la presencia de coronavirus (B-Cov) en murciélagos y ninguno de los individuos estudiados fue hospedero de este tipo de virus.

Como lo mencionamos al inicio, la pérdida de la biodiversidad ha ocasionado un incremento a nivel mundial de las zoonosis —los brotes de enfermedades infecciosas emergentes y re-emergentes— y, por ende, de las enfermedades zoonóticas. Queremos que nuestra investigación y los resultados presentes y a futuro justifiquen, desde una perspectiva

más aplicada en términos de conservación del ambiente y la biodiversidad, así como de la salud animal y humana, la relevancia de mantener sitios con la menor modificación posible. Una manera de hacerlo es regulando el cambio de uso de suelo y las actividades humanas, y fomentando que, además, se mantengan corredores con vegetación nativa que unan las zonas urbanas y/o rurales con las más conservadas de la matriz que las rodea. Para con ello favorecer y estimular la presencia de comunidades faunísticas diversas y de sus microbiomas asociados, manteniendo sus interacciones y la dinámica del ecosistema. Estamos convencidos que dichas prácticas promueven la conservación de los ecosistemas y de la biodiversidad, para lograr una relación saludable entre los ambientes poco modificados y aquellos habitados por el humano.

Financiamiento: El Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (Papiit-UNAM), proyecto número IV200421.

Para saber más

- Gibb, R., D.W. Redding, K.Q. Chin, et al. (2020). Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems. *Nature*, 584: 398-402. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2562-8>
- Hauffe H., y C. Brelli (2019). Conserve the germs: the gut microbiota and adaptive potential. *Conservation Genetics*, 20: 19-27. <https://doi.org/10.1007/s10592-019-01150-y>
- Morand, S. (2020). Emerging diseases, livestock expansion and biodiversity loss are positively related at global scale. *Biological Conservation*, 248: 108707. doi:10.1016/j.biocon.2020.108707.
- Sánchez-Soto, M.F., O. Gaona, A.L. Viguera-Galván, G. Suzán, L.I. Falcón, E. Vázquez-Domínguez. 2024. Prevalence and transmission of the most relevant zoonotic pathogens in the Yucatan peninsula: a review. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 18(7):e0012286. doi:10.1371/journal.pntd.0012286

Palabras clave

animales sinantrópicos, Antropoceno, enfermedades emergentes, fauna silvestre, genética del paisaje, genómica, microbioma, península de Yucatán