El Colegio de la Frontera Sur

Odonata (Insecta) del volcán Tacaná, Chiapas, México: Distintividad taxonómica a lo largo de un gradiente de elevación

TESIS

Presentada como requisito parcial para optar al grado de

Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Con orientación en Ecología de Artrópodos y Manejo de Plagas

Por

Juan Antonio López Díaz

2025

El Colegio de la Frontera Sur

San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, 21 de febrero de 2025.

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de:

Juan Antonio López Díaz

hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada "Odonata (Insecta) del volcán Tacaná, Chiapas, México: Distintividad taxonómica a lo largo de un gradiente de elevación" para obtener el grado de **Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural**

	Nombre	Firma
Director	M. en C. Benigno Gómez y Gómez	_____
Codirector	Dr. Rodolfo Novelo Gutiérrez	_____
Asesor	Dr. Juan Jacobo Schmitter Soto	_____
Sinodal adicional	Dr. Alfonso Ángel González Díaz	_____
Sinodal adicional	M. en C. Eduardo Rafael Chamé Vázquez	_____
Sinodal adicional	Dr. José Pablo Liedo Fernández	_____
Sinodal suplente	Dra. Ariane Liliane Jeanne Dor Roques	_____

Dedicatoria

A mi madre Manuela Díaz Espinosa, mujer incansable que me ha enseñado que todo es posible con mucho esfuerzo y dedicación. Gracias por ser mi inspiración y por apoyarme incondicionalmente en mis proyectos.

A mis hermanos Hugo, Flor y Ceci quienes siempre me motivan y apoyan en mis aventuradas ideas. Gracias por ser mis cómplices.

A mis sobrinos Luis Javier, Dayra Yardley quienes ahora en su adolescencia, me platican algunas cosas cuando ven a un insecto. Al pequeño Liam Gael, cuya llegada a mi familia representó una bendición y a quien espero persuadir acerca de las curiosidades del mundo de los insectos.

A mis amigos ilustradores y emprendedores del Jardín del Arte (Centro Cultural El Carmen), especialmente a Karina Vázquez y Martín YebrA que, pese a la distancia, el apoyarnos y compartir ideas en nuestros proyectos de vida ha fortalecido nuestra amistad.

A don Cristóbal Nájera y a su esposa doña Gloria González Díaz, por alentarme a realizar mis proyectos no solo académicos, sino también en el ámbito de la ilustración naturalista. Gracias por sus consejos y su amistad.

Agradecimientos

Al maestro Benigno, amigo y colega, por apoyarme en la dirección de este proyecto.

Al doctor Rodolfo Novelo Gutiérrez por recibirme cordialmente en el INECOL y compartirme sus amplios conocimientos en el mundo de la Odonatología.

Al doctor Juan Jacobo Schmitter Soto, por sus asertivas y concisas observaciones que enriquecieron y mejoraron la calidad del trabajo.

A mis sinodales, la doctora Ariane Dor y los doctores Alfonso González, Eduardo Chamé y Pablo Liedo, por sus valiosas observaciones y recomendaciones hacia la mejora del escrito.

A Susy E. López Salazar y Víctor I. López Paz, amigos y compañeros del posgrado que, sin su ayuda en el trabajo de campo, probablemente este proyecto no hubiese alcanzado todos sus objetivos.

A los pobladores de las localidades visitadas en el volcán Tacaná, especialmente a la familia López Paz (a doña Leo y don Víctor), por recibirme cálidamente en su hogar y ofrecerme techo, alimento y palabras de aliento para realizar el trabajo de campo.

Al doctor José Antonio Gómez Anaya (INECOL), por su asesoramiento en el análisis de la distintividad taxonómica.

Al maestro Sergio Zapata Martínez por su apoyo en la elaboración del mapa del área de estudio.

A mis compañeros de la maestría generación 2022 - 2024, especialmente a Belinda Ballinas, Cris Bolaños, José Antonio Roque y Luis Manuel Cruz.

También extiendo mi agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) la beca otorgada con número de CVU 995260 para desarrollar mis estudios de posgrado en ECOSUR.

A todas y todos: ¡Gracias!

Índice

Resumen 1

Capítulo I. Introducción 2

1.1. Integridad ecológica de los ecosistemas fluviales 2

1.2. El uso de los odonatos como bioindicadores 3

1.3. Distintividad taxonómica 5

1.4. Planteamiento del problema y objetivo del estudio 6

Capítulo II. Artículo de investigación 7

2.1. Odonatofauna (Insecta) del volcán Tacaná, Chiapas, México, lista de especies y distintividad taxonómica 7

Capítulo III. Conclusiones 32

Referencias 33

Anexos 39

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos del cambio de uso de suelo sobre la distintividad taxonómica de los ensamblajes del orden Odonata en diferentes arroyos localizados a lo largo de un gradiente de elevación en la Reserva de la Biósfera Volcán Tacaná (REBIVTA), Chiapas. Para llevar a cabo este estudio, se establecieron seis sitios de muestreo con distintos niveles de integridad ambiental en las cuencas de los ríos Cahoacán y Suchiate. La integridad ambiental se evaluó utilizando el Índice de Integridad Física del Hábitat (HII), que considera 12 características de los arroyos relacionados con el uso de la tierra, la zona ribereña y la geomorfología del canal.

Entre algunos meses de los años 2023 y 2024, se realizaron colectas de los odonatos adultos durante las temporadas de lluvias y de sequía a lo largo de transectos de 100 m en la zona ribereña. Se analizó la distintividad taxonómica promedio (delta más: $\Delta+$) de los ensamblajes de odonatos y su varianza (lambda más: $\lambda+$). Para reconocer la relación entre estas métricas con respecto a la elevación e integridad ambiental de los cuerpos de agua, se realizaron análisis de correlación utilizando el software RStudio. Se registraron 25 especies de odonatos en la REBIVTA, distribuidas en dos subórdenes, siete familias y 11 géneros. Las familias Coenagrionidae, Libellulidae y Calopterygidae, además del género *Argia*, presentaron la mayor riqueza. Aunque no se encontró una relación significativa entre $\Delta+$ y $\lambda+$ con la elevación y el puntaje del HII, se determinó una posible relación negativa entre $\lambda+$ y la integridad física de los sitios de muestreo, indicando una mayor estabilidad en la estructura taxonómica de los ensamblajes de odonatos en arroyos más conservados. Los resultados de este trabajo podrían contribuir a la planificación y conservación de los arroyos del volcán Tacaná, así como proporcionar información relevante para futuras investigaciones en el campo de la ecología acuática.

Palabras clave: *Argia,* HII, odonatos, REBIVTA, reservorio taxonómico.

Capítulo I. Introducción

Para tener una mayor comprensión del uso de la distintividad taxonómica de los odonatos en la evaluación de la integridad ambiental de los ecosistemas fluviales del volcán Tacaná, a manera de marco conceptual, se describen algunas palabras clave como la integridad ecológica, se contextualiza el estado de conocimiento de los odonatos como bioindicadores y se explica brevemente las características de la distintividad taxonómica como una herramienta en la evaluación de la calidad ambiental. Así mismo, se presenta la justificación y objetivo del presente estudio.

1.1. Integridad ecológica de los ecosistemas fluviales

Los ríos y arroyos son ecosistemas altamente amenazados en todo el mundo, principalmente debido a la actividad agrícola extensiva, la deforestación, la urbanización y la contaminación del agua. Para la protección y gestión de estos hábitats de agua dulce es necesaria una evaluación de su integridad ecológica (Li et al. 2010). Esta última, también denominada integridad ecosistémica, se refiere a la capacidad de autoorganización de un ecosistema, es decir, que se encuentre íntegro, balanceado y adaptable, con un rango completo de elementos y procesos esperados en el hábitat natural de la región (CONABIO 2022). Se manifiesta a través de la composición biótica, la estructura espacio-temporal y los procesos en el ecosistema (p.ej. ciclos biogeoquímicos y fenología, Equihua et al. 2014). Un ecosistema con integridad tiene la capacidad de resistir y recuperarse de la mayoría de las perturbaciones naturales o antropogénicas. Sin embargo, si la intensidad y frecuencia de los disturbios son altas, el ecosistema puede tardar en recuperar su integridad e incluso volverse vulnerable (Karr y Dudley 1981).

Si bien las estimaciones físicas y químicas son los enfoques más comunes para el monitoreo de los ecosistemas fluviales, su respuesta puede ser menos sensible y estar limitada en cuanto al tiempo y el espacio. Un enfoque distinto utiliza organismos bioindicadores, como peces, perifiton (comunidad de microorganismos adheridos a sustratos, especialmente fotosintéticos, y zooplancton) y macroinvertebrados acuáticos, que acumulan la información sobre la historia fisicoquímica de su hábitat y son altamente

sensibles a factores estresantes específicos (Andreasen et al. 2001). La bioindicación considera la tolerancia de un organismo a las variables ambientales. Los organismos con requisitos ambientales específicos se denominan estenotópicos, mientras que aquellos con amplios intervalos de tolerancia se denominan euritópicos (Bonada et al. 2006). En este caso, los cambios cualitativos en la estructura de los ensamblajes pueden ser los mejores indicadores de perturbación ecológica (Noss 1990).

1.2. El uso de los odonatos como bioindicadores

El orden Odonata integra un grupo de insectos acuáticos comúnmente conocidos como libélulas (suborden Anisoptera) y caballitos del diablo (suborden Zygoptera), con alrededor de 6,399 especies en todo el mundo (Paulson et al. 2023), de las cuales 1,636 se distribuyen en la región Neotropical (Kalkman et al. 2008). Los odonatos poseen un ciclo de vida hemimetábolo, en el que los huevos y las larvas se encuentran en el medio acuático, mientras que los adultos tienen una etapa terrestre - aérea. Las larvas representan la etapa de vida más larga y, de acuerdo a cada especie, pueden durar desde un par de meses hasta uno, dos, tres o más años (Corbet 1999). Estos insectos habitan tanto en ambientes lénticos (lagos, lagunas, humedales, pantanos) como lóticos (ríos y arroyos, Díaz Flórez et al. 2018). Tanto larvas como adultos son depredadores y en varias especies se puede observar el canibalismo. Estos insectos pueden representar a los depredadores de mayor tamaño en los cuerpos de agua, pero a su vez son presas de peces, ranas y camarones, lo que los convierte en un eslabón importante dentro de las cadenas y redes tróficas (Ramírez 2010).

Los requerimientos de hábitat de los odonatos dependen de su etapa de vida. Las larvas tienen una capacidad de dispersión limitada y dependen de la deriva en ambientes lóticos. Por ello, están estrechamente asociadas con las características físicas y químicas del agua, la velocidad de corriente, y el tipo de sustrato orgánico (hojas, ramas, frutos y troncos) e inorgánico (rocas, arena, fango). Este último es especialmente relevante para el forrajeo de las larvas y sus preferencias de microhábitat (Stoks y Córdoba-Aguilar 2012; Valente-Neto et al. 2016).

Por su parte, los adultos de Odonata se asocian más con la complejidad del hábitat

terrestre (Brito et al. 2021), es decir, la heterogeneidad y estructura de la vegetación circundante (Taniguchi y Tokeshi 2004). La vegetación ribereña y los macrófitos (plantas que viven en entornos acuáticos como ríos y lagos, con forma de vida flotante, sumergida o enraizada) juegan un papel fundamental en el ciclo de vida de los odonatos, ya que ofrecen áreas de percha, refugios contra depredadores y el viento, en el caso de las hembras de algunas especies, un sustrato para la oviposición (Corbet 1999; Cheri y Finn 2023).

Debido a que tanto larvas como adultos son afectados parcialmente por gradientes ambientales, los odonatos son considerados bioindicadores (Valente-Neto et al. 2016). La pérdida en la calidad ambiental, especialmente asociadas a cambios en la vegetación ribereña como la construcción de represas (Ferreira-Peruquetti y De Marco Jr 2002), prácticas agrícolas extensivas (Brasil et al. 2014; Oliveira-Junior et al. 2015) y proceso de urbanización (Brito et al. 2021), modifica la abundancia relativa de especies generalistas y especialistas de hábitat (Cheri y Finn 2023).

En este contexto, es importante comprender las variables locales que afectan a los ensamblajes de odonatos en gradientes ambientales, como la elevación y la integridad ambiental. Esto puede ayudar a evaluar la salud de los ecosistemas fluviales y contribuir a la planificación estratégica a largo plazo para su conservación (Valente-Neto et al. 2016; Oliveira-Junior et al. 2019; Gómez-Tolosa et al. 2021).

En el Neotrópico, diversos estudios consideran la biodiversidad de Odonata y la correlacionan con índices de integridad ecológica para establecer qué tan saludable es un cuerpo de agua (Silva et al. 2010; Gómez-Tolosa et al. 2015; Oliveira-Junior et al. 2019; Veras et al. 2020; Brito et al. 2021; Mendoza-Penagos et al. 2021). Este es el caso del Índice de Integridad Física del Hábitat (HII) desarrollado por Nessimian et al. (2008), que se utiliza para evaluar visualmente las condiciones de los arroyos a través de 12 características del hábitat (Anexo) relacionadas con el uso de la tierra adyacente, la zona ribereña, las características del cauce y la morfología del canal. En México, el HII se ha utilizado exitosamente para evaluar ambientes lóticos (Gómez-Tolosa et al. 2015; García-García et al. 2017).

1.3. Distintividad taxonómica

A diferencia de las estimaciones clásicas de diversidad como los índices de Shannon y Simpson, que utilizan información a nivel de especie y su abundancia, la diversidad filogenética mide la heterogeneidad taxonómica de un ensamblaje considerando taxones superiores al de especie (Novelo-Gutiérrez y Gómez-Anaya 2024). Las herramientas moleculares modernas han permitido descifrar la filogenia de muchos grupos biológicos; sin embargo, varios grupos hiperdiversos o raros permanecen aún sin resolver. Así que, en ausencia de una filogenia robusta, es posible utilizar las jerarquías taxonómicas como una aproximación práctica de las relaciones entre taxones de un ensamblaje (Pérez-Hernández 2019).

Bajo este contexto, un ensamblaje es más diverso si sus especies están agrupadas en una mayor cantidad de géneros y familias, en lugar de estar concentradas en pocos taxones (Clarke y Warwick 1999).

Warwick y Clarke (1995) desarrollaron índices de diversidad taxonómica, basados en el peso de las diferencias taxonómicas entre especies. La distintividad taxonómica promedio o Delta más ($\Delta+$) mide la distancia taxonómica promedio entre dos individuos elegidos al azar, ordenados en una clasificación linneana y con la condición de que sean de especies diferentes dentro de una misma muestra (Warwick y Clarke 1998). En otras palabras, $\Delta+$ mide la “amplitud taxonómica” de la muestra (Novelo-Gutiérrez y Gómez-Anaya 2024). Lambda más ($\lambda+$) expresa la varianza de $\Delta+$, donde una alta $\lambda+$ expresa mayor inequidad en la cantidad de especies distribuidas en los diferentes grupos taxonómicos, mientras que una baja $\lambda+$ equivale a una menor inequidad y, por lo tanto, una mayor estabilidad en la estructura taxonómica (Pérez-Hernández 2019). Ambas métricas se basan en la presencia - ausencia de especies, son independientes del tamaño de la muestra y del esfuerzo del muestreo (Clarke y Warwick 1999).

Tanto $\Delta+$ como $\lambda+$ se han utilizado en varios estudios de diversidad taxonómica y funcional de los ecosistemas, debido a que permiten distinguir cambios en la estructura taxonómica de los ensamblajes, demostrando su potencial en la evaluación ambiental (Warwick y Clarke 1998; Campbell y Novelo-Gutiérrez 2007; Campbell et al. 2008;

Herrera-Valdivia et al. 2016; Novelo-Gutiérrez y Gómez-Anaya 2024). Los ensamblajes perturbados generalmente se encuentran en las primeras etapas de sucesión, con menos especies y estrechamente relacionadas; los ensamblajes menos perturbados se mantienen en etapas sucesionales posteriores, con una mayor cantidad de especies y niveles taxonómicos más diversos (Warwick y Clarke 1995).

1.4. Planteamiento del problema y objetivo del estudio

Particularmente en la Reserva de la Biósfera Volcán Tacaná (REBIVTA), se desconocen los cambios en los ensamblajes de odonatos en relación con los gradientes ambientales en los arroyos de las cuencas de los ríos Cahoacán y Suchiate. En este caso, el cambio de uso de suelo, el avance de la frontera agropecuaria y la deforestación son problemas recurrentes en esta área natural protegida (Barchiesi y Córdoba 2016; CONANP 2017). El objetivo del presente estudio fue reconocer los efectos del cambio de uso de suelo sobre la distintividad taxonómica de los ensamblajes del orden Odonata en diferentes arroyos localizados en un gradiente de elevación en la REBIVTA. En este trabajo se planteó la siguiente hipótesis: la distintividad taxonómica de los ensamblajes de odonatos se incrementará en arroyos de mayor elevación debido a una mejor integridad física del hábitat; esta será menor en arroyos de menor elevación y mayor perturbación, con una estrecha relación entre los taxones.

En este sentido, el escrito se estructura de la siguiente forma:

A) Un capítulo introductorio,
B) Un capítulo con el artículo de investigación sometido a revisión por pares, y
C) Un capítulo con las conclusiones generales del estudio.

Capítulo II. Artículo de investigación

2.1. Odonatofauna (Insecta) del volcán Tacaná, Chiapas, México, lista de especies y distintividad taxonómica

Manuscrito enviado a: Revista Chilena de Entomología (Anexo 2).

Odonatofauna (Insecta) del volcán Tacaná, Chiapas, México, lista de especies y distintividad taxonómica

Odonatofauna (Insecta) of the Tacaná volcano, Chiapas, Mexico, list of species and taxonomic distinctness

Juan Antonio López-Díaz[1*], Rodolfo Novelo-Gutiérrez[2], Juan Jacobo Schmitter-Soto[3], Benigno Gómez[1]

[1]Conservación de la Biodiversidad, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. E-mail: *juan.lopez@posgrado.ecosur.mx; bgomez@ecosur.mx. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2435-3532; https://orcid.org/0000-0002-7260-6744

[2]Red de Biodiversidad y Sistemática, Instituto de Ecología, A. C. (INECOL), Xalapa, Veracruz, México. E-mail: rodolfo.novelo@inecol.mx. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3163-2820

[3]Ecología y Sistemática Acuática, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Chetumal, Quintana Roo, México. E-mail: jschmitt@ecosur.mx. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4736-8382

Resumen. Se documentó la fauna de odonatos adultos distribuidos en seis arroyos de la Reserva de la Biósfera Volcán Tacaná, durante las temporadas de lluvias y sequía entre el año 2023 y 2024. Se registró un total de 25 especies, distribuidas en 11 géneros y siete familias. Con este estudio, el número de especies registradas en la región Soconusco en el estado de Chiapas se incrementa a 88 especies. Además, se analizó la distintividad taxonómica promedio (Δ+) de los ensamblajes de estos insectos y su varianza (λ+). Se evaluó la relación de ambas métricas con respecto a la elevación e integridad física de los arroyos, no encontrándose una relación entre éstas y la elevación de los arroyos, sin embargo, λ+ se asoció negativamente con la integridad física de los cuerpos de agua. Por lo tanto, ocurre una mayor uniformidad en la estructura taxonómica de los ensamblajes de odonatos en arroyos más conservados, debido especialmente a la integridad de su vegetación ribereña.

Palabras clave: Amplitud taxonómica; HII; Odonata; reserva de la biósfera.

Abstract. The fauna of adult Odonata distributed in six streams of the Tacaná Volcano Biosphere Reserve was documented during the rainy and dry seasons between the years 2023 and 2024. A total of 25 species were recorded, belonging to 11 genera and seven families. With this study, the number of species recorded in the Soconusco region in the state of Chiapas increases to 88 species. In addition, the average taxonomic distinctness (Δ+) of the Odonata assemblages and their variance (λ+), were analyzed. The

relationship of both metrics respect to the elevation and physical integrity of the streams was evaluated, finding no relationship between these and the elevation, however, $\lambda+$ was negatively associated with the physical integrity of the water bodies. Therefore, greater stability occurs in the taxonomic structure of the odonate assemblages in more conserved streams, especially due to the integrity of the ribereñan vegetation.

Key words: Biosphere reserve; HII; Odonata; taxonomic breadth.

Introducción

Para que la investigación científica contribuya al conocimiento, conservación, manejo y aprovechamiento de la biodiversidad, es primordial realizar inventarios de las diferentes especies (León-Cortés *et al*. 2003). La información de estos estudios, como la riqueza, composición y distribución de las especies puede ser procesada, contextualizada y analizada para caracterizar la biota (Villareal *et al*. 2006). En este sentido, los resultados de inventarios taxonómicos deben permitir la implementación de metodologías y políticas que ayuden a frenar la destrucción de la biodiversidad y su hábitat (Llorente-Bousquets y Castro-Gerardino 2002). Sin embargo, incluso las biotas de áreas que han sido formalmente protegidas y relativamente bien estudiadas se conocen sólo parcialmente, debido a que la mayoría de los inventarios se han concentrado en organismos más conspicuos o "más atractivos" (Dirzo y Raven 1994).

El Tacaná es un complejo volcánico localizado entre México y Guatemala. Su altitud, que varía desde los 200 hasta casi 4100 m s.n.m., y su posición geográfica en la región neotropical, le confieren una gran diversidad de vegetación asociada al gradiente climático, incluidos el bosque mesófilo de montaña, la selva alta y mediana y el páramo de altura. Por esta razón, el Tacaná forma parte del Corredor Biológico Mesoamericano y cuenta con un gran reservorio de especies endémicas de flora y una considerable riqueza faunística (CONANP 2017; UNESCO 2010). Particularmente, en la Reserva de la Biósfera Volcán Tacaná (REBIVTA), los estudios sobre artrópodos incluyen hasta el momento el inventario de arañas (Ibarra-Núñez *et al*. 2011), escarabajos necrófilos de la subfamilia Scarabaeinae (Cancino-López *et al*. 2014), escarabajos acuáticos (Luna-Luna et al 2022), la fauna de lepidópteros (De la Maza y De la Maza 2015, De la Maza y Warren 2014, Hoffman 1933, Flores-García 2011), diversidad de Neuroptera en un gradiente de elevación (Cancino-López *et al*. 2021) e insectos acuáticos en la cuenca del río Cahoacán (Chacón 2023).

Entre los insectos acuáticos presentes en el volcán Tacaná se encuentran los pertenecientes al orden Odonata, comúnmente conocidos como libélulas (suborden Anisoptera) y caballitos del diablo (suborden Zygoptera). Las larvas de estos organismos se desarrollan en ambientes acuáticos, mientras que los adultos llevan una existencia aérea-terrestre. Por ello, habitan en una amplia gama de hábitats acuáticos, desde montañas hasta selvas. Estos artrópodos actúan como depredadores intermedios, vinculando invertebrados y vertebrados en redes alimentarias de los ecosistemas locales (Jonsson *et al*. 2007). Actualmente, el cambio de uso del suelo y la contaminación de los cuerpos de agua ha sometido a las distintas especies de odonatos a diversas presiones ambientales, colocando a muchas de ellas en riesgo de extinción (IUCN 2021). No obstante, también se ha observado un incremento en el descubrimiento y descripción de nuevas especies, especialmente en áreas poco exploradas como las regiones tropicales del planeta (Novelo-Gutiérrez 2007).

El objetivo de este estudio fue contribuir en el conocimiento de la fauna de odonatos del volcán Tacaná y su distintividad taxonómica. Se planteó la siguiente hipótesis: La distintividad taxonómica de los ensamblajes de odonatos se incrementará en arroyos de mayor elevación debido a una mejor integridad física del hábitat; ésta será menor en arroyos de menor elevación y mayor perturbación, con una estrecha relación entre los taxones.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio corresponde a seis arroyos localizados en la Reserva de la Biósfera Volcán Tacaná (REBIVTA) y su área de amortiguamiento, entre los municipios de Cacahoatán y Unión Juárez, Chiapas, México (Fig. 1). Estos sitios de muestreo se encuentran a lo largo de un gradiente de elevación y cuentan con diferente uso de suelo.

1) Centro Agroecoturístico Exóticos (EX)

Arroyo localizado en la localidad Faja de Oro, municipio de Cacahoatán, a 14°59′32.7"N y 92°10′34.2"O a una elevación de 663 m s.n.m. Este cuerpo de agua proviene del rio Ixtal y recorre la parte posterior de las instalaciones del Centro Agroecoturístico Exóticos y forma parte de la subcuenca del Suchiate (CONANP 2017). Esta área está dominada por vegetación secundaria de *Cecropia* sp.

2) Puente Colorado (PC)

Este cuerpo de agua se ubica en la localidad Puente Colorado, municipio de Cacahoatán, a 15°02´23.4“N y 92°08´27.3“O, a una elevación de 672 m s.n.m. Este arroyo es tributario del río Mixcum, subcuenca del río Suchiate. En esta área predomina un sistema de cultivo de café sin sombra.

3) Eureka (EU)

Este cuerpo de agua ese encuentra en el ejido Eureka, en la localidad El Capulín, municipio de Unión Juárez. Se ubica a 15°04´0.2“N y 92°07´33.4“O, a 1,063 m s.n.m. Corresponde a la subcuenca del río Suchiate. La vegetación está integrada principalmente por cafetales.

4) El Águila (EA)

Este arroyo se encuentra próximo al Centro Ecoturístico y mariposario Pak´al Tsix a´ (mariposas alas de agua, en lengua Mam) en el ejido El Águila, municipio de Cacahoatán. Se localiza a 15°05´36.1“N y 92°10´47.4“O, a una elevación de 1,219 m s.n.m. y corresponde a la subcuenca del río Cahoacán. La vegetación es de bosque mesófilo de montaña y cafetales.

5) Benito Juárez El Plan (BJ)

Este arroyo forma parte de la cascada Sangre del Tacaná en el ejido Benito Juárez El Plan, municipio de Cacahoatán. Se localiza entre las coordenadas 5°02´23.5“N y 92°08´27.6“O, a una elevación de 1,430 m s.n.m. Forma parte de la subcuenca del rio Cahoacán. La vegetación corresponde a bosque mesófilo de montaña.

6) Cantón de Chiquihuites (CH)

Este arroyo se ubica en la localidad más alta de la REBIVTA, Cantón de Chiquihuite (también llamado “Chiquihuites”), municipio de Unión Juárez (CONANP 2015). Se localiza a 15°04´0.1“N y 92°07´33.4“O, a una elevación de 1,678 m s.n.m. Este cuerpo de agua es un tributario del río Malá y forma parte de la subcuenca del río Suchiate. La vegetación corresponde a vegetación secundaria de bosque mesófilo de montaña.

Tipología ambiental

Para evaluar la integridad física de los arroyos se utilizó el Índice de Integridad Física del Hábitat (HII) desarrollado por Nessimian *et al*. (2008), que considera 12 características (ítems) de los arroyos enfocados al uso de la tierra, la zona ribereña, características del cauce y morfología del canal (Anexo 1). Cada ítem consta de cuatro a seis opciones ordenadas en relación con los aspectos observados en la integridad del hábitat. Este índice permite que cada ítem tenga el mismo peso en el análisis, de tal manera que los valores observados (*ao*) están estandarizados con relación al valor máximo de cada ítem (*am*, Ec. 1). El valor del índice final corresponde al valor medio para el total máximo de las características del hábitat evaluadas (*n*, Ec. 2). El valor resultante oscila entre 0 (integridad más baja) y 1 (integridad más alta).

$$Pi = \frac{ao}{am} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$HII = \frac{\sum_{i=1}^{n} Pi}{n} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde *Pi* es el peso del ítem *i* de un conjunto *n* de características consideradas en el índice, mientras que HII representa el puntaje obtenido en la evaluación de la integridad física del hábitat.

Muestreo de odonatos

Se recorrió un solo transecto de 100 m a lo largo de cada arroyo y, con ayuda de una red entomológica aérea, se recolectaron a los odonatos adultos entre la vegetación ribereña en ambos lados del cuerpo de agua (Brito *et al*. 2021). El muestreo fue realizado por dos personas, en días soleados. El esfuerzo de muestreo se estandarizó como el número de odonatos por persona en seis horas de colecta (Novelo-Gutiérrez y Gómez-Anaya 2009). De acuerdo con la distribución de la temperatura y precipitación media mensual en algunas localidades del volcán Tacaná (Fig. 2), los sitios se visitaron dos veces, una en temporada de lluvias (octubre de 2023 – noviembre 2023) y otra en temporada de sequía (enero – febrero de 2024). Para reducir el impacto en las poblaciones de odonatos, las especies reconocidas fácilmente *in situ* fueron marcadas, contabilizadas y liberadas en campo. Se utilizó un marcador de tinta indeleble para asignar un número de registro a cada individuo en el área no pigmentada de una de sus alas (Palacino-Rodríguez y Contreras-Sánchez 2014). Los ejemplares colectados se colocaron en sobres de papel encerado y se transportaron en una hielera. Los odonatos fueron congelados durante 10 minutos para reducir su metabolismo; posteriormente se les inyectó acetona al 98% y se sumergieron en este mismo

reactivo durante 24 horas para conservar su coloración (Gómez-Tolosa *et al*. 2015). Para la determinación taxonómica se utilizaron claves especializadas, además del cotejo de los ejemplares en la Colección Entomológica del Instituto de Ecología, A.C. (IEXA). El material biológico se depositó en la colección entomológica de El Colegio de la Frontera Sur, unidad Tapachula (ECO-TA-E) y del Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz (IEXA).

Calidad del inventario

Para evaluar la calidad del inventario se generaron curvas de rarefacción y extrapolación utilizando la paquetería iNEXT (Hsieh *et al*. 2016) en RStudio versión 2024.04.0+735 (RStudio Team 2020), para R 4.3.0 (R Core Team 2023). Este método de estandarización permite estimar y comparar la riqueza de especies entre diferentes sitios según el tamaño de la muestra o la cobertura del muestreo. Se emplearon los estimadores de diversidad interpolada qD (m) y extrapolada qD (n + m*) para muestras pequeñas $m < n$ y grandes ($n + m$*), respectivamente (Chao *et al*. 2014). Se realizaron 50 réplicas de bootstrap con intervalo de confianza al 95%, basado en el tamaño de la muestra. Según el análisis asintótico de Chao y Jost (2015), el porcentaje de eficiencia del muestreo en cada sitio se calculó con la Ecuación 1:

% de eficiencia= (Do/De) x 100 (Ecuación 1)

Donde *Do* se refiere a la riqueza observada de acuerdo con el tamaño de la muestra, y *De* es la riqueza esperada para el mismo tamaño de muestra.

Distintividad taxonómica

A diferencia de las medidas clásicas de diversidad (p.ej. Shannon y Simpson) que utilizan información a nivel de especie y su abundancia, la diversidad filogenética mide la heterogeneidad taxonómica de un ensamblaje considerando taxones superiores al de especie (Novelo-Gutiérrez y Gómez-Anaya 2024). Las herramientas moleculares modernas han permitido descifrar la filogenia de muchos grupos biológicos; sin embargo, varios grupos hiperdiversos o raros permanecen aún sin resolver. En ausencia de una filogenia robusta, es posible utilizar las jerarquías taxonómicas como una aproximación práctica de las relaciones entre taxones de un ensamblaje (Pérez-Hernández 2019). Así, un ensamblaje es más diverso si sus especies están agrupadas en una mayor cantidad de géneros y familias en lugar de estar concentrados en pocos taxones (Clarke y Warwick 1999).

La distintividad taxonómica promedio o Delta más (Δ+) mide la distancia promedio entre dos individuos elegidos al azar, ordenados en una clasificación linneana y con la condición de que sean de especies diferentes dentro de una misma muestra (Warwick y Clarke 1995). En otras palabras, Δ+ mide la "amplitud taxonómica" de la muestra (Novelo-Gutiérrez y Gómez-Anaya 2024). Lambda más (λ+) expresa la varianza de Δ+, en donde una alta λ+ expresa mayor inequidad en la cantidad de especies distribuidas en los diferentes grupos taxonómicos, mientras que una baja λ+ equivale a una menor inequidad, y por lo tanto, una mayor estabilidad en la estructura taxonómica (Pérez-Hernández 2019). Ambos parámetros permiten distinguir cambios en la estructura taxonómica de las comunidades, lo cual demuestra su potencial para la evaluación ambiental (Campbell *et al*. 2008; Campbell y Novelo-Gutiérrez 2007; Clarke y Warwick 1998; Novelo-Gutiérrez y Gómez-Anaya 2024). Los ensamblajes perturbados generalmente se encuentran en las primeras etapas de sucesión, con menos especies y estrechamente relacionadas; los ensamblajes menos perturbados se mantienen en etapas sucesionales posteriores con una mayor cantidad de especies y niveles taxonómicos diversos (Warwick y Clarke 1995).

Para estimar Δ+ en los ensamblajes de odonatos, las especies se estructuraron en una clasificación linneana con cuatro niveles taxonómicos: 1) especie, 2) género, 3) familia y 4) suborden. En este caso, Δ+ se obtuvo de acuerdo con Clarke y Warwick (1998, Ec.2).

$\Delta+ = 2\ [\sum\sum_{i<j} \omega ij\ /(s(s-1))]$ (Ecuación 2)

Donde, *s* es el número de especies dentro de cada ensamblaje, ωij es el peso de la distancia a través del árbol taxonómico desde la especie *i* hasta el primer nodo común con la especie *j*, y la doble suma se refiere al conjunto de especies ($i = 1, \ldots s$; $j = 1, \ldots s$, tal que $i < j$). La longitud de paso desde el nivel de especie hasta orden se consideró como 100. Así, la longitud de paso entre los cuatro niveles taxonómicos se estandarizó para igualar esta cantidad, produciendo una longitud de paso de 25 para todos los pares de especies (Fig. 3). Asimismo, λ+ se estimó de acuerdo con Clarke y Warwick (2001, Ec. 3).

$\lambda+ = [\sum\sum_{i\neq j} \omega^2 ij\ /(s(s-1))] - [\sum\sum_{i\neq j} \omega ij\ /(s(s-1))]^2$ (Ecuación 3)

Ambos parámetros se contrastaron con la distribución probabilística en una gráfica de embudo con límites de confianza al 95%, realizando 1000 iteraciones aleatorias. Para obtener estas métricas se utilizó el programa PRIMER versión 6.0 (Clarke y Gorley 2006). Para dilucidar si existía relación entre Δ+ y λ+ con respecto a la altitud y el HII se realizaron análisis de correlación de Pearson en RStudio.

Resultados y discusión

Lista de especies

Se registraron 780 individuos (667 recolectados y 113 marcados y liberados) correspondiente a un total de 25 especies, incluidas dos subespecies, agrupadas en 11 géneros y siete familias (Tab. 1). La familia con la mayor riqueza fue Coenagrionidae, con 10 especies, seguida por Libellulidae, con seis especies, y Calopterygidae, con cuatro especies; este patrón coincide con otros inventarios realizados en Chiapas (Gómez-Tolosa *et al*. 2015; Gómez-Tolosa *et al*. 2022; López-Díaz *et al*. 2021) y otras regiones de México (García-García *et al*. 2017; Novelo-Gutiérrez y Gómez-Anaya 2009). El género *Argia* tuvo el mayor número de especies que coincide con varias regiones de México, Centroamérica y las Antillas Menores (Garrison y Ellenrieder 2022), y que al tener preferencia por los ambientes lóticos (Garrison *et al*. 2010), como los que se encuentran en el volcán Tacaná, favoreció este resultado.

Esta fauna conforma el 6.68% de los odonatos que se distribuyen en México (374 especies) y el 12.5% de las especies reportadas para el estado de Chiapas (200 especies) (Paulson y González-Soriano 2024). El número de especies registrados en la REBIVTA, en la subregión "Sierra Madre" del Soconusco, es menor comparado con el trabajo realizado por Gómez-Tolosa *et al*. (2015) en la subregión "Costa" del Soconusco, donde reportaron 41 especies. A diferencia de estos autores que realizaron un muestreo en localidades que van desde 27 hasta 1,115 m s.n.m., el inventario de odonatos en el volcán Tacaná se llevó a cabo, en su mayoría, en localidades con una altitud superior a 1, 000 m s.n.m. Dado el origen tropical del orden Odonata, la altitud conlleva generalmente a una disminución en el número de especies conforme ésta incrementa (Corbet 1999; Ocharan y Torralba-Burrial 2004), como ocurre en el área de estudio. Los odonatos encontrados en el volcán Tacaná representan el 31.25% de las 80 especies que se distribuyen en toda la región Soconusco. De estas especies, ocho no se habían registrado (Tab. 2); por lo tanto, se eleva a 88 el número de especies de odonatos que se distribuyen en esta región de Chiapas.

Calidad del inventario

Con 399 individuos registrados en la temporada de lluvias, se colectó el 97.67% de las 22 especies potencialmente distribuidas en esta época del año (Fig. 4, Chao y Jost 2015). Sin embargo, con 381 odonatos registrados en la temporada de sequía se obtuvo el 54.61% del total de especies esperadas (33); este resultado puede atribuirse a un sesgo en el muestreo en algunos sitios como CH y EU, en donde las inclemencias del tiempo (mayormente nublado) impidieron una colecta continua al ocurrir una menor

actividad de estos artrópodos a lo largo del día, por lo tanto, se requiere de un mayor esfuerzo de muestreo para obtener una mejor representación de las especies que se distribuyen en la época de sequía, que, de registrarse algunas especies diferentes a las encontradas en la temporada de lluvias, especialmente de familias multivoltinas como Coenagrionidae y Libellulidae (Corbet et al. 2006), la riqueza en el área de estudio podría incrementar.

Tipología ambiental

BJ presentó la mayor integridad física del hábitat, mientras que EX fue el de menor integridad ambiental. EA, EU y CH obtuvieron un puntaje intermedio (Tab. 3). En esta situación, el uso de suelo adyacente y la integridad del bosque de ribera, fueron las variables que influyeron notablemente en el puntaje en el HII (Nessimian *et al*. 2008).

Distintividad taxonómica

El valor de $\Delta+$ para toda el área de estudio fue de 76.92 y una $\lambda+$ de 773.41. En comparación con otros inventarios de odonatos en bosque mesófilo de montaña en México, la distintividad taxonómica promedio en la REBIVTA es menor respecto a la de Cuetzalan (Puebla) (Novelo-Gutiérrez y Gómez-Anaya 2024) y el norte y oriente de Hidalgo (Escoto-Moreno *et al*. 2017), pero similar a la de la porción Sierra Norte de Puebla (Gómez-Anaya y Novelo-Gutiérrez 1993). Además, en el volcán Tacaná observamos una mayor $\lambda+$, lo que implica que hay menos uniformidad en la cantidad de especies distribuidas en categorías taxonómicas superiores (Clarke y Warwick 2001; Pérez-Hernández 2019).

Si bien en algunas regiones de México se ha documentado una relación positiva entre la distintividad taxonómica y la elevación (p.ej. Campbell *et al*. 2010), en el presente estudio se encontró una relación neutral entre ambas variables ($r= -0.15$, $p> 0.05$) a pesar de que las tierras altas de Chiapas se han descrito como regiones de alta diversificación de odonatos (Kalkman *et al*. 2008). No obstante, PC obtuvo la mayor $\Delta+$ (Fig. 5a), en donde las 11 especies registradas en este arroyo se distribuyen en una mayor cantidad de géneros y familias (seis y cinco, respectivamente). Así mismo, se encontró una posible correlación negativa entre la integridad ambiental de los arroyos con relación a $\lambda+$ ($r= -0.71$, $p= 0.051$), en donde un mayor puntaje del HII conlleva a una menor varianza de la distintividad taxonómica. En otras palabras, hay una mayor estabilidad en la estructura taxonómica de los ensamblajes de odonatos conforme mejora la integridad física de los arroyos.

Los ensamblajes de EX y EU obtuvieron la menor distintividad taxonómica y mayor inequidad, respectivamente (Fig. 5a-b), lo que indica la posible pérdida de estructuras taxonómicas superiores como familias o géneros (Campbell y Novelo-Gutiérrez 2007). Este resultado probablemente se debe a la canalización de los arroyos y la degradación de su vegetación ribereña generando la acumulación de sedimentos. Esta homogeneización ambiental influye fuertemente en la composición de especies de odonatos en ambiente lóticos (Brasil *et al*. 2014; Campbell *et al*. 2010). PC también es un arroyo de baja integridad ambiental; sin embargo, su alta distintividad taxonómica debe interpretarse con cautela. La distintividad taxonómica es una aproximación práctica hacia la diversidad filogenética que combina la riqueza y la heterogeneidad taxonómica (Campbell *et al*. 2008; Novelo-Gutiérrez y Gómez-Anaya 2024). En este contexto, la interfaz de luz y sombra sobre este cuerpo de agua posiblemente favorece la presencia de diferentes tipos de especies tanto de Anisoptera como de Zygoptera asociados a su tamaño corporal y termorregulación (De Marco Júnior *et al*. 2015; Carvalho *et al*. 2021). La mínima vegetación nativa y los cafetales permiten una mezcla de áreas abiertas y cerradas en PC, que probablemente favorece la presencia de odonatos especialistas de áreas abiertas como *H. cruentata*, *P. bifasciatus* y *P. clendoni* que suelen habitar en bosque secundario o pastizales (Donnelly 1979; García-García *et al*. 2017), así como especialistas de áreas cerradas como *H. alienum*, que habita entre la vegetación ribereña en áreas sombreadas.

Por el contrario, BJ es el arroyo con la mejor integridad física, además de ocupar la segunda posición en distintividad taxonómica y la mayor equidad en su árbol taxonómico, por lo que podría considerarse un arroyo con un reservorio taxonómico y filogenético diverso (Vela-Espinosa *et al*. 2023). Esto se debe a una mayor cantidad de especies de Zygoptera distribuidas uniformemente en varias familias. Una mayor calidad de la vegetación ribereña en este arroyo representa una condición favorable para especies de Zygoptera, quienes son especialistas de hábitat (Brito *et al*. 2021; Corbet 1999). En este contexto, Campbell *et al*. (2010) demostraron que la presencia de varias especies dependientes de plantas puede incrementar la distintividad taxonómica, como probablemente ocurre con *A. chelata*, *A. funebris*, *H. vulnerata* y *P. kauil*.

Los ensamblajes de EA y CH presentaron valores intermedios en cuanto a su distintividad taxonómica promedio y su variación. Esto concuerda con el puntaje intermedio presentado en la integridad física de ambos cuerpos de agua. EA presenta bancos inestables, sostenidos relativamente por cafetales y otras plantas vasculares, en donde la acumulación de grava, arena y limo resulta en una ampliación de su canal. Esta erosión se debe probablemente a la conversión de áreas forestales en cultivos agrícolas anuales y la

transformación de cafetales de sombra a plantaciones de café sin sombra, como una estrategia para combatir a la roya (Richter 1993; Escobar & Castillo 2021). Por su parte, CH es un arroyo utilizado como abrevadero y área de forrajeo para ganado, que afecta la calidad de la vegetación ribereña de este arroyo.

Conclusiones

Este trabajo integra el primer inventario sistemático del orden Odonata en la Reserva de la Biósfera Volcán Tacaná, en donde se documenta un total de 25 especies, que corresponden al 6.68%, 12.5% y 31.25% de las especies registradas actualmente en México, Chiapas y la región Soconusco, respectivamente; esta cantidad de especies pudiera incrementarse con un mayor esfuerzo de muestreo en la temporada de sequía. Por otra parte, la homogeneización ambiental asociada al cambio de uso del suelo conllevó a una mayor inequidad en la estructura taxonómica de los ensamblajes de odonatos. Para mantener un reservorio taxonómico diverso y estable de estos artrópodos, es deseable que los responsables de la REBIVTA implementen estrategias hacia la mejora de la integridad física de los arroyos, particularmente con relación a la vegetación ribereña.

Agradecimientos

Agradecemos a Susy E. López Salazar y Víctor I. López Paz, por su apoyo en las diferentes fases del trabajo de campo. A Eduardo Chamé Vázquez (ECO-TA-E) por las facilidades brindadas en la colección entomológica. A José Antonio Gómez Anaya (INECOL), por su asesoramiento en el análisis de la distintividad taxonómica. A Emmanuel Valencia Barrera (Observación y Estudio de la Tierra, la Atmósfera y el Océano, ECOSUR) por su apoyo en la elaboración del mapa del área de estudio. A los pobladores de las localidades visitadas en la REBIVTA, por su hospitalidad y acompañamiento en las salidas de campo. También extendemos nuestro agradecimiento a los revisores anónimos por sus acertadas observaciones hacia la mejora del escrito. El primer autor agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) la beca otorgada con número 830885 para desarrollar sus estudios en el programa de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural, de ECOSUR.

Contribución de los autores

JAL-D: Conceptualización, investigación, análisis, borrador original, edición y visualización. **RN-G**: Conceptualización, recursos, redacción y revisión. **JJS-S**: Revisión y edición. **BG**: Revisión y supervisión.

Literatura citada

Brasil, L.S., Batista, J.D., Giehl, N.F. da S., Valadão, M.B.X., Santos, J.O. dos y Dias-Silva, K. (2014) Environmental integrity and damselfly species composition in Amazonian streams at the «arc of deforestation» region, Mato Grosso, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, *26*(3): 278-287. https://doi.org/10.1590/S2179-975X2014000300007

Brito, J.P., Carvalho, F.G. y Juen, L. (2021) Response of the Zygopteran community (Odonata: Insecta) to change in environmental integrity driven by urbanization in eastern Amazonian streams. *Ecologies*, *2*:150-163. https://doi.org/10.3390/ecologies2010008

Campbell, B.W., Novelo-Gutiérrez, R. y Gómez-Anaya, J.A. (2010) Distributions of odonate richness and diversity with elevation depend on windward or leeward aspect: Implications for research and conservation planning. *Insect Conservation and Diversity*, *3*(4):302-312. https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2010.00108.x

Campbell, W.B., Arce-Pérez, R. y Gómez-Anaya, J.A. (2008) Taxonomic distinctness and aquatic Coleoptera: Comparing a perennial and intermittent stream with differing geomorphologies in Hidalgo, Mexico. *Aquatic Ecology*, *42:*103-113. https://doi.org/10.1007/s10452-007-9086-2

Campbell, W.B. y Novelo-Gutiérrez, R. (2007) Reduction in odonate phylogenetic diversity associated with dam impoundment is revealed using taxonomic distinctness. *Fundamental and Applied Limnology*, *168*:83-92. https://doi.org/10.1127/1863-9135/2007/0168-0083

Cancino-López, R.J., Chamé-Vázquez, E.R. y Gómez, B. (2014) Escarabajos necrófilos (Coleoptera: Scarabaeinae) en tres hábitats del Volcán Tacaná, Chiapas, México. *Dugesiana*, *21*(2): 135-142.

Cancino-López, R.J., Martins, C.C. y Contreras-Ramos, A. (2021) Neuroptera diversity from Tacaná volcano, Mexico: Species composition, altitudinal and biogeographic pattern of the fauna. *Diversity*, *13*(11):1-46. https://doi.org/10.3390/d13110537

Carvalho, F.G., Duarte, L., Nakamura, G., Seger, G.D.S. y Juen, L. (2021) Changes of phylogenetic and taxonomic diversity of Odonata (Insecta) in response to land use in Amazonia. *Forests*, *12*(8):1-15.

Chacón, E. (2023) *Insectos acuáticos como bioindicadores de la integridad ecológica en arroyos de la cuenca alta del río Cahoacán, Chiapas, México* [Tesis de maestría. El Colegio de la Frontera Sur]. Chiapas, México. 73 pp.

Chao, A., Gotelli, N.J., Hsieh, T.C., Sander, E.L., Ma, K.H., Colwell, R.K. y Ellison, A.M. (2014) Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, *84*:45-67. https://doi.org/10.1890/13-0133.1

Chao, A. y Jost, L. (2015) Estimating diversity and entropy profiles via discovery rates of new species.

Methods in Ecology and Evolution, *6*(8):873-882. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12349

Clarke, K.R. y Gorley, R.N. (2006) PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E: Plymouth.

Clarke, K.R. y Warwick, R.M. (1998) A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, *35*(4):523-531. https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.1998.3540523.x

Clarke, K. y Warwick, R. (1999) The taxonomic distinctness measure of biodiversity: weighting of step lengths between hierarchical levels. *Marine Ecology Progress Series*, *184*:21-29. https://doi.org/10.3354/meps184021

Clarke, K. y Warwick, R. (2001) A further biodiversity index applicable to species lists: Variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, *216*:265-278. https://doi.org/10.3354/meps216265

CONABIO [Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad] (2024) Nuevo mapa de la cobertura de suelo de México. Consultado: 24 de febrero de 2025. Disponible en: https://www.gob.mx/conabio/prensa/nuevo-mapa-de-la-cobertura-de-suelo-de-mexico?idiom=es

CONANP [Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas] (2017) *Plan de Manejo Integral del Volcán Tacaná y su Zona de Influencia en México y Guatemala*. Helvetas Swiss Intercooperation - Organización Internacional de las Maderas Tropicales (ITTO), Chiapas, México. 97 pp.

CONANP (2015) *Ordenamiento Ecológico Territorial, Cantón Chiquihuite, municipio de Unión Juárez, Chiapas*. CONANP, Chiapas, México. 97 pp.

Corbet, P. (1999) *Dragonflies: Behaviour and ecology of Odonata*. Comstock Pub. Associates. Ithaca, N.Y. 830 pp.

Corbet, P.S., Suhling, F. y Soendgerath, D. (2006) Voltinism of Odonata: A review. *International Journal of Odonatology*, *9*:1-44. https://doi.org/10.1080/13887890.2006.9748261

De la Maza, R.G. y De la Maza, J. (2015) Redescubrimiento de *Lymanopoda cinna* Godman & Salvin, 1889 (Satyrinae-Pronophilina) en el Volcán Tacaná, Chiapas, México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Lepidopterología*, 2(2):3-12.

De la Maza, R.G. y Warren, A. (2014) *Cyllopsis nelsoni* (Godman & Salvin 1881) (Nymphalidae-Satyrinae) nuevo registro para Chiapas y México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Lepidopterología*, 1(2):2-4.

De Marco Júnior, P., Batista, J.D. y Cabette, H.S.R. (2015) Community assembly of adult odonates in tropical streams: An ecophysiological hypothesis. *PLOS ONE*, *10*(4):1-17. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123023

Dirzo, R. y Raven, P.H. (1994) Un inventario biológico para México. *Botanical Sciences*, *55*:29-34. https://doi.org/10.17129/botsci.1444

Donnelly, T.W. (1979) The genus *Phyllogomphoides* in Middle America (Anisoptera: Gomphidae). *Odonatologica*, *8*(4), 245-265.

Escoto-Moreno, J.A., Novelo-Gutiérrez, R., Márquez, J. y Adabache-Ortiz, A. (2017) Odonata from the cloud forests of Hidalgo State, Mexico. *Notulae odonatologicae*, *8*(10):369-392.

Flores-García, D. (2011) *Diversidad de las mariposas Papilionoidea (Insecta: Lepidoptera) en el ejido El Águila, municipio de Cacahoatán, Chiapas* [Tesis de grado. Universidad del Mar]. Oaxaca, México. 75 pp.

García-García, P.L., Vázquez, G., Novelo-Gutiérrez, R. y Favila, M.E. (2017) Effects of land use on larval Odonata assemblages in cloud forest streams in central Veracruz, Mexico. *Hydrobiologia*, *785*:19-33. https://doi.org/10.1007/s10750-016-2900-x

Garrison, R.W. y Ellenrieder, N.V. (2022) Damselflies of the genus *Argia* Rambur, 1842 (Odonata: Coenagrionidae) from Mexico, Central America and the Lesser Antilles with descriptions of five new species. *Zootaxa*, *5201*:1-439. https://doi.org/10.11646/zootaxa.5201.1.1

Garrison, R.W., Ellenrieder, N.V. y Louton, J.A. (2010) *Damselfly genera of the New World: An illustrated and annotated key to the Zygoptera*. Johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland. 368 pp.

Garrison, R.W. y Ellenrieder, N.V. (2017) New species of the damselfly genus *Argia* from Mexico, Central America and Ecuador with an emphasis on Costa Rica (Insecta: Odonata: Coenagrionidae). *Zootaxa*, *4235*:1-93. https://doi.org/10.11646/zootaxa.4235.1.1

Gómez-Anaya, J.A. y Novelo-Gutiérrez, R. (1993) Odonata de la Sierra de Huauchinango, Puebla, México. *Bulletin of the American Odonatology*, *1*(4): 71–73.

Gómez-Tolosa, M.L., Mendoza-Cuenca, L.F., Rioja-Paradela, T.M., Espinoza-Medinilla, E.E., Edith Alonso-Eguía-Lis, P., Rivera-Velázquez, G., Penagos-García, F.E., Pérez-Munguía, R.M., Ortega-Salas, H., Gómez-Cristiani, M. y Gómez-Gutiérrez, R.B. (2015) Odonata (Insecta) de tres cuencas en la costa de Chiapas: Lista de especies y registro nuevo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *86*:41-47. https://doi.org/10.7550/rmb.48665

Gómez-Tolosa, M., Gónzalez-Soriano, E., Penagos-García, F.E. y López, S. (2022) Listado de especies de Odonata (Insecta) en dos áreas naturales protegidas del estado de Chiapas y primer registro estatal de *Argia gaumeri*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *93*:1-8. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.4992

González-Soriano, E. y Paulson, D.R. (2011) Odonata de Chiapas. Pp. 299-314. *En:* Álvarez-Noguera, F. (Ed.). *Chiapas: Estudios sobre su diversidad biológica*. Instituto de Biología UNAM, México. 518 pp.

Hoffman, C.C. (1933) La fauna de lepidópteros del Distrito del Soconusco (Chiapas), un estudio zoogeográfico. Anales del Instituto de Biología, UNAM. 4(3-4):279-292.

Hsieh, T.C., Ma, K.H. y Chao, A. (2016) iNEXT: An R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, *7*(12):1451-1456. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613

Ibarra-Núñez, G., Maya-Morales, J. y Chamé-Vázquez, D. (2011) Las arañas del bosque mesófilo de montaña de la Reserva de la Biosfera Volcán Tacaná, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *82*:1183-1193.

IUCN [International Union for Conservation of Nature] (2021) IUCN News & Events. Dragonflies threatened as wetlands around the world disappear—IUCN Red List. Consultado: 03 de octubre de 2024. Disponible en: https://iucn.org/news/species/202112/dragonflies-threatened-wetlands-around-world-disappear-iucn-red-list

Jonsson, M., Johansson, F., Karlsson, C. y Brodin, T. (2007) Intermediate predator impact on consumers weakens with increasing predator diversity in the presence of a top-predator. *Acta Oecologica*, *31*:79-85. https://doi.org/10.1016/j.actao.2006.10.007

Kalkman, V.J., Clausnitzer, V., Dijkstra, K.-D.B., Orr, A.G., Paulson, D.R. y van Tol, J. (2008) Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater. *Hydrobiologia*, *595*:351-363. https://doi.org/10.1007/s10750-007-9029-x

León-Cortés, J.L., Lorenzo-Monterrubio, C. y Pozo, C. (2003) *Colecciones biológicas de El Colegio de la Frontera Sur, México.* ECOSUR-CONABIO. México.

Llorente-Bousquets, J.E. y Castro-Gerardino, D.J. (2002) Colecciones entomológicas en instituciones taxonómicas de Iberoamérica: ¿Hacia estrategias para el inventario de la biodiversidad? *Monografías Tercer Milenio, Sociedad Entomológica Aragonesa*, *2*: 307-318.

López-Díaz, J.A., Gómez, B., González-Soriano, E. y Gómez-Tolosa, M. (2021) Odonata (Insecta) como indicador de la calidad ambiental en humedales de montaña neotropicales. *Acta Zoológica Mexicana (N.S.)*, *37*:1-17. https://doi.org/10.21829/azm.2021.3712379

Luna-Luna M.A., Martins C.C., López-Pérez A., Ramírez-Ponce A. y Contreras-Ramos A. (2022) Aquatic beetle diversity from Volcán Tacaná, Mexico: altitudinal distribution pattern and biogeographical affinity of the fauna. *ZooKeys*, 1111: 301–338. https://doi:10.3897/zookeys.1111.68665

Nessimian, J.L., Venticinque, E.M., Zuanon, J., De Marco, P., Gordo, M., Fidelis, L., D'arc Batista, J. y Juen, L. (2008) Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia*, *614*:117-131. https://doi.org/10.1007/s10750-008-9441-x

Novelo-Gutiérrez, R. (2007) El estudio de los odonatos (Insecta: Odonata) en México, Enfoque y perspectivas. *En*: Simposio Internacional Entomología Acuática Mexicana: Estado Actual de

Conocimiento y Aplicación. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-Sociedad Mexicana de Entomología, Morelos, México. Pp. 9-23.

Novelo-Gutiérrez, R. y Gómez-Anaya, J.A. (2009) A comparative study of Odonata (Insecta) assemblages along an altitudinal gradient in the sierra de Coalcomán Mountains, Michoacán, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, *18*(3):679-698. https://doi.org/10.1007/s10531-008-9533-y

Novelo-Gutiérrez, R. y Gómez-Anaya, J.A. (2024) Los odonatos del bosque mesófilo de montaña de Cuetzalan, Puebla, México, con una clave para los imagos (Insecta: Odonata). *Dugesiana*, *31*(2), 101-123.

Ocharan, F.J. y Torralba-Burrial, A. (2004) La relación entre los odonatos y la altitud: El caso de Asturias (Norte de España) y la Península Ibérica (Odonata). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*. *35*:103-116.

Ortega-Salas, H., González-Soriano, E. y Jocque, M. (2022) Untangling the waterfall damsels: A review of the Mesoamerican genus *Paraphlebia* Selys in Hagen, 1861 (Odonata: Thaumatoneuridae) with descriptions of 11 new species. *Zootaxa*, *5089*:1-66. https://doi.org/10.11646/zootaxa.5089.1.1

Palacino-Rodríguez, F. y Contreras-Sánchez, N.A. (2014) Does experimental marking of wings influence resighting success in Mesamphiagrion laterale and Erythrodiplax umbrata? (Odonata: Coenagrionidae, Libellulidae). *Odonatologica*, *43*(3/4):237-246.

Paulson, D.R. y González-Soriano, E. (2024) Slater Museum of Natural History, University of Puget Sound, Mexican Odonata. Odonata of Mexico, By State. Consultado: 14 de septiembre de 2024. Disponible en: https://www.pugetsound.edu/slater-museum-natural-history-0/biodiversity-resources/insects/dragonflies/world-odonata-list/mexican-odonataorld-odonata-list-4.

Pérez-Hernández, C.X. (2019) Distintividad taxonómica: Evaluación de la diversidad en la estructura taxonómica en los ensambles. Pp. 285-306. *En*: Moreno, C. (Ed.). *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México, México. 379 pp.

R Core Team. (2023) The R Project for Statistical Computing (Versión 4.3.1) [Multiplataforma]. R Development Core Team. Consultado: 08 de julio de 2023. Disponible en: https://www.r-project.org/

RStudio Team. (2020) RStudio: Integrated Development for R (Versión 2024.04.0+735) [Windows]. Consultado: 28 de agosto de 2023. Disponible en: http://www.rstudio.com/

UNESCO [United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization] (2010) *Red mundial de reservas de la biósfera: Lugares de desarrollo sostenible.* UNESCO-Gobierno de España. 587 pp.

Vela-Espinosa, D.A., Díaz-Ruiz, S., López-Pérez, A. y Valencia-Méndez, O. (2023) Composición, distintividad taxonómica y diversidad beta de la ictiofauna marina del Parque Nacional Huatulco. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *94*:1-19. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.4974

Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. y Umaña, A.M. (2006) *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad* (Segunda edición). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Programa Inventarios de Biodiversidad, Grupo de Exploración y Monitoreo Ambiental (GEMA). 236 pp.

Warwick, R.M. y Clarke, K.R. (1995) New «Biodiversity» measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series*, *129*:301-305.

Tabla 1. Especies de odonatos adultos distribuidos en seis arroyos (área sombreada) de la Reserva de la Biósfera Volcán Tacaná.

	Especies	**Sitios**					
Zygoptera		**EX**	**PC**	**EU**	**EA**	**BJ**	**CH**
Calopterygidae	*Hetaerina capitalis* Selys, 1873		■	■	■	■	
	Hetaerina cruentata (Rambur, 1842)	■	■	■	■	■	■
	Hetaerina occisa Hagen *in* Selys, 1853	■					
	Hetaerina vulnerata Hagen *in* Selys, 1853					■	■
Coenagrionidae	*Argia anceps* Garrison, 1996	■	■	■	■		
	Argia chelata Calvert, 1902				■	■	■
	Argia cuprea (Hagen, 1861)				■		
	Argia elongata Garrison y von Ellenrieder, 2017	■	■	■	■		■
	Argia funebris (Hagen, 1861)					■	■
	Argia gonzalezi Garrison y von Ellenrieder, 2022			■			
	Argia oenea Hagen *in* Selys, 1865	■	■				
	Argia pocomana Calvert, 1907	■	■				
	Argia ulmeca Calvert, 1902	■	■	■	■		
	Argia variabilis Selys, 1865				■		
Heteragrionidae	*Heteragrion alienum* Williamson, 1919		■		■		
Thaumatoneuridae	*Paraphlebia kauil* Ortega-Salas y González-Soriano, 2022			■		■	
Anisoptera							
Aeshnidae	*Oplonaeschna armata* (Hagen, 1861)						■
Gomphidae	*Phyllogomphoides bifasciatus* (Hagen in Selys, 1878)		■				
	Progomphus clendoni Calvert, 1905		■				
Libellulidae	*Brechmorhoga pertinax pertinax* (Hagen, 1861)			■	■		
	Brechmorhoga rapax rapax Calvert, 1898				■	■	
	Brechmorhoga vivax Calvert, 1906		■				
	Dythemis sterilis Hagen, 1861	■					
	Elasmothemis cannacrioides (Calvert, 1906)	■					
	Libellula herculea Karsch, 1889				■		

Tabla 2. Nuevos registros de odonatos para la región Soconusco en Chiapas.

Especies	Distribución municipal en Chiapas	
	González-Soriano y Paulson (2011)	**Este estudio**
Hetaerina vulnerata Hagen in Selys, 1853	Acala, Ángel A. Corzo, Bochil, Independencia, Rayón y San Cristóbal de Las Casas	Cacahoatán y Unión Juárez
Argia chelata Calvert, 1902	Ángel A. Corzo, Bochil, Pichucalco y San Cristóbal de Las Casas	Cacahoatán y Unión Juárez
Argia gonzalezi Garrison y von Ellenrieder, 2022	Rayón y Rincón Chamula	Unión Juárez
Argia variabilis Selys, 1865	Ocozocoautla	Cacahoatán
Oplonaeschna armata (Hagen, 1861)	Ángel A. Corzo, Motozintla y San Cristóbal de Las Casas	Unión Juárez
Brechmorhoga pertinax pertinax (Hagen, 1861)	Acala, Ángel A. Corzo, Ixhuatán, Ocozocoautla y Rayón	Cacahoatán y Unión Juárez
Brechmorhoga rapax rapax Calvert, 1898	Ángel A. Corzo, Ixhuatán, La Trinitaria y Rayón	Cacahoatán
Libellula herculea Karsch, 1889	Ocozocoautla y Salto de Agua	Cacahoatán

Tabla 3. Características de los sitios de muestreo de Odonata en la Reserva de la Biósfera Volcán Tacaná.

Sitio de muestreo	**Altitud**	**Puntaje del HII**	**Δ+**	**λ+**
Exóticos (EX)	663	0.51	68.75	985.24
Puente Colorado (PC)	672	0.69	75.45	783.88
Eureka (EU)	1063	0.87	68.75	742.19
El Águila (EA)	1219	0.89	71.59	906.94
Benito Juárez El Plan (BJ)	1430	0.98	72.62	649.09
Chiquihuites (CH)	1678	0.81	70	850.00

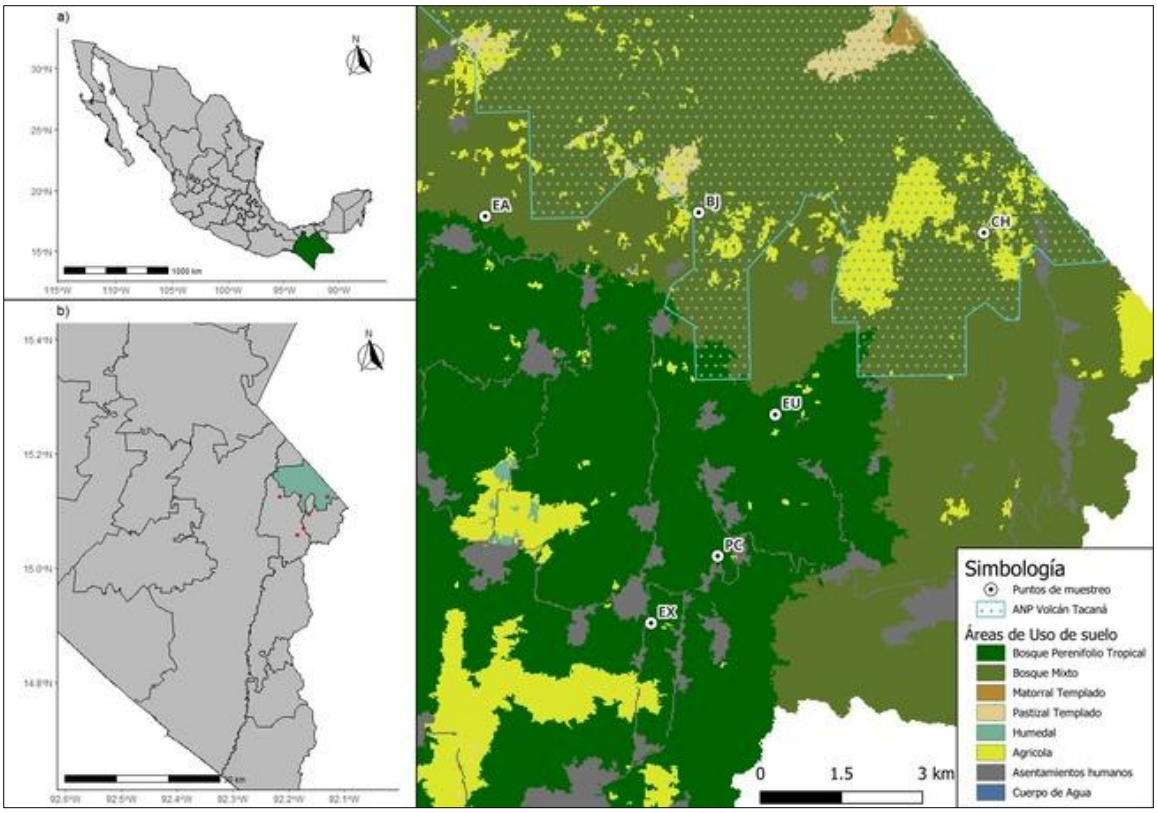


Figura 1. Mapa del área de estudio; a) estado de Chiapas, México, b) Área Natural Protegida (ANP) Reserva de la Biósfera Volcán Tacaná, c) localización de los puntos de muestreo. Mapa elaborado con el ráster de la cobertura del suelo de México a 30 metros 2020 (CONABIO 2024).

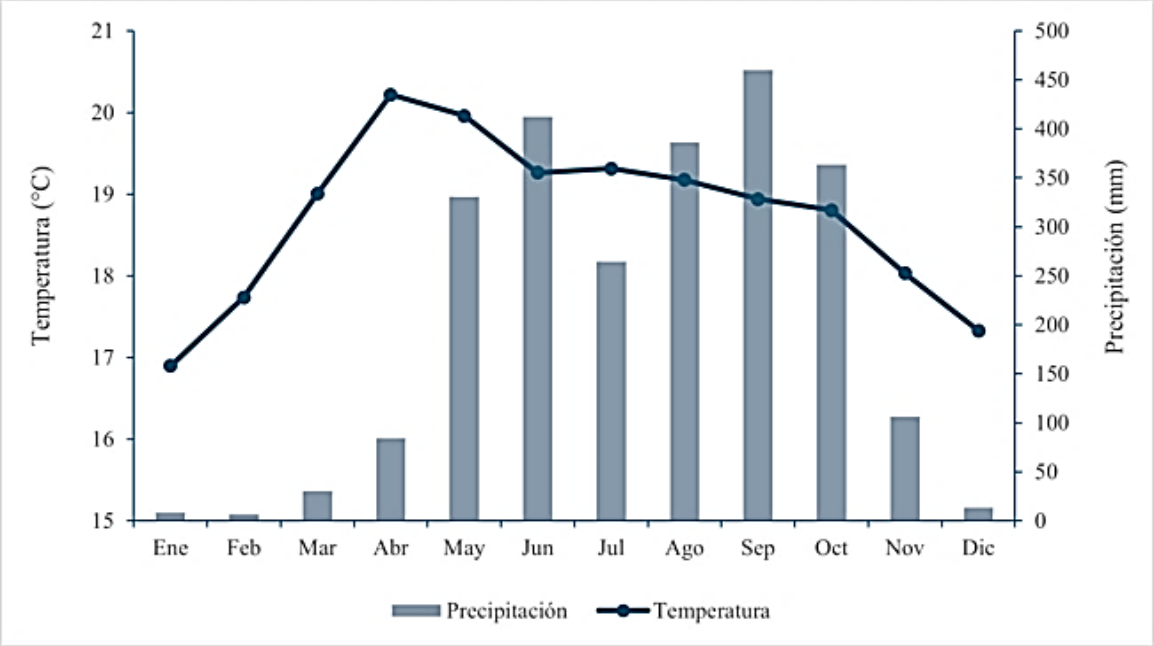


Figura 2. Distribución de la temperatura y precipitación media mensual en el ejido El Águila, volcán Tacaná, durante los años 2012-2022. Climograma elaborado con información del geoportal climático del sistema NASA POWER:

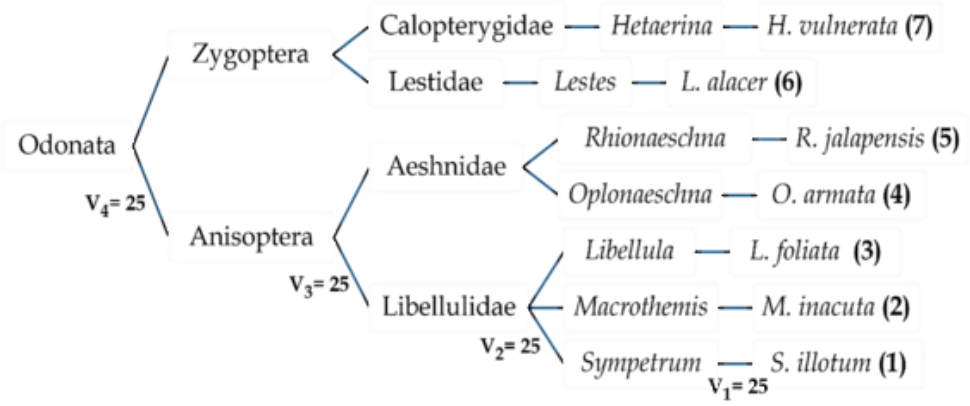


Figura 3. Ejemplo de árbol taxonómico que representa a siete especies de odonatos colectados durante junio de 2014 en humedales de montaña de Chiapas. Los pesos de las longitudes de paso entre *S. illotum* y *H. vulnerata* se obtienen como: $\omega 1,7 = \omega 7,1 = v1 + v2 + v3 + v4 = 100$.

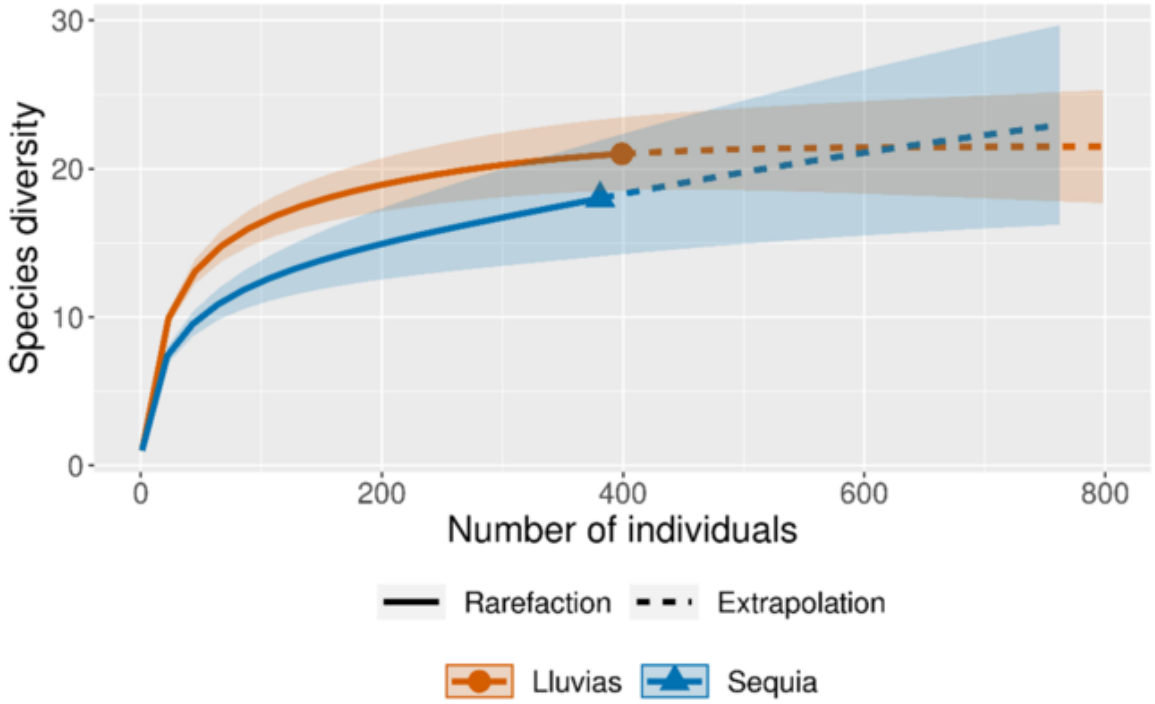


Figura 4. Rarefacción – Extrapolación de la riqueza de odonatos registrados durante la temporada de lluvias y sequía en la Reserva de la Biósfera Volcán Tacaná.

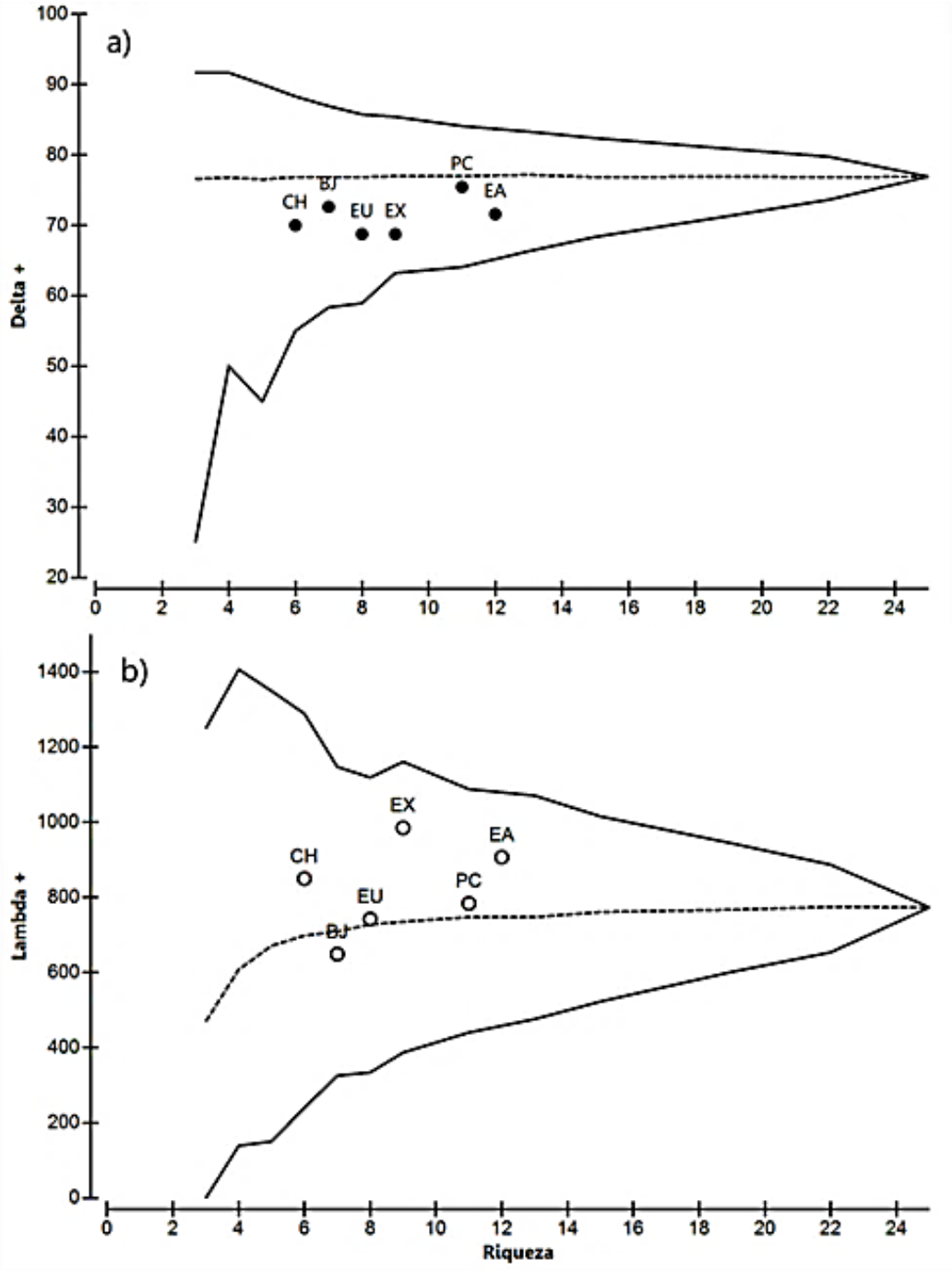


Figura 5. Distintividad taxonómica promedio (a) y su varianza (b) en los ensamblajes de odonatos registrados en la REBIVTA. Promedio (línea discontinua) y límites de confianza al 95% (línea continua).

Título corto: Odonata del volcán Tacaná, México.

Capítulo III. Conclusiones

Se registraron 25 especies de odonatos adultos en la REBIVTA, representando el 7 %, 13 % y 31 % de las especies registradas en México, el estado de Chiapas y la región Soconusco, respectivamente. La mayor riqueza se observó en la familia Coenagrionidae, particularmente dentro del género *Argia.* De acuerdo con el análisis asintótico, en la temporada de lluvias se documentó el número de especies que potencialmente se encuentra en la REBIVTA en esta época del año, sin embargo, en la sequía se registró una riqueza inferior a la esperada; por lo tanto, se requiere un mayor esfuerzo de muestreo para obtener una representación más completa de las especies presentes en esa época del año.

La distintividad taxonómica promedio de los odonatos en el volcán Tacaná fue de 76.92. Este valor es comparable con otras regiones de México que poseen bosque mesófilo de montaña, siendo similar al registrado en la Sierra Norte de Puebla. Además, el valor de la varianza en la distintividad taxonómica promedio (773.41) sugiere que en el área de estudio ocurre una menor uniformidad en la cantidad de especies distribuidas entre géneros, familias y subórdenes de Odonata.

En general, se observó un descenso en la integridad ecológica de los arroyos conforme disminuyó la elevación. El uso del suelo adyacente, especialmente como cafetales sin sombra y vegetación secundaria, además de una menor integridad del bosque de ribera fueron las variables que influyeron notablemente en un menor puntaje en el Índice de Integridad Física del Hábitat (HII). En este sentido, la homogeneización ambiental asociada a estos dos usos del suelo en el área de estudio conllevó a una mayor inequidad en la estructura taxonómica de los ensamblajes de odonatos. Para mantener un reservorio taxonómico diverso y estable de estos artrópodos, es deseable que los responsables de la REBIVTA implementen estrategias para mejorar la integridad física de los arroyos, particularmente con relación a la vegetación ribereña, debido a su estrecha relación con el ciclo de vida de los odonatos.

Referencias

Andreasen JK, O'Neill RV, Noss R, Slosser NC. 2001. Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity. Ecological Indicators. 1(1):21–35. https://doi.org/10.1016/S1470-160X(01)00007-3

Barchiesi S, Córdoba R. 2016. The Tacaná watersheds: Developing untapped potential - strengthening resilience through cross-sectoral collaboration. IUCN International Union for Conservation of Nature; [consultada 2023 julio 20]. https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.12.en

Bonada N, Prat N, Resh VH, Statzner B. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. Annual Review of Entomology. 51(1):495–523. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124

Brasil LS, Batista JD, Giehl NF da S, Valadão MBX, Santos JO dos, Dias-Silva K. 2014. Environmental integrity and damselfly species composition in amazonian streams at the "arc of deforestation" region, Mato Grosso, Brazil. Acta Limnologica Brasiliensia. 26(3):278–287. https://doi.org/10.1590/S2179-975X2014000300007

Brito JP, Carvalho FG, Juen L. 2021. Response of the zygopteran community (Odonata: Insecta) to change in environmental integrity driven by urbanization in eastern amazonian streams. Ecologies. 2(1):150–163. https://doi.org/10.3390/ecologies2010008

Campbell WB, Arce-Pérez R, Gómez-Anaya JA. 2008. Taxonomic distinctness and aquatic Coleoptera: comparing a perennial and intermittent stream with differing geomorphologies in Hidalgo, Mexico. Aquatic Ecology. 42(1):103–113. https://doi.org/10.1007/s10452-007-9086-2

Campbell WB, Novelo-Gutiérrez R. 2007. Reduction in odonate phylogenetic diversity associated with dam impoundment is revealed using taxonomic distinctness.

Fundamental and Applied Limnology. 168(1):83–92. https://doi.org/10.1127/1863-9135/2007/0168-0083

Cheri CR, Finn DS. 2023. Odonata as Indicators? Dragonflies and damselflies respond to riparian conditions along Ozark Spring streams. Hydrobiology. 2(1):260–276. https://doi.org/10.3390/hydrobiology2010017

Clarke K, Warwick R. 1999. The taxonomic distinctness measure of biodiversity:weighting of step lengths between hierarchical levels. Marine Ecology Progress Series. 184:21–29. https://doi.org/10.3354/meps184021

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2017. Plan de Manejo Integral del Volcán Tacaná y su Zona de Influencia en México y Guatemala. Chiapas, México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2022. Biodiversidad Mexicana. ¿Qué es un corredor biológico?; [consultada 2023 junio13]. https://www.biodiversidad.gob.mx/region/que-es-corredor

Corbet P. 1999. Dragonflies: Behaviour and ecology of Odonata. Colchester: Comstock. Alberta, Canadá.

Díaz Flórez B, Pozo García M, Altamiranda Saavedra M, Martínez Hernández N. 2018. Estructura poblacional de Mecistogaster ornata Rambur 1842 (Odonata: Pseudostigmatidae) en dos fragmentos de bosque seco tropical en el departamento del Atlántico, Colombia. Boletín científico del centro de museos de la Universidad de Caldas. 22(2):107–131. https://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.2.9

Equihua ZM, García AN, Pérez-Maqueo O, Benítez BD, Kolb, Schmidt M, Equihua BJ, Maeda P, Álvarez JL. 2014. Ecological integrity as indicator of environmental quality -Integridad ecológica como indicador de la calidad ambiental. En: González CA, Vallarino A, Pérez JC, Low AM. Eds. Bioindicadores: guardianes de nuestro

futuro ambiental. México: El Colegio de la Frontera Sur, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático; p. 687–710.

Ferreira-Peruquetti PS, De Marco Jr. P. 2002. Efeito da alteração ambiental sobre comunidades de Odonata em riachos de Mata Atlântica de Minas Gerais, Brasil. Revista Brasileira de Zoologia. 19(2):317–327. https://doi.org/10.1590/S0101-81752002000200002

García-García PL, Vázquez G, Novelo-Gutiérrez R, Favila ME. 2017. Effects of land use on larval Odonata assemblages in cloud forest streams in central Veracruz, Mexico. Hydrobiologia. 785(1):19–33. https://doi.org/10.1007/s10750-016-2900-x

Gómez-Tolosa M de L, Mendoza-Cuenca LF, Rioja-Paradela TM, Espinoza-Medinilla EE, Edith Alonso-Eguía-Lis P, Rivera-Velázquez G, Penagos-García FE, Pérez-Munguía RM, Ortega-Salas H, Gómez-Cristiani M, Gómez-Gutiérrez RB. 2015. Odonata (Insecta) de tres cuencas en la costa de Chiapas: Lista de especies y registro nuevo. Revista Mexicana de Biodiversidad. 86(1):41–47. https://doi.org/10.7550/rmb.48665

Gómez-Tolosa M, Gónzalez-Soriano E, Penagos-García FE, López S. 2022. Listado de especies de Odonata (Insecta) en dos áreas naturales protegidas del estado de Chiapas y primer registro estatal de *Argia gaumeri*. Revista Mexicana de Biodiversidad. 93:e934992. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.4992

Gómez-Tolosa M, Rivera-Velázquez G, Rioja-Paradela TM, Mendoza-Cuenca LF, Tejeda-Cruz C, López S. 2021. The use of Odonata species for environmental assessment: A meta-analysis for the Neotropical region. Environmental Science Pollution Research. 28(2):1381–1396. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11137-9

Herrera-Valdivia E, López-Martínez J, Castillo S, García-Juárez AR. 2016. Diversidad taxonómica y funcional en la comunidad de peces de la pesca de arrastre de

camarón en el norte del Golfo de California, México. Revista de Biología Tropical. 64(2):587–602.

Kalkman VJ, Clausnitzer V, Dijkstra K-DB, Orr AG, Paulson DR, van Tol J. 2008. Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater. Hydrobiologia. 595(1):351–363. https://doi.org/10.1007/s10750-007-9029-x

Karr JR, Dudley DR. 1981. Ecological perspective on water quality goals. Environmental Management. 5(1):55–68. https://doi.org/10.1007/BF01866609

Li L, Zheng B, Liu L. 2010. Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: Definitions, approaches and trends. Procedia Environmental Sciences. 2:1510–1524. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.164

Mendoza-Penagos CC, Calvão LB, Juen L. 2021. A new biomonitoring method using taxonomic families as substitutes for the suborders of the Odonata (Insecta) in Amazonian streams. Ecological Indicators. 124:107388. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107388

Nessimian JL, Venticinque EM, Zuanon J, De Marco P, Gordo M, Fidelis L, D'arc Batista J, Juen L. 2008. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. Hydrobiologia. 614(1):117. https://doi.org/10.1007/s10750-008-9441-x

Noss RF. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. Conservation Biology. 4(4):355-364. http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x

Novelo-Gutiérrez R, Gómez-Anaya JA. 2024. Los odonatos del bosque mesófilo de montaña de Cuetzalan, Puebla, México, con una clave para los imagos (Insecta: Odonata). Dugesiana. 31(2):101–123.

Ocharan FJ, Torralba-Burrial A. 2004. La relación entre los odonatos y la altitud: el caso de Asturias (Norte de España) y la Península Ibérica (Odonata). Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa. 35:103–116.

Oliveira-Junior JMB, Dias-Silva K, Teodósio MA, Juen L. 2019. The response of neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) to local and regional abiotic factors in small streams of the Amazon. Insects. 10(12):446. https://doi.org/10.3390/insects10120446

Oliveira-Junior JMB, Shimano Y, Gardner TA, Hughes RM, De Marco Júnior P, Juen L. 2015. Neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) as indicators of ecological condition of small streams in the eastern Amazon: Bioindicators dragonflies in the Amazon. Austral Ecology. 40(6):733–744. https://doi.org/10.1111/aec.12242

Paulson D, Schorr M, Abbott J, Bota-Sierra C, Deliry C, Dijkstra K-D, Lozano F. 2023. Odonata Central. World Odonata List; [consultada 2023 mayo 6]. https://www.odonatacentral.org/app/#/wol/

Pérez-Hernández CX. 2019. Distintividad taxonómica: Evaluación de la diversidad en la estructura taxonómica en los ensambles. En: Moreno CE. Ed. La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio. Ciudad de México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex; p. 285–306.

Ramírez, Alonso. 2010. Odonata. Revista de Biología Tropical. 58(4):97–136.

Silva D de paiva, De Marco P, Resende DC. 2010. Adult odonate abundance and community assemblage measures as indicators of stream ecological integrity: A case study. Ecological Indicators. 10(3):744–752. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.12.004

Stoks R, Córdoba-Aguilar A. 2012. Evolutionary ecology of odonata: A complex life cycle perspective. Annual Review of Entomology. 57(1):249–265. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100557

Taniguchi H, Tokeshi M. 2004. Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. Freshwater Biology. 49(9):1164–1178. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2004.01257.x

Valente-Neto F, de Oliveira Roque F, Rodrigues ME, Juen L, Swan CM. 2016. Toward a practical use of neotropical odonates as bioindicators: Testing congruence across taxonomic resolution and life stages. Ecological Indicators. 61:952–959. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.052

Veras DS, Lustosa GS, Moura LP, Ferreira MFR, Juen L. 2020. Differences in land use modify Odonata assemblages in the Cerrado-Caatinga ecotone. Acta Limnologica Brasiliensia. 32:e15. https://doi.org/10.1590/s2179-975x7119

Warwick RM, Clarke KR. 1995. New “Biodiversity” measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. Marine Ecology Progress Series. 129(1):301–305.

Warwick RM, Clarke KR. 1998. Taxonomic distinctness and environmental assessment. Journal of Applied Ecology. 35(4):532–543. https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.1998.3540532.x

Anexos

Anexo 1. Parámetros y puntaje del Índice de Integridad Física del Hábitat (HII), modificado de Nessimian *et al*. (2008).

Ítem	Característica	Condición	Puntaje
F1	Patrón de uso del suelo adyacente a la zona ribereña	Bosque continuo primario/fragmento de 100 ha / fragmento de 10 ha	6
		Bosque secundario de *Cecropia** / bosque secundario mixto	5
		Bosque secundario *Vismia***	4
		Pastizal	3
		Cultivos perennes	2
		Cultivos de ciclo corto/suelo expuesto	1
F2	Ancho del bosque de ribera	Bosque continuo	6
		Ancho del bosque entre 30 y 100 m	5
		Ancho del bosque entre 5 y 30 m	4
		Ancho del bosque entre 1 y 5 m	3
		Bosque ribereño ausente, pero algunas especies de arbustos y árboles pioneros	2
		Bosque ribereño y vegetación arbustiva ausente	1
F3	Integridad del bosque de ribera	Bosque ribereño intacto sin interrupciones en la vegetación	4
		Interrupciones que ocurren a intervalos mayor a 50 m	3
		Interrupciones frecuentes con cárcavas y cicatrices cada 50 m	2
		Profundamente marcado con barrancos (quebradas) a lo largo de su longitud.	1
F4	Vegetación de la zona	Más del 90 % de densidad de plantas por árboles o arbustos no pioneros	4

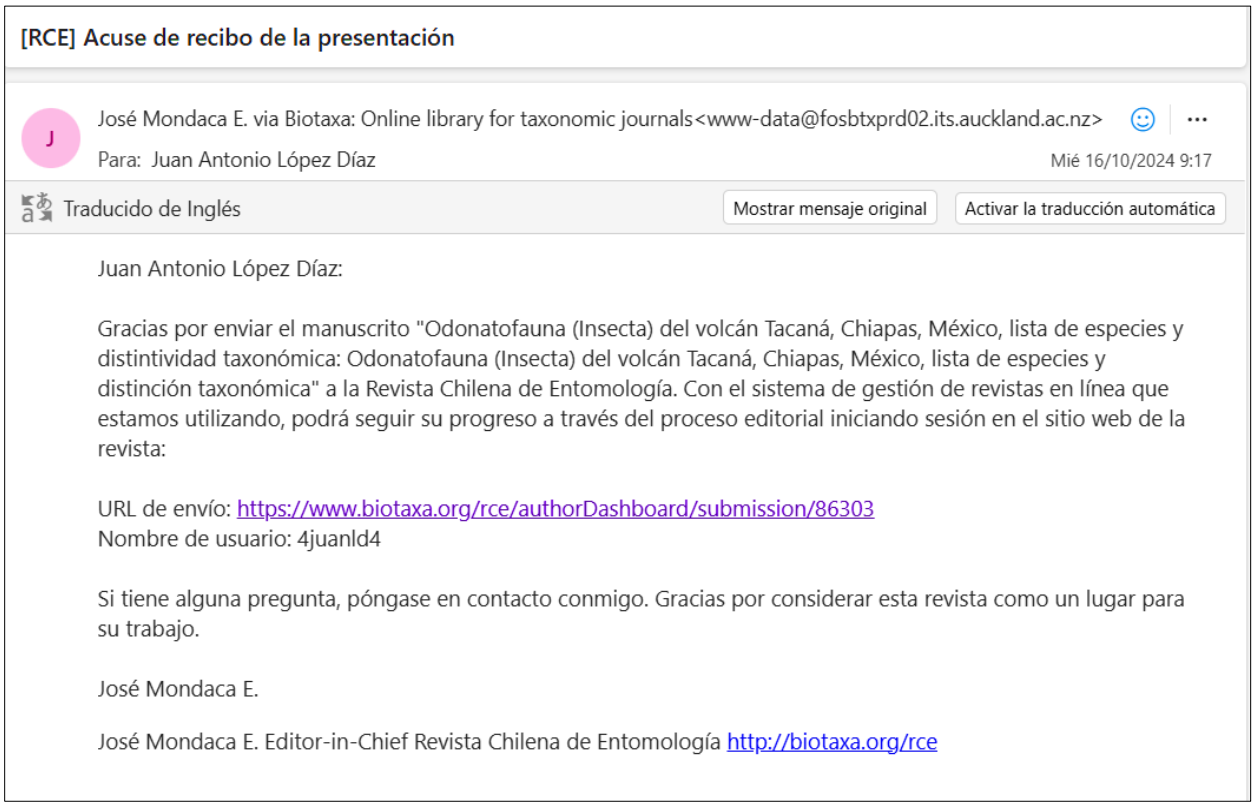
	ribereña dentro de los 10 m del canal	Mezcla de especies pioneras y árboles maduros.	3
		Hierbas mixtas y árboles y arbustos pioneros dispersos	2
		Hierbas y pocos arbustos arbóreos	1
F5	Dispositivos de retención	Canal con rocas o troncos viejos firmemente colocados	4
		Rocas o troncos presentes pero rellenados con sedimentos	3
		Dispositivos de retención sueltos, moviéndose con inundaciones	2
		Canal de limo arenoso suelto, pocas obstrucciones del canal	1
F6	Sedimentos del canal	Poca o ninguna ampliación del canal como resultado de la acumulación de sedimentos	4
		Algunas barras de grava de piedras toscas y poco limo	3
		Barras de sedimentos de rocas, arena y limo común	2
		Canal dividido en ramas o canal de corriente corregido	1
F7	Estructura del banco	Bancos discretos	5
		Bancos estables, con rocas y suelo sostenidos firmemente por pastos, arbustos o raíces de árboles	4
		Bancos firmes pero sostenidos libremente por pastos y arbustos	3
		Bancos de tierra suelta sostenida por una capa escasa de hierba y arbustos	2

		Orillas inestables, fácilmente perturbables, con tierra suelta o arena	1
F8	Desgaste de los márgenes de los arroyos	Poco, no evidente o restringido a áreas con soporte de raíces de árboles	4
		Corte solo en curvas y en constricciones	3
		Corte frecuente, socavación de bancos y raíces	2
		Corte severo a lo largo del canal, desplome de bancos	1
F9	Corriente de fondo	Fondo de piedra de varios tamaños empaquetados juntos, intersticios obvios	4
		Fondo con piedras fácilmente removidas, con poco limo	3
		Fondo de limo, grava y arena, estable en algunos lugares	2
		Fondo uniforme de arena y limo poco unidos, sustrato pedregoso ausente	1
F10	Rápidos y estanques, o meandros	Distinto, que ocurre a intervalos de 5 a 79 el ancho de la corriente	4
		Irregularmente espaciados	3
		Pozas largas que separan rápidos cortos, meandros ausentes	2
		Meandros y rápidos/pozas ausentes o corriente corregida	1
F11	Vegetación acuática	Cuando está presente, consiste en musgo y parches de algas.	4
		Algas dominantes en estanques, plantas vasculares a lo largo del borde	3
		Mantas de algas presentes, algunas plantas vasculares, pocos musgos	2

		Mantas de algas cubren el fondo, las plantas vasculares dominan el canal	1
F12	Detritus	Compuesto principalmente de hojas y madera, sin sedimentos.	5
		Compuesto principalmente de hojas y madera, con sedimento.	4
		Pocas hojas y madera, restos orgánicos finos, con sedimento	3
		Sin hojas ni restos leñosos, materia orgánica gruesa y fina, con sedimento	2
		Sedimento anaeróbico fino, sin residuos gruesos	1

*Las especies de este género son heliófilas y pioneras de vegetación secundaria. **Las especies de este género corresponden a vegetación secundaria generada por incendios o deforestación; en el caso de México, se desarrollan a través del sistema de roza-tumba-quema.

Anexo 2. Constancia del artículo de investigación sometido a Revista Chilena de Entomología.



[RCE] Acuse de recibo de la presentación

J

José Mondaca E. via Biotaxa: Online library for taxonomic journals<www-data@fosbtxprd02.its.auckland.ac.nz>

Para: Juan Antonio López Díaz

Mié 16/10/2024 9:17

Traducido de Inglés

Mostrar mensaje original

Activar la traducción automática

Juan Antonio López Díaz:

Gracias por enviar el manuscrito "Odonatofauna (Insecta) del volcán Tacaná, Chiapas, México, lista de especies y distintividad taxonómica: Odonatofauna (Insecta) del volcán Tacaná, Chiapas, México, lista de especies y distinción taxonómica" a la Revista Chilena de Entomología. Con el sistema de gestión de revistas en línea que estamos utilizando, podrá seguir su progreso a través del proceso editorial iniciando sesión en el sitio web de la revista:

URL de envío: https://www.biotaxa.org/rce/authorDashboard/submission/86303
Nombre de usuario: 4juanld4

Si tiene alguna pregunta, póngase en contacto conmigo. Gracias por considerar esta revista como un lugar para su trabajo.

José Mondaca E.

José Mondaca E. Editor-in-Chief Revista Chilena de Entomología http://biotaxa.org/rce